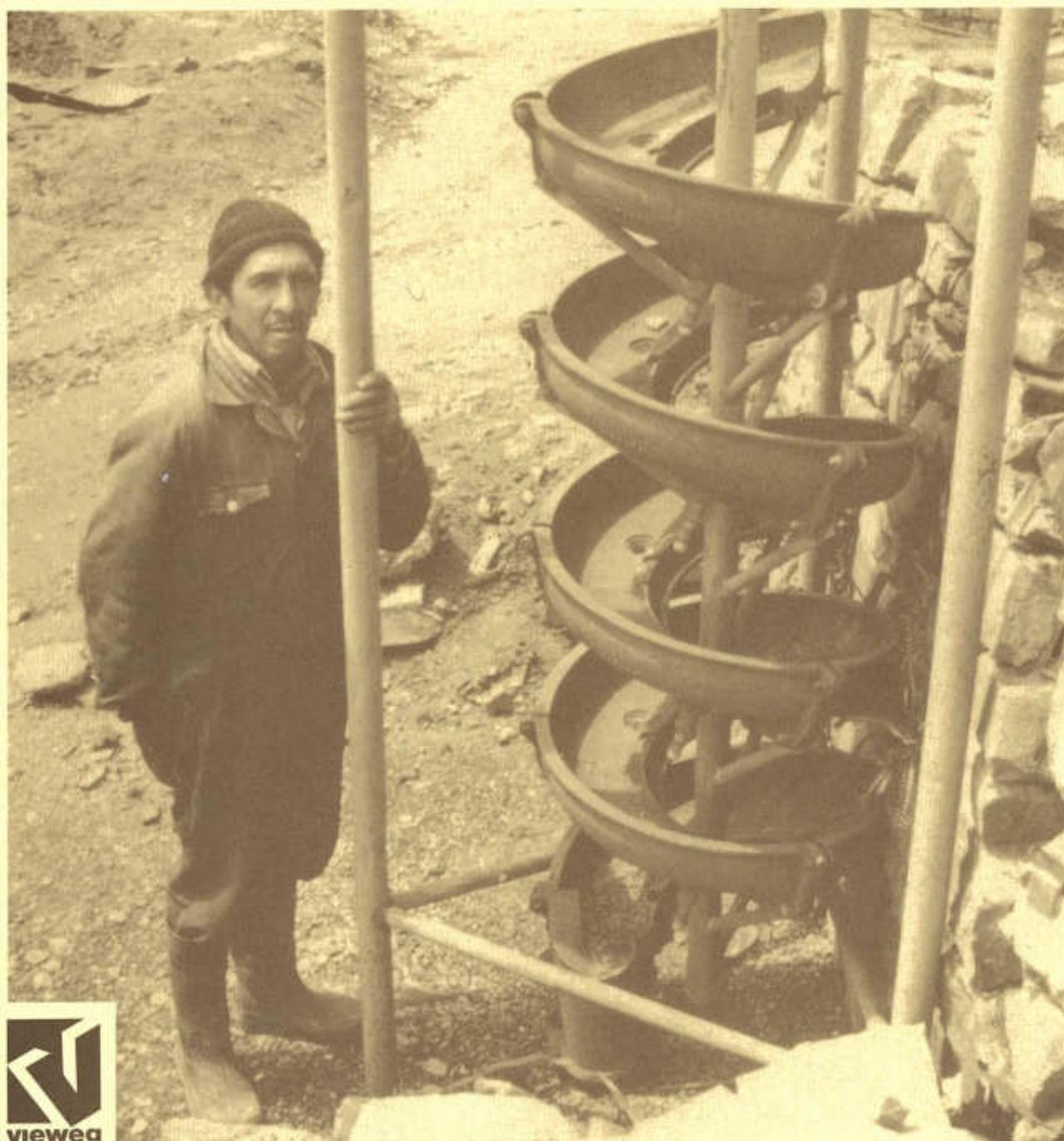


Michael Priester, Thomas Hentschel, Bernd Benthin

# Pequeña Minería – Técnicas y Procesos



## **Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien – GATE**

El GATE (Centro Alemán de Tecnología Apropriada) es una unidad especial de trabajo creada en el año 1978 dentro de la „Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH“.

GATE tiene como función el fomento y la difusión de tecnologías apropiadas en países en desarrollo. GATE aplica el concepto de „tecnologías apropiadas“ a todas aquellas soluciones en el área tecnológica que resulten particularmente adecuadas en un caso dado, tanto según criterios económicos, como socioculturales.

En este sentido, las tecnologías deberán contribuir a impulsar el desarrollo socioeconómico mediante un aprovechamiento óptimo de recursos, procurando al mismo tiempo que el impacto ambiental sea mínimo.

Según lo requiera el caso, se puede tratar de tecnologías tradicionales, intermedias o altamente desarrolladas. La actividad de GATE comprende las áreas principales:

– *Intercambio de tecnologías:* Recopilar, elaborar y difundir informaciones sobre tecnologías apropiadas a las necesidades de países en desarrollo; detectar la demanda de tecnologías en países del Tercer Mundo; promover el desarrollo y adaptación de tecnologías para países en desarrollo a través de asistencia en recursos humanos y físicos.

– *Función transectorial protección del medio ambiente y los recursos naturales.*

GATE ha celebrado contratos de cooperación con varios centros de tecnología de países del Tercer Mundo.

GATE ofrece un servicio informativo gratuito sobre tecnologías apropiadas destinado a todas las organizaciones de asistencia al desarrollo, tanto públicas como privadas, de los países en desarrollo, que se ocupen del desarrollo, la adaptación, la introducción, y la aplicación de tecnologías.

## **Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH**

La GTZ es una entidad autónoma dependiente del Gobierno Federal, cuyas actividades se insertan en el campo de la Cooperación Técnica. En cerca de 100 países de Africa, Asia y América Latina, 2200 expertos colaboran con sus contrapartes de países en desarrollo en la realización de proyectos que abarcan casi todos los ámbitos de la agricultura y de la silvicultura, del desarrollo económico y social, así como de la infraestructura institucional y física.

Los comitentes de la GTZ son, además del Gobierno de la República Federal de Alemania, numerosos otros organismos públicos y semipúblicos.

Las actividades de la GTZ comprenden principalmente las siguientes prestaciones y servicios:

- Examen, planificación técnica, conducción operativa y supervisión de las medidas puestas en práctica (proyectos y programas) conforme a las órdenes y comisiones del Gobierno Federal u otras entidades.
- Asesoramiento a otros organismos responsables de medidas de desarrollo.
- Prestaciones en materia de personal (reclutamiento, selección, preparación, envío de expertos; asesoramiento personal y dirección técnica durante su misión).
- Prestaciones materiales (planificación técnica, selección, adquisición y puesta a disposición de materiales y equipos).
- Cumplimiento de los compromisos financieros contraídos ante los organismos contrapartes en los países en desarrollo.

Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien – GATE,  
Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH  
Apartado Postal 51 80  
D-6236 Eschborn 1  
República Federal de Alemania  
Tel.: (06196) 79-0    Telex: 41 523-0 gtz d    Fax: (06196) 794820

## INDICE

Prologo	IX
Indicaciones para el usuario	1
Introducción	3

## A. ANALISIS

A.1.	Definición	9
A.2.	Situación inicial y alcances del problema	9
A.2.1	Toma de muestras	10
A.2.2	Reconocimiento	11
A.2.3	Aprovechamiento de la exactitud mínima	11
A.2.4	Determinación de la distribución de elementos en el mineral bruto y en el concentrado	12
A.2.5	Determinación del mineral portador del fino	12
A.2.6	Otras investigaciones de materias primas	13

## TECNICAS EN EL CAMPO DEL ANALISIS

### Capítulo técnico 1: Análisis

1.1	Análisis con soplete	17
1.2	Picnómetro	23
1.3	Separador magnético manual según el Dr. A. Wilke	25
1.4	Tira de prueba rápida Merckoquant	27
1.5	Partidor de muestras acanalado	29

## B. MINERIA SUBTERRANEA

B.1.	Definición	33
B.2.	Situación inicial y alcances del problema	33
B.3.	Principios de solución para la organización del trabajo	36
B.3.1	Aprovechamiento de la fuerza de gravedad, evitar los transbordos	36
B.3.2	Relleno con caja escogida	37
B.3.3	Distribución del trabajo en interior mina	39
B.3.4	Disminución de costos en los campos de perforación, voladura, transporte y trituración	39
B.3.5	Elección del método adecuado de explotación	39
B.3.6	Apertura de otros sectores del yacimiento	46
B.4.	Aspectos del medio ambiente y de la salud	47

## TECNICAS EN EL CAMPO DE LA MINERIA SUBTERRANEA

### Capítulo técnico 2: Técnicas de seguridad

2.1	Equipo de seguridad	49
-----	---------------------	----

**Capítulo técnico 3: Ventilación**

3.1	Canal de ventilación embovedado (huayrachina)	51
3.2	Pequeño ventilador manual	53
3.3	Ventilador neumático de inyección	57
3.4	Tonel de agua - Hidrocompresor	59
3.5	Horno de ventilación	63
3.6	Vela de ventilación	67
3.7	Soplador de cajón	69
3.8	Soplador de campana	71

**Capítulo técnico 4: Desagüe**

4.1	Bomba neumática de expulsión	75
4.2	Bomba de mecate	77
4.3	Botas de aro para el desagüe	79
4.4	Bomba de cangilones	83
4.5	Bomba neumática de transporte y de alta presión	87

**Capítulo técnico 5: Entibación**

5.1	Entibación rígida en galería y explotación	89
5.2	Estemple individual/mecánico	95
5.3	Estemple individual/hidráulico	99
5.4	Anclaje	103

**Capítulo técnico 6: Iluminación**

6.1	Iluminación para interior mina	107
-----	--------------------------------	-----

**Capítulo técnico 7: Explotación**

7.1	Perforadora neumática	111
7.2	Motoperforadora	117
7.3	Cuña martinete	119
7.4	Perforadora eléctrica sobre apoyo YDZ	121
7.5	Técnicas de explotación manual	123
7.6	Bomba neumática para cargar explosivo	127

**Capítulo técnico 8: Carga**

8.1	Piso de plancha como ayuda para la carga	129
8.2	Rastrillo y pala pequeña	131
8.3	Trailla cargadora	133
8.4	Pala cargadora	135
8.5	Tolva del buzón	139

**Capítulo técnico 9: Transporte**

9.1	Güinche manual	143
9.2	Máquina de extracción con chasis de auto	147
9.3	Polipasto	153
9.4	Transporte en interior mina sobre y sin rieles	155
9.5	Ascensor rosario en vaiven	165

## C. MINERÍA A CIELO ABIERTO

C.1	Definición	167
C.2	Situación inicial y alcances del problema	167
C.3	Aspectos de contaminación ambiental y de salud	169
C.4	Minería de rocas y suelos	170

## TECNICAS EN EL SECTOR DE LA MINERÍA A CIELO ABIERTO

### Capítulo técnico 10: Máquinas para minería a cielo abierto

10.1	Teleférico simple por gravedad	173
10.2	Perforación a cable	175
10.3	Dragalina de succión	179
10.4	Bomba a golpe de ariete	183
10.5	Noria	187
10.6	Bomba con llanta como membrana	191
10.7	Espiral de Arquímedes	193
10.8	Barco con ruedas hidráulicas para generar energía	197
10.9	Explotación con bomba de grava	199

### Capítulo técnico 11: Técnicas especiales

11.1	Materiales para soldadura	205
11.2	Tanques de goma	207
11.3	Filtro de aceite - Bypass	209
11.4	Motores activadores de contrapeso	211

## D. BENEFICIO

D.1	Definición	215
D.2	Situación inicial y alcance de los problemas	215
D.3	Principios de soluciones para la organización del trabajo	217
D.3.1	Diferentes procesos de beneficio	217
D.3.2	Elusión de los tiempos muertos	218
D.3.3	Trituración cuidadosa	218
D.3.4	Elusión de la sobremolienda	219
D.3.5	Procesamiento de rangos estrechos de tamaños de granos	219
D.3.6	Aumento de la producción unitaria específica	221
D.3.7	Hidroclasificación versus clasificación mediante criba	221
D.3.8	Producción de preconcentrados	222
D.3.9	Homogeneización de las cargas de alimentación	222
D.3.10	Tratamiento posterior de los productos intermedios	223
D.3.11	Clasificación de cargas de alimentación en máquinas de concentración	223
D.3.12	Beneficio de granos de tamaño fino	224
D.3.13	Escogido a mano	225
D.4	Aspectos del medio ambiente y de la salud	226
D.5	Beneficio de diamantes	226

D.6	Beneficio del oro	227
D.6.1	Generalidades	227
D.6.2	Procesos alternativos	228
D.6.3	Desarrollo de los procesos	230
D.6.4	Producción de sub-productos	234
D.6.5	Problemática técnica y ecológica de la amalgamación	236
D.6.5.1	Toxicología del mercurio y de sus combinaciones	237
D.6.5.2	Circuito del mercurio	237
D.6.5.3	Amalgamación del oro en la Pequeña Minería	238
D.6.5.4	Medios para la disminución de la liberación de mercurio durante la amalgamación	240
D.6.5.5	Alternativas técnicas para la sustitución de la amalgamación	241
D.7	El beneficio de materias primas fosfatadas para abonos de fósforo	241

## TECNICAS EN EL SECTOR DE LA MINERIA A CIELO ABIERTO

### Capítulo técnico 12: Trituración

12.1	Trituradora de mandíbulas	243
12.2	Trituradora de rodillos	247
12.3	Molino a bolas	251
12.4	Bocarte	255
12.5	Trapiche	263
12.6	Quimbalete	269

### Capítulo técnico 13: Clasificación

13.1	Clasificación en tamices fijos	273
13.2	Criba vibradora	277
13.3	Criba vibradora sin fuerza motriz	281
13.4	Trómel clasificador	283
13.5	Clasificador de caja en punta	287
13.6	Hidroclasificador de corriente ascendente	291
13.7	Hidrociclón	295
13.8	Atrisionador	299
13.9	Clasificador transportador a rastrillo	301
13.10	Canaleta de lavado	304

### Capítulo técnico 14: Concentración gravimétrica

14.1	Concentración gravimétrica manual en cribas pequeñas	307
14.2	Maritate	309
14.3	Maritate de émbolo	315
14.4	Jig de émbolo	321
14.5	Jig de diafragma	327
14.6	Canaletas con y sin pisos de césped	329
14.7	Canaletas naturales	335
14.8	Canaleta en forma de abanico	337
14.9	Canaleta neumática	341
14.10	Buddle redondo	345
14.11	Buddle de Hundt, buddle mecanizado	351
14.12	Tina de refinación según el proceso de Schanz	355
14.13	Mesa de concentración a golpes	359
14.14	Mesa de concentración volteable	363

14.15	Mesa de concentración de limpieza manual	365
14.16	Mesa de concentración vibradora	371
14.17	Espiral de Humprey	375
14.18	Concentrador a espiral	379

#### Capítulo técnico 15: Beneficio del oro

15.1	Prensa de amalgama	383
15.2	Placa de amalgamación	385
15.3	Trómel de amalgamación	391
15.4	Cuna	395
15.5	Beneficios de oro mecanizados en forma compacta	399
15.6	Trampas hidráulicas para material pesado	401
15.7	Retorta de destilación	405
15.8	Concentrador centrífugo	413
15.9	Batea	417
15.10	Jig con cama de bolas de plomo	421
15.11	Lixiviación de oro	425
15.12	Separación del oro por fundición	431
15.13	Aglomeración oro-carbón	435

#### Capítulo técnico 16: Otras técnicas de concentración y separación

16.1	Horno de calcinación	437
16.2	Salinas	439
16.3	Recuperación de azufre en carboneras de fusión	443
16.4	Autoclave para la recuperación de azufre	445
16.5	Fábrica de sulfato de cobre	447
16.6	Concentración electrostática	449
16.7	Flotación	453

#### Capítulo técnico 17: Secado

17.1	Horno de secar	459
17.2	Casas solares	461
17.3	Superficies de secado	463

#### Capítulo técnico 18: Decantación

18.1	Espesador	465
18.2	Espesador de lamelas	467
18.3	Espesador redondo	471

## E. MECANIZACION Y ABASTECIMIENTO DE ENERGIA

E.1	Introducción a la problemática	473
E.2	Portadores de energía	474
E.3	Máquina motriz	475
E.4	Transformación de energía	476
E.5	Distribución de energía	477
E.6	Sistemas de energía	477
E.7	Aspectos de la mecanización en minería	488
E.8	Aspectos del medio ambiente y de la salud	480

## TECNICAS EN EL RANGO DEL ABASTECIMIENTO DE ENERGIA

### Capítulo técnico 19: Técnicas energéticas

19.1	Accionamiento a bicicleta	483
19.2	Malacate	485
19.3	Elevadores de agua	489
19.4	Generador eólico	491
19.5	Rotor Savonius	493
19.6	Rueda de agua	495
19.7	Rueda de cucharas	501
19.8	Turbina a cable	503
19.9	Celdas solares	505
19.10	Colector solar	507
19.11	Turbina a agua	509
19.12	Motor a combustión	517
19.13	Abastecimiento de aire comprimido	519

### APENDICE

Lista de la literatura	525
Lista de fabricantes	531
Indice de abreviaciones	534
Indice alfabético	535

## Prologo

El presente manual técnico para la pequeña minería es el resultado de un proyecto supraregional de la Cooperación Técnica de la República Federal de Alemania en América Latina. La minería moderna a nivel industrial utiliza hoy procedimientos que no pueden ser aplicados en la pequeña minería, mientras que los métodos y herramientas tradicionales adecuados para esta última están cayendo en el olvido. Dado que la pequeña minería está volviendo a cobrar importancia a nivel internacional, el proyecto se puso como objetivo recolectar, elaborar y documentar técnicas adaptadas a esta forma de explotación. Aquí deseamos expresar nuestro agradecimiento a los colaboradores de la empresa Project-Consult que estuvieron a cargo de la ejecución del proyecto, por su empeño y dedicación, que hicieron posible, en definitiva, la aparición de este libro.

La pequeña minería representa – no sólo en América Latina – la fuente principal de subsistencia para muchas familias de las clases más desfavorecidas. En las explotaciones de este tipo, en las que se emplea, en general, a menos de diez personas, se trabaja bajo pésimas condiciones laborales y de seguridad. En muchos casos no están dadas bases jurídicas suficientes, y se emplean técnicas comparables a las existentes en Europa antes de la revolución industrial. Esto se traduce en un nivel muy bajo de productividad y de salarios. Por otro lado, en los últimos tiempos los medios de comunicación han denunciado

repetidas veces los efectos negativos de la pequeña minería para el medio ambiente. Un ejemplo de esto es la pequeña minería aurífera, cuyas emisiones de mercurio pueden evitarse en gran parte aplicando procedimientos muy simples que, por añadidura, reducen los costos de producción.

Este manual recoge información tanto sobre máquinas de la historia de la minería europea y modernos equipos de dimensiones reducidas como sobre técnicas tradicionales, en su mayor parte de América Latina. A cada área – análisis, extracción del mineral, beneficio y suministro de energía – se ha dedicado un extenso capítulo con ilustraciones de los equipos e indicaciones sobre aspectos técnicos y económicos. La fabricación local de algunos de los equipos y su divulgación, teniendo en cuenta aspectos socioculturales, económicos y ecológicos, se han llevado a la práctica con éxito en un proyecto piloto realizado en Colombia; tras las medidas de adaptación necesarias tendría que ser posible llevarlas a la práctica también en otros medios culturales.

Con esta documentación probablemente única esperamos ofrecer a las personas e instituciones vinculadas a la pequeña minería un instrumento al cual puedan recurrir con provecho en el trabajo cotidiano, con el fin de extraer ideas para mejorar las condiciones laborales de los trabajadores del sector y prevenir efectos negativos sobre el medio ambiente.



## INDICACIONES PARA EL USUARIO

El presente manual técnico para la Pequeña Minería en países en desarrollo está dirigido a Ingenieros de Minas, de Beneficio y a otros técnicos de organizaciones de planificación y asesoramiento, tanto en países en desarrollo como también en naciones industrializadas, como una fuente de información y de ayuda para el asesoramiento y la planificación.

Aunque el manual ha sido concebido especialmente para las necesidades de la Pequeña Minería latinoamericana y se han integrado en el trabajo técnicas tradicionales, sobre todo de los países andinos, sus posibilidades de aplicación no están limitadas a esta región del mundo. Además, el manual da indicaciones para talleres artesanales y organizaciones asesoras interesados en las posibilidades de diversificación de la variedad de sus productos.

Como condición para el uso del manual se espera del lector que posea conocimientos técnicos, capacidad de abstracción y pueda leer e interpretar bosquejos y dibujos técnicos.

Por la cantidad de información que nace de la complejidad de la minería, la estructuración de los datos es decisiva para facilidad del usuario. El manual cubre todas las ramas principales de la minería, en especial la explotación y beneficio de minerales, metales preciosos, carbón, sal, materiales de construcción, como también piedras preciosas. Debido a que el equipo mecánico de las industrias está determinado más por datos específicos de trabajo, tales como volumen de producción y grado de mecanización, que por la clase de materia prima explotada, la información se divide en cinco capítulos principales: Análisis, Minería Subterránea, Minería a cielo abierto, Beneficio y Energía, los cuales corresponden a los principales campos de trabajo.

Cada uno de estos cinco capítulos principales empieza con un texto que comprende definiciones, alcances del problema, riesgos para el medio ambiente y para la salud e indicaciones sobre la organización laboral. Luego se expone la información técnica sobre técnicas y procesos individuales. Estos están agrupados, en parte, según otros campos de trabajo. Cada ficha técnica es una colección de información cerrada con datos técnicos, costos, así como también con las condiciones y los límites de uso. La evaluación, principalmente de las condiciones de uso, se

efectuó en base a criterios subjetivos. Por ejemplo en un pequeño manual minero los gastos de mantenimiento y operación solo se pueden correlacionar aproximadamente si se los compara con los de aparatos que realizan tareas similares. Por eso, generalmente las evaluaciones no son comparables entre sí.

Respecto a la contaminación ambiental, en la evaluación se visualizan los puntos básicos de referencia de la influencia de las técnicas sobre el medio ambiente. No se considera la influencia negativa sobre éste de la explotación de recursos ni de la provisión de energía. Estas influencias se tratan en el capítulo correspondiente a Energía.

En la evaluación se tomaron en cuenta las técnicas intensivas en energía que no pueden usar fuentes renovables de energía para la generación de fuerza motriz.

No se consideran los efectos sobre el medio ambiente que resultan de la fabricación de elementos para maquinarias si es que no se trata de elementos particularmente grandes. Sin embargo, los balances sobre los efectos de los reactivos en el medio ambiente están parcialmente incluidos en la evaluación de datos.

En la aptitud para construcción propia se han tratado las posibilidades de fabricación local. Por lo general, no se trata de las posibilidades de fabricación directamente en la mina, sino en talleres artesanales de carpintería, metalmecánicos y otros talleres mecánicos, los cuales, siendo empresas no afines al ramo, no disponen de máquinas especiales o de conocimientos especiales sobre construcción de maquinaria minera. Aparte de las condiciones locales para los talleres artesanales, el manual también brinda fotos, dibujos y ayudas simples de dimensionamiento. Cada ficha técnica dispone de una línea de encabezamiento con número, nombre de la técnica, rama de la minería y campo de trabajo, la cual facilita una rápida identificación y la asociación de la técnica con su sector de empleo.

La parte técnica contiene también indicaciones sobre el fabricante y referencias bibliográficas. Las abreviaciones utilizadas están explicadas en el índice de abreviaciones.

Al final del libro se encuentra un registro de palabras claves que facilita al lector la rápida

ubicación de los espacios en el texto en las partes técnica y de organización del trabajo.

Debido a que algunas materias primas o minerales tratadas requieren técnicas especiales de extracción y de procesamiento, las principales informaciones están expuestas por separado:

- **La explotación de piedras y suelos**, en el capítulo de minería a cielo abierto; debido a que su problemática es principalmente la explotación de bienes en masa. El beneficio de materiales de construcción y para la industria es posible y en general no es problemático, aplicando las técnicas mencionadas en el capítulo D.
- **Las técnicas de beneficio de diamantes**, en el capítulo D; debido a que el problema principal es la concentración del producto bruto, la cual en parte posee como contenido fino en la alimentación, un valor inferior a 1 g/t.

- También se trata **el beneficio del oro** en el capítulo sobre beneficio. Este incluye informaciones sobre la problemática y peligros de la contaminación por la amalgamación, así como una serie de flujogramas de diferentes plantas de concentración aurífera. Las técnicas especiales de concentración en la explotación del oro están descritas en el capítulo 15. Los procesos de trituración, clasificación y algunos de concentración que se utilizan en la minería del oro para el beneficio son técnicas que no tienen específicamente significado aurífero y se encuentran por lo tanto en otro lugar. La explotación aurífera, tanto subterránea como a cielo abierto, tampoco demanda un tratamiento por separado.

Algunas técnicas modernas para la Pequeña Minería que se describen a continuación se encuentran bajo protección jurídica de patentes. En caso de fabricación local se deberán considerar necesariamente las determinaciones legales vigentes.

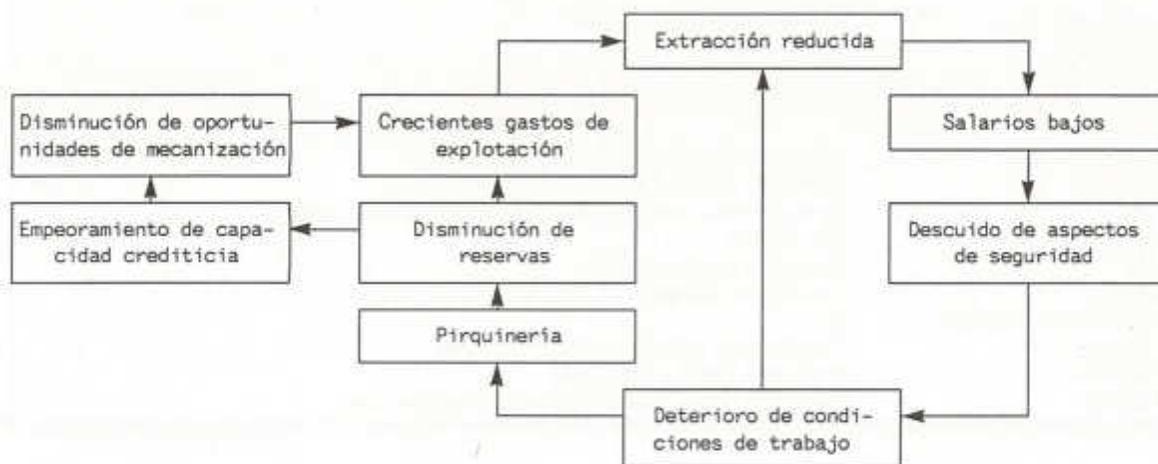
## INTRODUCCION

Mundialmente, la Pequeña Minería juega un papel nada despreciable tanto en las naciones industrializadas así como en los países en desarrollo. Debe considerarse que las definiciones bajo las cuales se entiende lo que es la Pequeña Minería, son diferentes en cada país. Los criterios de definición son: costos de inversión (menores a US\$ 1.000.000), fuerza laboral (hasta 100 hombres), producción de mineral bruto (menor a 100.000 t/a), ventas anuales, tamaño de concesión, situación de reservas, o combinaciones de estos criterios. La discusión al respecto está en marcha y aún no se ha alcanzado una delimitación única con criterios objetivos.

En consecuencia, la Pequeña Minería en países en desarrollo está caracterizada por criterios subjetivos, los cuales en parte la definen más como una actividad artesanal:

- Mecanización escasa o inexistente mediante el uso de máquinas operadoras y motrices; por lo tanto, gran porcentaje de trabajo manual pesado
- Bajo nivel de seguridad
- Deficiente grado de formación técnica del personal
- Ausencia de técnicos en la operación, lo cual trae como consecuencia una deficiente planificación técnica de la explotación minera y de procesamiento
- Utilización relativamente deficiente de los recursos debido a la explotación selectiva de minerales ricos y baja recuperación
- Bajo nivel de salarios
- Baja productividad de trabajo
- En parte, trabajo de minería solamente de acuerdo a la estación o solo cuando los precios internacionales tienen un nivel conveniente.
- Insuficiente consideración de peligros para el medio ambiente
- Ausencia crónica de capital
- Trabajo, en parte en la ilegalidad, a través de explotación sin derechos de concesión.

En general, la situación de la Pequeña Minería se caracteriza por un círculo vicioso, el cual es difícil de romper sin ayuda externa.



A pesar de estas difíciles condiciones de entorno, la Pequeña Minería posee mundialmente una posición alta y aporta cantidades importantes a la producción minera mundial.

Tabla: Participación de la Pequeña Minería en la producción mundial de materias primas seleccionadas, según Noetstaller

<b>Metales</b>				<b>Minerales industriales</b>			
Berilio	100 %	Hierro	12 %	Fluorita	90 %	Barita	60 %
Mercurio	90 %	Plomo	11 %	Grafito	90 %	Arena y grava	30 %
Wolframio	80 %	Cinc	11 %	Talco	90 %	Ladrillo	30 %
Cromo	50 %	Cobalto	10 %	Vermiculita	90 %	Sal	20 %
Antimonio	45 %	Oro	10 %	Piedra pómez	90 %	Carbón	20 %
Manganeso	18 %	Plata	10 %	Feldespatos	80 %	Asbesto	10 %
Estaño	15 %	Cobre	8 %	Arcilla	75 %	Fosfato	10 %
				Yeso	70 %		

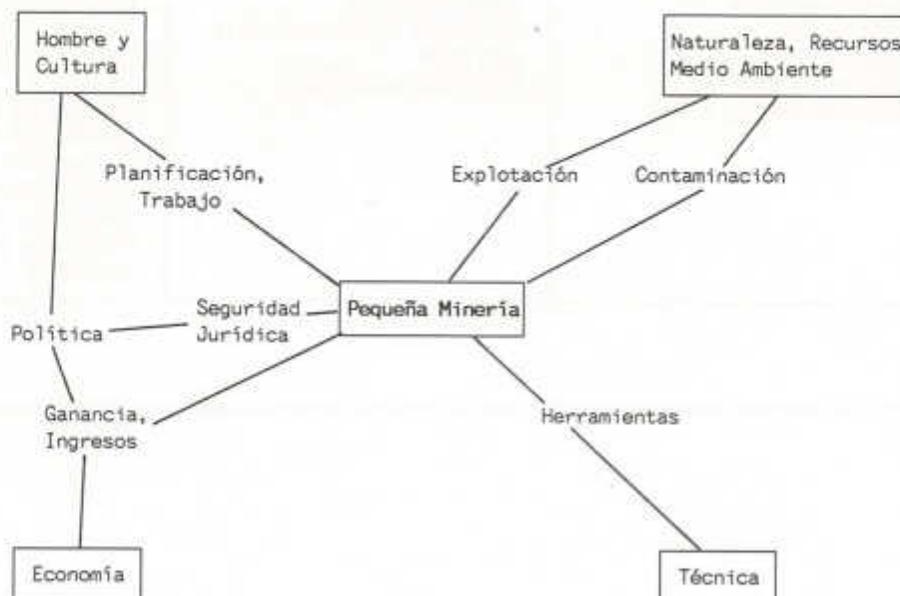
En un gran número de países en desarrollo en el mundo entero la Pequeña Minería se ha convertido en una importante fuente de ingresos y de divisas:

Tabla: Principales países con Pequeña Minería, con materias primas explotadas a través de pequeñas industrias, según Noetstaller

<b>País</b>	<b>Materias primas explotadas a través de la Pequeña Minería</b>
<b>Latinoamérica</b>	
Argentina	Antimonio, Asbesto, Berilio, Litio, Mercurio, Bismuto, Wolframio
Bolivia	Antimonio, Plomo, Oro, Azufre, Plata, Wolframio, Cinc, Estaño
Brasil	Berilio, Cromita, Oro, Piedras preciosas, Titanio, Estaño
Chile	Barita, Plomo, Oro, Cobre, Manganeso, Mercurio, Azufre, Carbon
Rep. Dominicana	Oro
Guatemala	Antimonio, Plomo, Mica, Manganeso, Estaño, Wolframio
Colombia	Antimonio, Plomo, Cromita, Piedras preciosas, Hierro, Oro, Carbón, Platino, Mercurio, Cinc
Cuba	Cobre, Manganeso, Pirita
México	Fluorita, Mercurio, Azufre, Uranio, Estaño
Perú	Antimonio, Diatomita, Oro, Cobre, Manganeso, Molibdeno, Plata, Bismuto, Cinc, Estaño, Plomo
Venezuela	Asbesto, Diamantes, Oro
Ecuador	Oro
<b>Asia</b>	
Myanmar	Antimonio, Manganeso, Estaño, Wolframio
China	Antimonio, Hierro, Carbón, Estaño, Wolframio
India	Barita, Boratos, Hierro, Mica, Carbón, Manganeso, Estaño
Indonesia	Oro, Estaño
Irán	Barita, Plomo, Cobre, Cinc
Malasia	Oro, Hierro, Manganeso, Cinc, Estaño, Wolframio
Papua-Nueva Guinea	Oro
Filipinas	Cromita, Oro, Carbón, Cobre, Plata, Cinc
Tailandia	Antimonio, Estaño, Wolframio
Turquía	Plomo, Cromita, Cobre, Magnesita, Mercurio, Cinc

País	Materias primas explotadas a través de la Pequeña Minería
<b>Africa</b>	
Argelia	Antimonio, Barita, Diatomita, Mercurio, Cinc
Etiopía	Oro, Manganese, Platino
Gabún	Oro
Ghana	Diamantes, Oro
Kenia	Berilio, Piedras preciosas, Oro, Cobre, Plata
Lesoto	Diamantes
Liberia	Diamantes, Oro
Madagascar	Oro, Tierras raras, Bismuto
Marruecos	Antimonio, Barita, Plomo, Manganese, Cinc, Estaño
Nigeria	Asbesto, Barita, Plomo, Oro, Cinc, Estaño
Ruanda	Berilio, Oro, Estaño, Wolframio
Sierra Leona	Diamantes
Túnez	Plomo, Mercurio, Cinc
Tanzania	Diamantes, Mica, Oro, Magnesita, Piedras preciosas, Estaño, Wolframio
Uganda	Berilio, Bismuto, Wolframio
Rep. Centrafricana	Diamantes, Oro
Zimbabwe	Antimonio, Berilio, Cromita, Piedras preciosas, Oro, Cobre, Litio, Manganese, Plata

La situación actual de la Pequeña Minería y de los mineros se define por sus relaciones de intercambio y conexión con áreas y factores muy diversos, tales como: la naturaleza, la cultura y el hombre, la técnica y la economía. La minería, a través de la explotación de recursos y perjuicios al medio ambiente, afecta a la naturaleza, extrayendo de ella, a su vez, energía y materias primas. La minería por un lado, y la cultura y el hombre por otro, han tenido influencia mutua desde tiempos primitivos. La minería aportó los metales y piedras preciosas que influyeron fuertemente en la cultura. La minería es y ha sido una actividad que abre caminos para el desarrollo técnico y rural. La técnica, con sus herramientas, aprovecha de la minería para generar ingresos por medio de la producción, etc. Esto se puede representar de la siguiente manera:



Para obtener una mejora duradera en la situación de los pequeños mineros, un fomento completo a la Pequeña Minería debe satisfacer la conciliación social, la equidad en la demanda, la rentabilidad y estar en armonía con el medio ambiente. Las siguientes medidas se consideran importantes:

Tabla: Catálogo de posibles medidas de fomento en los respectivos campos de producción

	Asesoría técnica y organizativa en el lugar de trabajo	Investigación y desarrollo	Política sobre materias primas
Exploración	Formación en: - Análisis - Geología de yacimientos + Mineralogía - Cartografía geológica	Desarrollo de adecuados: - Procesos de Análisis - Equipo Instrumental	Ayuda nacional a través de: - Programas de Exploración Regional - Material para mapeo - Instalaciones de servicio - Reducción de la burocracia
Explotación Minera	Formación en organización y ejecución de: - Trabajos de exploración - Medidas de seguridad - Trabajos de explotación - La mecanización - Formación en el manejo de maquinaria	Desarrollo de adecuados: - Métodos de explotación y herramientas - Instalaciones de extracción - Técnicas de seguridad - Técnicas de ventilación	Ejecución de: - Controles de seguridad y de salubridad - Asesoría técnica - Creación de un sistema de seguridad social para la Pequeña Minería
Beneficio	Formación en: - El manejo de maquinaria - Proyectos, operación, optimización y control de plantas de beneficio - Distribución y manejo del agua - El manejo de agentes químicos dañinos para la salud y el medio ambiente	Desarrollo de adecuados: - Maquinarias de trituración - Procesos de beneficio y maquinaria para la Pequeña Minería, por ejemplo: - Sistemas móviles - Lixiviación en pilas - Flotación - Maquinarias motrices para la mecanización - Análisis de concentrado	Fomento y Construcción de: - Plantas de beneficio común - Medidas de infraestructura para el transporte - Instalaciones para abastecimiento de agua
Commercialización, Inversiones	Formación en: - Dirección de operaciones - Comercialización - Contabilidad - Cálculos de rentabilidad - Asuntos crediticios - Cooperativismo	Desarrollo de adecuados: - Sistemas de crédito para la Pequeña Minería - Formas de organización de la operación - Método de publicidad	- Definición de una política justa sobre recursos naturales para la Pequeña Minería - Desburocratización - Legalización de las minas pequeñas - Compra, por parte del estado, de los productos a precios de mercado - Asesoría económica, por parte del estado, en la operación - Facilidades en los créditos e impuestos

El presente manual técnico tiene como objetivo proponer alternativas técnicas y mejoras en la organización de la Pequeña Minería. Las innovaciones técnicas deberán ayudar a resolver en varios aspectos los problemas de la Pequeña Minería:

- Mejora de los resultados de operación mediante un incremento en la recuperación
- Seguridad en los puestos de trabajo con bajos costos laborales específicos
- Mejora de la situación social y económica
- Aumento de la producción mediante la mecanización parcial <sup>1)</sup> aprovechando fuentes renovables de energía
- Mejora de la seguridad en el trabajo
- Reducción de la contaminación ambiental.

En el presente manual se encuentran agrupadas las técnicas para el análisis, la explotación minera subterránea y a cielo abierto, el beneficio y el abastecimiento de energía. Juntamente con las propuestas de soluciones puramente técnicas se tratan también posibilidades de mejoramiento de la organización del trabajo para problemas típicos de la Pequeña Minería. En este trabajo se mencionan tanto maquinarias mineras históricas, equipos mineros pequeños modernos como también técnicas tradicionales. La fusión de elementos históricos, modernos y tradicionales es aquí la base para el desarrollo de una tecnología adecuada a las necesidades.

Sin embargo, esta tecnología apropiada no solamente se dirige a los involucrados en la Pequeña Minería, sino que la mayoría de las técnicas mineras y de beneficio apropiadas e identificadas para la Pequeña Minería también posibilitan, por su aptitud para la fabricación local, múltiples planteamientos para el fomento de la artesanía.

Lo anteriormente mencionado tiene un significado especial debido a que la Pequeña Minería a menudo está asentada en regiones de estructura débil.

La artesanía o bien la pequeña y mediana industria, especialmente la de suministro de máquinas e instalaciones para la Pequeña Minería, pueden sacar provecho diversificando su gama de productos, especialmente si

- aún no hay competencia para tales productos en el mercado local y
- cuando el mercado interno para máquinas mineras y de beneficio esté protegido del exterior mediante impuestos de importación, escasez de divisas, altos costos de transporte, etc.

Una artesanía comprometida con la minería

- Ofrece una entrega rápida de los productos, acorde a la necesidad y a precio razonable
- Refuerza la capacidad de autoayuda y de organización propia
- Acorta tiempos de reparación y de mantenimiento, lo cual es sumamente importante para los pequeños mineros que trabajan según la estación del año.

De la aplicación de las propuestas técnicas y de organización del trabajo en la Pequeña Minería en países en desarrollo presentadas en este trabajo, se esperan los siguientes resultados:

---

1) Por mecanización parcial se entiende una forma de mecanización, la cual mecaniza solamente procesos individuales del funcionamiento total del proceso minero y del beneficio (por ejemplo, mecanización de la trituración con ayuda de una trituradora). Además, la mecanización parcial se caracteriza porque el control y el impulso de la maquinaria se realizan totalmente a mano.

- Desarrollo local de técnicas apropiadas para la minería y el beneficio en talleres artesanales nacionales o bien en pequeñas industrias. Esto cubriría la demanda en el propio país y además puede llevar a una intensificación de la cooperación entre países en vías de desarrollo.
- Asesoría a industrias mineras pequeñas, acompañada de la instalación de maquinaria apropiada y fomento a desarrollos apropiados, etc.
- Medidas de formación, enseñanza a pequeños mineros, planificadores y asesores en centros de enseñanza apropiados, por ejemplo en temas como análisis, geología, yacimientología, organización del trabajo y técnicas en minería y beneficio, seguridad laboral, comercialización y economía.
- Desarrollo de nuevos conceptos para la instalación de energía a bajo costo y no contaminante para la Pequeña Minería (por ejemplo, aprovechamiento de fuentes de energía renovables).
- Planificación y ejecución de medidas de protección ambiental en la Pequeña Minería (por ejemplo, disminución de la demanda de madera para trabajos de entibación; reducir e incluso evitar las emisiones de mercurio en la amalgamación en la minería aurífera, problemas en la lixiviación con cianuro de los minerales auríferos, contaminación de los cauces, por ejemplo por los reactivos usados en los procesos de flotación o por el transporte de lamas de las colas de las plantas de beneficio).

Los efectos de políticas de desarrollo de un programa de este tipo serían: la seguridad y la creación de puestos de trabajo en regiones no agrícolas, el mejoramiento en la calidad de las fuerzas de trabajo en la minería y en la artesanía, la sustitución de importaciones de materias primas para la industria, la agricultura y el sector energético, la sustitución de importaciones de maquinaria y equipo, así como también los aportes al desarrollo regional.

En su totalidad, las medidas llevan a una regionalización de costos e ingresos en la zona de influencia de la explotación, es decir, en el sector de las minas, de los talleres artesanales, de manufactura y también de comercialización.

## A. ANALISIS

### A.1. DEFINICION

La tarea del análisis consiste en la determinación de las propiedades químicas y físicas de las muestras del suelo, de las rocas y minerales, o bien de concentrados, de productos intermedios y de las colas del beneficio. El método de trabajo del análisis consiste en los siguientes cuatro pasos:

1. Toma de muestras
2. Análisis químico o físico del material de la muestra
3. Clasificación del material de datos y evaluación estadística
4. Interpretación.

Los procesos de análisis son de gran significado en la Pequeña Minería en los campos de prospección, exploración, control de calidad en la explotación y en el beneficio, en la comercialización y en la protección del medio ambiente.

### A.2. SITUACION INICIAL Y ALCANCES DEL PROBLEMA

La Pequeña Minería de los países en desarrollo sufre de un conocimiento deficiente de las leyes de sus minerales en bruto y de la composición de sus productos. La situación se complica debido a que se presentan tipos de mineralización no homogéneos, especialmente en la génesis del yacimiento subvolcánico como por ejemplo en la zona andina. De esta manera, las mineralizaciones varían en pequeñas distancias, tanto en lo que se refiere a sus condiciones geológicas como también en sus composiciones mineralógicas y geoquímicas. Como ejemplo se pueden nombrar a los yacimientos de estaño bolivianos, en los cuales el mineral valioso puede ser Casiterita (composición química, véase en la tabla pág. 14), Cilindrita, Tealita y Frankeita (tres sulfoestannatos) o Estanita (pirita de estaño). El conocimiento de todas estas condiciones es indispensable tanto para la planificación técnico minera como también para la planificación técnica del beneficio.

Del mismo modo, frecuentemente para los mineros pequeños la composición de sus concentrados es totalmente desconocida. Esto puede tener como consecuencia grandes castigos por parte del comprador o de la fundición por un lado y por el

otro, impedir la comercialización de los subproductos con utilidades. Por ejemplo la mina Cascabel (Departamento de La Paz, Bolivia), a pesar de las altas leyes que tienen sus concentrados de plomo, plata y cinc, debido a contenidos anormales altos de mercurio, solamente puede comercializarlos con grandes dificultades y altos castigos. Este problema no solamente se presenta en los yacimientos filonianos primarios, sino que es igualmente relevante en los yacimientos aluviales. Contenidos valiosos de platino en yacimientos auríferos aluviales (por ejemplo en Colombia), no se recuperan o bien no se comercializan en forma separada, debido al desconocimiento de esta clase de componentes en los productos.

Otro problema actual para la Pequeña Minería en los países en desarrollo es la evaluación de análisis poco confiable, realizada por los compradores. Además estos análisis generalmente son realizados por los mismos compradores. Investigaciones de control han demostrado que los resultados son manipulados a su favor, lo cual significa una desventaja para el pequeño minero. Por lo general, se indican contenidos muy bajos de plata y alta humedad residual, lo cual es difícil de verificar sin un análisis de control.

En consecuencia, es necesario establecer un control propio por parte de la Pequeña Minería. Además de un control de calidad en la explotación minera (grade control), de la planificación del beneficio y de la comercialización, es importante un análisis adecuado para la prospección y exploración.

Condicionado por la dependencia del lugar (en el sentido de una técnica inmóvil) y por los problemas de infraestructura en los aislados lugares de explotación de la Pequeña Minería, este tipo de métodos centrales de análisis son lentos y hasta imposibles de realizar.

Para la Pequeña Minería existe la necesidad de procesos y equipos de análisis sencillos, portátiles o transportables. Los criterios principales deberían ser: bajos costos de los análisis, rápida ejecución y reducido empleo de aparatos, no necesariamente de gran exactitud. La representatividad y la repetitividad de los análisis en la minería están determinados más por la calidad y exactitud de la toma de muestras que por la óptima técnica de análisis. Un análisis cuyo resultado es exacto hasta varias posiciones después de la coma no tiene

valor si durante la toma de muestras ya se alteraron las cifras antes de la coma.

No solamente en países en desarrollo son ampliamente desconocidos los procesos simples de análisis para la Pequeña Minería. En este campo, existe demanda de investigación y desarrollo.

### A.2.1 TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestra se debe considerar como una preparación técnico-organizativa primordial para el análisis en la explotación minera y en el beneficio. Un análisis sumamente exacto no es válido si la muestra analizada no es representativa. Una prueba es representativa para su medio, o sea representa a su medio original, si las condiciones químicas, mineralógicas y físicas son iguales. Estas pueden ser: distribución del mineral o de los elementos, humedad, tamaño y forma de grano, permeabilidad, etc. Si se debe analizar un desmante, un yacimiento o un producto del beneficio, nunca se podrá analizar la totalidad de la pila, del yacimiento o todo el volumen del producto, sino solamente parte de ellos. Por lo tanto, para sacar conclusiones de la cantidad parcial o muestra, ésta debe ser representativa.

Por ejemplo, para el muestreo de un montón de mineral bruto no basta tomar solamente un trozo de él. Este puede contener solo mineral o solo estéril. Ambos conducirían a conclusiones equivocadas si se pregunta por valores sobre el contenido de metal fino. A continuación se dan algunas sugerencias para las técnicas de toma de muestras, las cuales proporcionan resultados considerablemente representativos:

La muestra del montón se emplea para el muestreo de montones de minerales de grano fino hasta grueso, por ejemplo para el muestreo de los avances, desmontes, productos y minerales brutos. Se toma una gran cantidad de pequeñas muestras parciales del material de muchos lugares diferentes sin seleccionar, por ejemplo partidas especialmente ricas o pobres. Además de tomar muestras en diferentes lugares, el tamaño de grano de las muestras parciales debe ser variado, o sea que se deben reunir tanto fracciones finas y finísimas como también tamaños gruesos de mineral, donde la cantidad de la muestra total debe ser por lo menos diez veces más grande que la mayor muestra parcial. Solamente de esta manera se pueden equilibrar estadísticamente los efectos

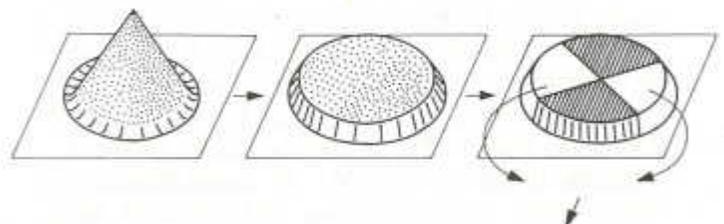
de concentración, por ejemplo de un desmante o de la selectividad del trituramiento a través de la voladura.

El muestreo de canaleta es un método para el muestreo de minerales in situ. En esta clase de muestreo se extrae (por ejemplo en el tope de un avance), una franja de material de ancho y profundidad constantes a través de todo el ancho válido de la muestra. Así, por ejemplo se pica sobre el ancho de avance una canaleta de diez centímetros de altura y cinco de profundidad, luego se recibe el material sobre una lona extendida en el suelo.

El muestreo con pico se puede realizar también en el mineral in situ. Sobre la superficie a muestrear se arranca sin seleccionar, por ejemplo de la superficie del tope, una gran cantidad de pruebas parciales igualmente grandes, tanto de lugares ricos como pobres. En roca dura esta forma de muestreo es decididamente más fácil de realizar que el muestreo por canaleta.

El muestreo de material extraído por la perforación obtiene su material de muestreo del menudo que sale del proceso de perforación para la voladura en los avances o en la explotación. Si se muestrea una red completa de perforaciones, el muestreo no solamente se realiza en una superficie sino en tres dimensiones. Este método tiene la ventaja de que el material ya se encuentra triturado.

Para eliminar causas sistemáticas de fallas, el muestreo debe ser realizado siempre por uno y por el mismo muestreador.



Dib.: Cuarteo manual de una muestra por medio del mezclado, formación de un cono, mezclado, expansión, cuarteo, desecho de dos porciones contrapuestas. (Fuente Schroll)

Grandes cantidades de muestra son trituradas y luego cuarteadas. El material triturado se amontona en forma de cono, luego se lo patea y mezcla y nuevamente se lo amontona en forma de cono, llevando el material a la punta. Luego, este cono es aplanado o pisoteado. El cono obtuso resultante se parte en cuatro segmentos de igual tamaño. Dos segmentos contrapuestos se tratan de igual manera, mientras que a los otros dos se los desecha. El proceso se repite hasta que se alcance la cantidad de muestra deseada. De esta manera la carga en forma de cono es utilizada para homogeneizar la muestra.

La homogeneidad de minerales, aluviones, desmontes u otras cargas y la representatividad de muestras es especialmente importante cuando se trata de pequeños contenidos de un elemento o mineral, lo cual ocurre en agregados discretos. Un ejemplo importante es el oro. El análisis del oro exige información en rangos hasta por debajo de 1 g/t. Las partículas de oro pueden aparecer como lentejuelas o pepitas con pesos individuales hasta mayores de 1 g. Si se muestrea, por ejemplo 1 t de mineral bruto con una pepita de 1 g por medio de una muestra de 100 kg, en la cual se encuentra contenida la pepita, el resultado será de 10 g/t (muy alto). Estadísticamente la pepita no se encuentra en los 100 kg en 9 de 10 casos, en consecuencia, se determina el contenido con 0 g/t. El efecto es conocido como el efecto pepita y exige en esta clase de casos un gran número de muestras con grandes cantidades totales. Mientras menos homogéneo sea el material a muestrear, se deberán tomar mayor número de muestras para acercarse lo más posible al valor verdadero mediante el cálculo estadístico de un valor promedio.

## A.2.2 RECONOCIMIENTO

Bajo determinadas condiciones el reconocimiento o la medición óptica, es decir la apreciación de finos en el mineral dentro de la mina, puede reemplazar un análisis. Las condiciones para ello son:

- Alta proporción relativa del mineral en el material total, pues solamente así el valor medido o apreciado puede alcanzar la exactitud suficiente.
- La buena visibilidad del mineral bajo las condiciones de apreciación. Esto significa tener limpios los frentes o las superficies donde se realizará la apreciación y

eventualmente el uso de métodos artificiales para el mejoramiento de la visibilidad. Por ejemplo con una lámpara ultravioleta para el aprovechamiento de la luminiscencia del mineral.

El reconocimiento tiene sentido en la minería del plomo y zinc en yacimientos hidrotermales con filones formales. En este caso, el reconocimiento está acompañado generalmente de una cartografía del techo o del frente. En un perfil se mide la totalidad de ancho del frente y el ancho del filón. Se debe trazar el perfil perpendicularmente al buzamiento y rumbo del filón (caso contrario los valores resultan altamente irreales). En caso de que éste se encuentre ramificado en varios ramales se determina la suma de los espesores individuales: por ejemplo 25 cm de galena, 15 cm de blenda en 175 cm de espesor. Así se pueden determinar los porcentajes del volumen de la distribución de mineral. Considerando las densidades de los minerales y de la roca caja se puede determinar el porcentaje de masa de la distribución de mineral. El conocimiento del contenido de metal fino en el mineral lleva a la determinación de la distribución del metal (%-peso) en el perfil reconocido. Se puede elevar la exactitud de este método por medio de factores de corrección para minerales entrecrecidos. Esta forma de reconocimiento se ha impuesto incluso en operaciones altamente mecanizadas en países industrializados ante métodos modernos (por ejemplo en la República Federal de Alemania, el análisis móvil de fluorescencia de rayos X).

Otra rama minera en la cual se aplica el reconocimiento es la minería de la scheelita, donde se ilumina el frente con una lámpara ultravioleta que excita su fluorescencia.

Tanto para el muestreo como para el reconocimiento es válido lo siguiente: gran exactitud en los resultados se puede alcanzar solamente con mucha disciplina de trabajo y experiencia.

## A.2.3 APROVECHAMIENTO DE LA EXACTITUD MINIMA

Todos los procesos de análisis y métodos de comprobación muestran una proporcionalidad en relación a su exactitud y sus costos, o sea que mientras más alto sea el grado de exactitud del análisis, más alto será el costo de los aparatos y por consiguiente el costo del análisis. Mientras más

bajo sea el límite de comprobación del método de análisis, o sea mientras más pequeño sea el valor analizado, más caro será el análisis. En vista de este hecho es sumamente necesario escoger para la Pequeña Minería, por consideraciones económicas, el proceso de análisis más barato en relación a la exactitud deseada y a los contenidos a analizar (límite de comprobación).

#### A.2.4 DETERMINACION DE LA DISTRIBUCION DE ELEMENTOS EN EL MINERAL BRUTO Y EN EL CONCENTRADO

El desconocimiento sobre los contenidos de los diferentes elementos, tanto en el mineral bruto como en el estéril y en los concentrados, es a menudo una causa de que los resultados económicos sean deficientes, o sea no óptimos para la Pequeña Minería. Generalmente se investigan solo los contenidos de los metales deseados en el mineral y en el concentrado. En consecuencia, las causas de los datos errados sobre contenidos metálicos (castigos) son desconocidos para el pequeño minero. También las liquidaciones de los compradores de mineral no son lo suficientemente explícitas acerca de los castigos. Los subproductos comerciables permanecen desconocidos.

Muchos metales y elementos no deseados por las fundiciones, cuando sobrepasan un límite en el concentrado, son motivo de castigo que se traducen en descuentos en el precio. Estos elementos, sus contenidos límites y sus castigos están determinados en tablas standard de la fundición y se diferencian según el proceso de fundición, la situación del mercado y el comprador. Por consiguiente, es imposible obtener datos exactos sobre estos elementos y sus límites. Sin embargo, como datos de referencia se presentan a continuación como ejemplo algunos elementos importantes no deseados en concentrados de minerales metálicos.

Las fundiciones castigan generalmente la presencia de:	
Bi	en casi todos los concentrados
Hg	en casi todos los concentrados
S	en concentrados de minerales óxidos con valor
As	en concentrados de Pb y Ag
Cu	en concentrados de Pb y Ag
Cd	en concentrados de Pb y Ag
Se	en casi todos los concentrados

Los castigos pueden llevar a grandes disminuciones de utilidades en las operaciones de la Pequeña Minería. De esta manera, el conocimiento de la distribución de elementostraza es deseable para la fijación de una estrategia de comercialización en lo posible antes del inicio de las actividades mineras y de la planificación de la planta de beneficio.

De la misma manera que los metales no deseados, a menudo pasan desapercibidos contenidos de elementos que eventualmente podrían entregar subproductos valiosos para el mercado, por ejemplo: arenas de circón en aluviones, piritas con contenido aurífero y arsenopirita en filones sulfúricos complejos. Aquí también es imprescindible el conocimiento de la distribución de los elementos para la elaboración de una estrategia óptima de comercialización, previa a los trabajos mineros.

Análisis completos de una muestra de concentrado y de una muestra mixta del mineral bruto para la determinación de todos los contenidos importantes de metal, de elementostraza y cationes realizados por un laboratorio serio deberían ser standard para la Pequeña Minería. El fomento por parte del estado, a través de la ejecución de análisis a bajo precio, sería un componente de ayuda importante para la Pequeña Minería.

La ejecución de análisis tiene gran significado también por motivos de protección del medio ambiente. De esta manera, se pueden identificar componentes dañinos para el medio ambiente (por ejemplo: azufre en el carbón, restos de mercurio en el oro, contenidos de arsénico y cianuro en las colas).

#### A.2.5 DETERMINACION DEL MINERAL PORTADOR DEL FINO

En la Pequeña Minería, además de una investigación geoquímica pura del mineral bruto, es prioritario el conocimiento mineralógico, especialmente del portador del material valioso. Debido a que en la Pequeña Minería el beneficio no toca la consistencia de la sustancia de los minerales, el conocimiento del portador del material valioso es muy importante, especialmente para la planificación del beneficio y de la comercialización. Para ésto las investigaciones necesarias son los análisis microscópicos de superficies pulidas, de sus separaciones, de

minerales de elemento traza, etc., los cuales pueden ser reconocidos semicuantitativamente de forma fácil y rápida por microscopistas experimentados.

La pregunta, por ejemplo si la plata se presenta como mineral de plata o como elemento de la estructura de minerales de zinc puede influir en la eficiencia del beneficio y de la comercialización, o sea en la economía de la operación.

Igualmente importante es la composición mineralógica del mineral bruto en los yacimientos primarios, en los cuales el oro puede aparecer como oro libre o asociado a piritas o a arsenopiritas como "refractory ore".

En todo caso los principales minerales deben posibilitar la comercialización. Algunos tipos de yacimientos contienen minerales principales, los cuales no se pueden vender o difícilmente se pueden vender. A esta clase de yacimientos pertenecen los yacimientos de minerales complejos con sulfosales como portadores del fino.

Un ejemplo es la mina Taricoya en Bolivia, cuyas leyes del mineral en bruto metálicos en el bruto, según datos del Fondo Nacional de Exploración Minera (FONEM), son relativamente muy prometedores como muestra la siguiente tabla:

Pb: 3.45 %	Ag: 379 g/t
Sb: 6.48 %	Au: 7 g/t

Sin embargo, debido a que el mineral consiste en la sulfosal Jamesonita ( $Pb_4FeSb_6S_{14}$ ), la venta del concentrado es muy difícil.

Este ejemplo muestra que los resultados de las investigaciones mineralógicas son también decisivos para determinar hasta que punto se puede explotar económicamente un yacimiento con los métodos simples de trabajo de la Pequeña Minería.

## A.2.6 OTRAS INVESTIGACIONES DE MATERIAS PRIMAS

Además de la composición química y mineralógica, los datos característicos son relevantes según la materia prima para su evaluación. Como ejemplo se nombra:

- Para los combustibles fósiles (carbones, turbas): contenido de cenizas, poder calorífico, contenido de azufre, poder de aglutinación, etc.
- Para los materiales de construcción: resistencia a la compresión de cubo, fisionabilidad y permeabilidad
- Para algunas arcillas (vermiculita): comportamiento de hinchamiento
- Para asbestos: comportamiento al enmarañamiento
- Para materias primas pigmentadas (baritina y caolín): coloración
- Para muchas materias primas: tamaño de grano (granos gruesos para grafito, mica, granos finos para caolines)
- Para materiales abrasivos (corindón, granate): dureza

La siguiente tabla muestra una selección de los principales minerales, clases de vetas, roca caja y sus cualidades.

Tabla: Características de minerales, clases de veta y acompañantes, como también roca caja.

Nombre del Mineral	Fórmula química	Contenido fino	Densidad	Tenacidad/ <sup>1)</sup> Observaciones
Galenita	PbS	Pb: 86.6 %	7.2 - 7.6	4
Esfalerita	ZnS	Zn: 67.0 %	3.9 - 4.1	2
Wurtzita	ZnS	Zn: 67.0 %	4.0 - 4.1	2
Greenockita	CdS		4.8	*
Cerussita	PbCO <sub>3</sub>	Pb: 77.5 %	6.4 - 6.6	1
Anglesita	PbSO <sub>4</sub>	Pb: 68.3 %	6.3 - 6.4	1
Smithsonita	ZnCO <sub>3</sub>	Zn: 52.1 %	4.0 - 4.	2
<b>Complejo mineralizado plomo, plata, zinc, oro</b>				
Bourmonita	CuPbSbS <sub>3</sub>	Pb: 42 %	5.7-5.9	3
Boulangerita	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	Pb: 55 %	5.9-6.5	2
Jamesonita	Pb <sub>4</sub> FeSb <sub>6</sub> S <sub>14</sub>	Pb: 40 %	5.6	4
Tetraédrita	Cu <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	Ag: hasta 19 %	4.6-5.1	2
Plata pura	Ag	Ag: hasta 100 %	10.1-11.1	6
Estefanita	Ag <sub>5</sub> SbS <sub>4</sub>	Ag: 68 %	6.2-6.4	4-2
Argentita	Ag <sub>2</sub> S	Ag: 87 %	7.2-7.4	6
Percustita	Ag <sub>3</sub> AsS <sub>3</sub>	Ag: 65 %	5.6	2
Pirargirita	Ag <sub>3</sub> SbS <sub>3</sub>	Ag: 60 %	5	2
Petzita	Ag <sub>3</sub> AuTe <sub>2</sub>	Ag: 41.8 %		
		Au: 25.4 %	8.7-9.1	5
Oro puro	Au	Au: hasta 100 %	15.5-19.3	6
<b>Minerales de cobre</b>				
Cobre puro	Cu	Cu: hasta 100 %	8.5-9.0	6
Cobelina	CuS	Cu: 66.5 %	4.6-4.8	4
Calcosina	Cu <sub>2</sub> S	Cu: 79.9 %	5.5-5.8	4
Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>	Cu: 63 %	4.9-5.3	4-2
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	Cu: 34.7 %	4.1-4.3	3
Enargita	Cu <sub>3</sub> AsS <sub>4</sub>	Cu: 48 %	4.4-4.5	2
Cuprita	Cu <sub>2</sub> O	Cu: 88.8 %	6.1	2
Malaquita	Cu <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Cu: 57 %	4.0-4.1	
Azurita	Cu <sub>2</sub> (OH/CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Cu: 55 %	3.8	2
<b>Minerales de estaño</b>				
Casiterita	SnO <sub>2</sub>	Sn: 78.1 %	6.8-7.1	2
Tealita	PbSnS <sub>2</sub>	Sn: 30 %	6.4	4
Franckeita	Pb <sub>5</sub> Sn <sub>3</sub> Sb <sub>2</sub> S <sub>14</sub>	Sn: 17 %	5.9	4
Estanita	Cu <sub>2</sub> FeSnS <sub>4</sub>	Sn: 27.5 %	4.3-4.5	2
<b>Minerales de antimonio</b>				
Antimonita	Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Sb: 71.4 %	4.6-4.7	4
Ocre de antimonio	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (H <sub>2</sub> O)	Sb: var.	5.6-6.6	**

<sup>1)</sup>La tenacidad indica el comportamiento de los minerales ante la rotura

Nombre del Mineral	Fórmula química	Contenido fino	Densidad	Tenacidad/ <sup>1)</sup> Observaciones
--------------------	-----------------	----------------	----------	--

**Minerales de bismuto**

Bismuto puro	Bi	Bi: hasta 100 %	9.7-9.8	2
Bismutinita	Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	Bi: 81 %	6.8	4
Ocre de bismuto	Bi-óxido Bi-hidróxido		6.7-7.5	**

**Minerales de Wolframio**

Scheelita	CaWO <sub>4</sub>	W: 63.8 %	6.1	2
Wolframita	(Fe,Mn)WO <sub>4</sub>	WO <sub>3</sub> : 76 %	7.1-7.5	2
Ferberita	FeWO <sub>4</sub>	WO <sub>3</sub> : 76.4 %	7.5	2
Huebnerita	MnWO <sub>4</sub>	WO <sub>3</sub> : 76.6 %	7.1	2
Ocre de Wolfram	Oxidos e Hidróxidos de Wolfram		4.0-4.5	**

**Otros minerales y acompañantes:**

Rejalgar	As <sub>4</sub> S <sub>4</sub>	As: 70 %	3.6	
Oropimente	As <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	As: 61 %	3.5	
Molibdenita	MoS <sub>2</sub>	Mo: 60 %	4.6-5.0	
Pirita	FeS <sub>2</sub>		5.0-5.2	
Pirrotina	FeS		4.6-4.8	
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		4.9-5.3	
Arsenopirita	FeAsS		5.9-6.2	
Limonita	FeOOH		aprox.4	
Jalosita	KFe <sub>3</sub> ((OH) <sub>6</sub> /(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )		3.1-3.3	
Argentojalosita	AgFe <sub>3</sub> ((OH) <sub>6</sub> /(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )		?	
Plumbojalosita	PbFe <sub>3</sub> ((OH) <sub>6</sub> /(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> )		?	

**Explicaciones sobre tenacidades/observaciones:**

1	Significa	muy quebradizo
2		quebradizo
3		poco quebradizo
4		suave
5		flexible
6		muy flexible
*	significa	estado de entrecrecimiento fino
**		producto erosionado en forma de polvo

Tabla: Características de minerales, clases de veta y acompañantes, como también roca caja.

## MINERALES DE VETA

Nombre del Mineral	Fórmula química	Densidad
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	2,6-2,7
Calcita	CaCO <sub>3</sub>	2,6-2,8
Siderita	FeCO <sub>3</sub>	3,7-3,9
Dolomita	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	2,8-2,9
Fluorita	CaF <sub>2</sub>	3,1-3,2
Barita	BaSO <sub>4</sub>	4,3-4,7
Vivianita	Fe <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> · 8H <sub>2</sub> O	2,6-2,7
Apatita	Ca <sub>5</sub> (F,Cl,OH)(PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	2,9-3,1
Epidota	(Ca <sub>2</sub> Fe)(Al <sub>2</sub> O)(OH)Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> SiO <sub>4</sub>	3,4-3,5
Turmalina	Silicato de hidróxilo de boro complejo	3,0-3,1
Ortoclasa	(K,Na)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	2,5-2,7
Plagioclasa	(Ca,Na)(AlSi) <sub>4</sub> O <sub>8</sub>	2,6-2,7
Alunita	KAl <sub>3</sub> (OH) <sub>6</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	2,6-2,9

## ROCA-CAJA

Nombre	Densidad
Granito	2,6-2,7
Diorita	2,8-2,9
Sienita	2,6-2,8
Dacita	2,6-2,7
Andecita	2,5-2,6
Traquita	2,6-2,8
Basalto	2,7-3,2
Pórfiro	2,7-2,9
Gneis	2,4-2,7
Cuarcita	2,3-2,6
Arenisca	2,2-2,5
Arenisca arcillosa, Arenisca esquistosa	2,6-2,7

## Capítulo técnico 1: Análisis

### 1.1 ANALISIS CON SOPLETE

Minería metálica  
en general

Análisis

Español:	análisis con soplete
Inglés:	blow pipe analysis
Aleman:	Lötrohrprobierkunde
Fabricante:	Krantz

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 20 - 25 cm de largo, punta con inyector 0.4 - 0.5 cm Ø platino o níquel
Peso:	aprox. 50 g
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	soplado con la boca
Posibilidades alternativas:	o accionado por medio neumático
Forma de trabajo:	intermitente
Materiales: Cuáles:	Carbón de madera, bandeja de cerámica, tubito de vidrio, combustible
Cantidad:	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ (soda) $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (sal de acederas) $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ (borax) $\text{Na}(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$ (Sal fosforada)

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	soplete, aprox. 30 DM
Costos de operación:	principalmente determinado por los costos de los reactivos y los costos de personal
Costos derivados:	balanza muy exacta $\pm 0.1$ mg, escala para la determinación de granos pequeños de plata y oro, lupa

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	----- ----- ■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■----- ----- -----	altos
Exigencias al personal:	Alta experiencia del analizador		
Clase del análisis:	Semicuantitativo y cualitativo		
Exactitud de los resultados:	$\pm 2$ g/t para oro y plata		
Realizable en la mina:	Ag, Au, Cu, Pb, Bi, Sn, Co, Ni, Hg se pueden determinar cuantitativamente		
Aparato que puede reemplazar:	Todos los otros métodos analíticos como el análisis fluorescente de rayos X, la química húmeda.		
Divulgación regional:	Antes, método de análisis y de examen expandido en los países industrializados, el cual fué desplazado por nuevos métodos de análisis		
Experiencia del operador:	muy buena	■----- ----- -----	mala
Contaminación ambiental:	baja	■----- ----- -----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- ----- ----- ■-----	mala
	Se pueden fabricar localmente partes individuales del soplete y del quemador, eventualmente el trípode y el compresor pequeño.		
Tiempo de vida:	muy largo	■----- ----- -----	muy corto

Literatura, Fuente: Plattner, Wehrle, Kest, Kolbeck, Frick-Dausch

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En el análisis con soplete se determinan elementos de una pequeña muestra en varios pasos del proceso, de manera cualitativa o semicuantitativa.

Se emplean procesos térmicos secos, eventualmente en combinación con experimentos húmedos.

## 1.1 ANALISIS CON SOPLETE

### Minería metálica en general

### Análisis

Se calienta a prueba en un tubo abierto o semicerrado, se la funde hasta formar una perla con bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{H}_2\text{O}$ ) o sal fosforada ( $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4 \times 4 \text{H}_2\text{O}$ ) bajo condiciones oxidantes o reductoras, se la quema directamente en la llama para la determinación de la coloración de la llama o se la calienta sobre carbón bajo condiciones reductoras u oxidantes. Como fuente de energía se utiliza la llama de un quemador pequeño, la cual es alimentada por un tubo delgado, el soplete. La coloración de la masa fundida, del sublimado, del halo o de la llama, da en cada prueba, junto con apariciones de olor y reacciones, una referencia sobre la composición química de la muestra.

#### **OBSERVACIONES:**

Es importante contar con una bolsa de agua, es decir una prolongación del tubo de soldar, en la cual se junta el agua condensada sin ser soplada.

Son apropiadas las lámparas con mechas de algodón y aceite de colza, parafina, aceite de oliva y mezclas de alcohol (alcohol de quemar) con bencina o aceite de trementina.

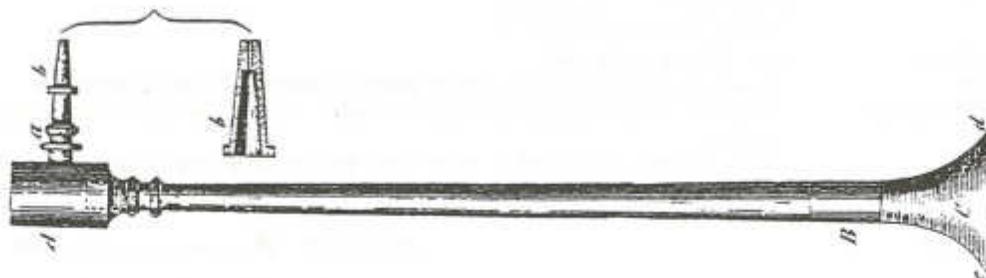
Como base se usa carbón de madera en pedazos afilados de aprox. 30 x 30 x 40 mm. En caso de no disponer de carbón, se puede crear una base de polvo de carbón y cola de almidón.

En 1670 se hicieron las primeras investigaciones científicas sobre el uso del soplete de Erasmos Bartholin. Al soplar se pueden alcanzar corrientes de aire homogéneas, acoplando el tubo de soldar a una conexión de aire comprimido. Si no es posible, se utiliza un neumático, por ejemplo neumáticos de auto o carretilla, como tanque de aire comprimido, los cuales se inflan con aire previamente.

Las ventajas del análisis con soplete son la sencillez de su ejecución y de los aparatos necesarios para realizarlo. Las muestras pueden ser analizadas en forma rápida y comparativamente exacta, lo cual es de gran importancia especialmente para las minas en operación. No es necesaria una preparación especial de la muestra, como por ejemplo una trituración exagerada, etc. La forma de trabajo, que parece compleja en su descripción, se simplifica cuando se realizan investigaciones standard en metales conocidos.

#### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Técnica de análisis cualitativa y semicuantitativa, sencilla en el empleo de aparatos y de bajo costo, la cual sin embargo demanda usuarios experimentados. En la minería metálica, la técnica de análisis con soplete es apropiada para el "grade control" y el análisis en la prospección y exploración.



Dib.: Vista de un tubo de soldar para análisis, con punta cambiabile de metal noble, (izq.arriba), de Frick-Dausch

## 1.1 ANALISIS CON SOPLETE

### Minería metálica en general

### Análisis

Tabla: Las reacciones más importantes del análisis con soplete, de Frick Dausch

#### A. Calentamiento de la sustancia en tubo semicerrado.

1. Se forma un destilado: agua.
2. Se forma un sublimado puro, blanco:
  - sales de amonio: al mismo tiempo aparece un olor a amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).
  - Se funde cloruro de mercurio, se volatiliza y se condensa en forma de agujas.
  - Clorato de mercurio se sublima sin fundirse. El sublimado es amarillo cuando está caliente y blanco cuando está frío.
  - Trióxido de arsénico es un sublimado blanco, finamente cristalino.
  - Trióxido de antimonio se funde y se vuelve un líquido amarillo y sublima a altas temperaturas.
3. Se forma un sublimado de color:
  - Arsénicos y arsenuros ricos en arsénico: espejo de arsénico, olor a ajo
  - Antimonio: espejo de antimonio.
  - Sulfuros de arsénico, pirita arsenical: cuando está caliente es oscuro, y cuando está frío es un sublimado de color amarillo a rojo.
  - Sulfuro de antimonio: sublimado de color negro a altas temperaturas y café rojizo cuando está frío
  - Azufre: funde fácilmente, se condensa como sublimado amarillo.
  - Sulfuro de mercurio: sublimado negro, el cual al ser raspado con un fósforo cambia lentamente al color rojo.
  - Mercurio: sublimado gris de mercurio metálico.
4. Se forma un gas:
  - Oxígeno: de cloratos y peróxidos.
  - Dióxido de carbón: de carbonatos y bicarbonatos. El gas conducido en agua fría da un precipitado blanco, el cual con ácido clorhídrico desaparece a diferencia del  $\text{CaSO}_4$ .
  - Amoníaco: de sales de amonio.
  - Sulfuros de hidrógeno: de sulfuros con contenidos de agua.

#### B. Calentamiento en tubo semicerrado con bisulfato de potasio.

Nitratos y Nitritos desarrollan  $\text{NO}_2$ .  
 Bromuros expelen vapores de bromo color rojo parduzco.  
 Yoduros expelen vapores de yodo color violeta.  
 Cloruros desarrollan cloruros de hidrógeno.

#### C. Calentamiento en tubo abierto por ambos lados (ensayo de tostación).

Azufre libre y sulfuros metálicos exhalan  $\text{SO}_2$ .  
 Teluro exhala un humo blanco, el cual se condensa parcialmente.  
 Sustancias con contenido arsénico dan trióxido de arsénico, blanco, fácilmente volátil y cristalino.

# 1.1 ANALISIS CON SOPLETE

## Minería metálica en general

## Análisis

### D. Ensayo de la perla

a) Perla de bórax: bórax  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \times 10 \text{H}_2\text{O}$

Perlas de bórax

Elemento colorante	Perla oxidada		Perla reducida	
	caliente	fría	caliente	fría
Mn	violeta <sup>1)</sup>	rojo violeta	incoloro	incoloro
Ni	violeta, poco tiempo reconocible	café rojizo	incoloro o gris	incoloro o gris <sup>2)</sup>
Co	azul	azul	azul	azul
Cu	verde	verde azulado a azul claro	incoloro	rojo lacre <sup>3)</sup>
Vd	amarillento	verde amarillento	parduzco	verdoso, claro
Cr	amarillo oscuro a rojo	verde	verde	verde
Ur	amarillo rojizo	amarillento	verde <sup>4)</sup>	verde <sup>4)</sup>
Mo	amarillento <sup>5)</sup>	incoloro	amarillo	amarillo, parduzco, claro
W	amarillo a incoloro	incoloro	amarillo	amarillo, parduzco, claro
Ti	amarillento	incoloro	café amarillento	café amarillento
Fe	rojo amarillento	amarillo a incoloro	verdoso	verdoso

1) En solución muy fuerte: negro

2) De níquel metálico distribuido finamente

3) Fácilmente alcanzable con estaño; altamente característico

4) Solo en saturaciones muy fuertes y mediante remoción, verde negruzco y turbio

5) Solamente posible ante una llama oxidante excelente, totalmente libre de agentes reductores

b) Ensayo de sales de fósforo: sal de fósforo  $\text{NaNH}_4\text{HPO}_4 \times 4 \text{H}_2\text{O}$

Perlas de sales de fósforo

Elemento colorante	Perla oxidada		Perla reducida	
	caliente	fría	caliente	fría
Mn	violeta	violeta	incoloro	incoloro
Co	azul	azul	azul	azul
Cu	verde	verde azulado hasta azul claro	incoloro a verdoso	rojo lacre intransparente <sup>1)</sup>
Mo	amarillento <sup>2)</sup>	incoloro <sup>2)</sup>	verde parduzco	verde
Cr	rojizo, luego verde sucio, al final verde puro		igual que en la perla de oxidación, solo más coloreada	
Vd	amarillo oscuro	amarillo	parduzco	verde
Ur	amarillo	verde amarillento	verde sucio	verde
Ti	amarillento a incoloro	incoloro	amarillo	violeta <sup>3)</sup>
W	amarillento a incoloro	incoloro	verde sucio	azul <sup>4)</sup>
Ni	café rojizo	amarillo a amarillo rojizo	rojizo a amarillento con $\text{SnCl}_2$ gris turbio	
Fe	rojo amarillento, luego verde amarillento, finalmente parduzco		igualmente que en la perla de oxidación, solo coloreada más claramente	

1) Con ayuda de estaño

2) Solamente posible ante una excelente llama oxidante, totalmente libre de agentes reductores

3) Con una traza de sulfato ferroso incandescente: rojo sanguíneo, muy sensible!

4) Con una traza de sulfato ferroso rojo sanguíneo, igualmente muy sensible (p. ej. wolframita). Con  $\text{SnCl}_2$  sin agregado de Fe, verde oscuro

## 1.1 ANALISIS CON SOPLETE

### Minería metálica en general

### Análisis

#### E. Coloración de la llama.

llama amarilla:	sodio
llama roja amarillenta:	calcio
llama roja:	litio
	estroncio

Diferencia entre litio y estroncio.

$\text{LiCl}$  es más volátil que  $\text{SrCl}_2$ .  $\text{LiCl}$  se presenta inmediatamente y no dura.

Llama verde: Bario: color verde amarillento duradero.

Acido bórico: muy sensible, si se mezcla la muestra con  $\text{CaF}_2$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  se volatiliza el  $\text{BF}_3$ .

Nitrato de cobre: verde puro (cloruro de cobre azul).

Acido fosfórico: débilmente verde azulado, especialmente luego de humedecer la prueba con  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Llama azul: Cloruro de cobre.

Selenio: olor a selenio.

Llama violeta: Potasio, rubidio y cesio.

Separación de Na y K: observada a través de un vidrio de cobalto. Desaparece la luz de sodio y aparece la llama de potasio de color violeta púrpura.

#### F. Ensayo con solución de cobalto.

Se impregna la muestra con una solución de cobalto (1 : 10) y luego se la calienta en la vara de magnesio en la llama de oxidación.

Coloración azul: Acido silícico y silicatos: azul claro.

Alúminas: Azul oscuro (azul Thénard).

Coloración verde: Oxido de Zinc: verde puro (verde Rinnmann).

Oxido de estaño: verde azulado.

#### G. Caldo de soda y salitre.

Caldo amarillo claro: cromo.

Caldo débilmente rojo amarillento: uranio.

Vanadio da un caldo débilmente coloreado, amarillento, frío incoloro.

Oxido de hierro, permanece sin disolverse.

Color verde azulado: Manganeseo.

Examen de: Molibdeno, wolfram, vanadio, niobio, titanio.

Se frota el caldo de soda y salitre con agua en un recipiente, se filtra; filtrado se lo trata con ácido sulfúrico  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . En la solución se pone un pedazo de Zinc metálico y se deja reaccionar un tiempo prolongado.

Wolfram: La solución se torna lentamente azul cielo.

Molibdeno: La solución se torna lentamente negro parduzca.

Vanadio: La solución se torna azul claro, luego verde.

Si se trata la solución de ácido sulfúrico con superóxido de hidrógeno, el vanadio da una coloración café amarillenta.

Niobio: El disgregado seco se trata con ácido sulfúrico concentrado, una vez frío se vierte la solución a una cantidad de agua tres veces mayor y se agrega zinc. En presencia de niobio la solución se torna primeramente azul y luego se vuelve un líquido turbio de color negro parduzco.

Titanio: Al tratar la solución acuosa del caldo con ácido, se separa un polvo blanco que lentamente se torna violeta, de esta manera se presenta el titanio.

Reacción especial del titanio: Se disuelve en agua la perla de bisulfato potásico y se añade superóxido de hidrógeno. Si la solución se torna café amarillenta, significa que existe titanio.

En presencia de manganeseo se añade alcohol a la solución acuosa del agregado y se filtra el peróxido de permanganoso precipitado. En presencia de cromo no es posible el examen sobre los otros metales, según los procesos mencionados.

## 1.1 ANALISIS CON SOPLETE

### Minería metálica en general

### Análisis

#### H. Examen sobre carbón

##### 1. Precipitados

Precipitado amarillo: caliente es amarillo oscuro: plomo, bismuto (a menudo grano metálico).

Precipitado blanco: caliente es amarillo: zinc; humedecido con nitrato de cobalto y fuertemente incandescente: verde.

Precipitado azul: cadmio.

Precipitado blanco: cerca de la muestra: estaño (no volátil).

Precipitado blanco: caliente es amarillento: molibdeno. Al dejar flamear la llama reductora sobre el precipitado de molibdeno perpendicularmente a la dirección del carbón por un momento, se forma en medio del precipitado blanco una banda muy característica de color azul oscuro de  $\text{Mo}_3\text{O}_2$ .

Precipitado parduzco: plata (grano de plata).

Precipitado gris y humo oloroso: selenio.

Precipitado blanco y olor a arsénico: arsénico.

Precipitado blanco, difícilmente volátil: antimonio.

##### 2. Reducción con soda

Grano metálico blanco: plata, plomo, bismuto, antimonio, estaño.

Grano metálico coloreado: cobre, oro.

Laminillas metálicas grises: hierro, níquel, cobalto (magnético), metales de platino (no magnéticos).

Pruebas principales especiales: azufre (prueba del Hepar). La sustancia se funde con soda, reduciéndola y luego se la pone sobre una plancha de plata. Después de humedecerla en presencia de azufre sobre la plancha de plata, resulta una capa negra parduzca.

Fluor: Calentar la solución con  $\text{SiO}_2$  y  $\text{H}_2\text{SO}_4$  en un crisol de plomo (ensayo de Browning), véase abajo.

Teluro: Al calentar débilmente los minerales de teluro con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, el ácido sulfúrico se pone de color rojo.

Uranio: Se funde la sustancia con soda, luego con salitre, se revuelve el caldo con agua hasta obtener una pasta, se la pone en un filtro y se le añade ácido acético y una solución de ferrocianuro de potasio. En presencia de uranio resulta una mancha roja parduzca.

Ácido silícico y fluor: Disposición para el ensayo de Browning:

En un recipiente de plomo en forma de dedal se ralla la muestra con fluoruro de calcio y ácido sulfúrico hasta obtener una pasta. Luego se cierra el recipiente con una tapa de plomo con una abertura en el centro. Sobre el centro de la tapa se coloca un pedazo de papel de filtro negro húmedo, el cual se mantiene húmedo por medio de un papel común de filtro húmedo arrugado. Luego todo esto se calienta en un baño de agua por aproximadamente 10 min. De esta manera se escapa el fluoruro de silicio, el cual en contacto con la humedad del papel de filtro negro se descompone hidrolíticamente bajo una precipitación de ácido silícico blanco. La presencia del ácido silícico en la muestra se nota, luego del experimento, mediante una mancha blanca sobre el papel de filtro negro con la forma de la abertura de la tapa. Muy característico y muy sensible. El experimento es aplicable de manera inversa también para el flúor, si se mezcla la sustancia a examinar con ácido silícico y ácido sulfúrico. El ácido bórico puede obstaculizar; se volatiliza de forma parecida.

## 1.2 PICNOMETRO

Minería en general

Análisis

Español:	picnómetro (densímetro)
Inglés:	pycnometer, specific gravity bottle
Aleman:	Pyknometer

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	de venta en tamaños desde: aprox. 10 ml hasta 1000 ml
Peso:	50 ml : 16 g
Grado de mecanización:	no mecanizado
Forma de trabajo:	intermitente
Producción/rendimiento:	aprox. 10 - 12 Medidas/hora
Materiales:	agua

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	30 hasta 100 DM
Costos de operación:	principalmente costos de personal
Costos derivados:	balanza con precisión mínima de ± 0.1 g, costo aprox. 200 DM

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	-----■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■----- -----	altos
Exigencias al personal:	experiencia en el manejo de valores de medición		
Tipo de análisis:	<u>cuantitativo</u> cualitativo		
Exactitud del resultado:	depende de la exactitud de la balanza		
Duración:	aprox. 5 min.		
Realizable en la mina:	La determinación de la densidad con el picnómetro se puede realizar fácilmente en el terreno, empleando balanzas mecánicas, sobre todo si las cantidades disponibles de material son mayores a 10 g. El material del cual se debe determinar la densidad debe estar seco y no debe ser soluble en el medio (por lo general agua).		
Experiencia del operador:	muy buena	■----- -----	mala
Contaminación ambiental:	baja	■----- -----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- -----■	mala
	Aparato de precisión, de vidrio, que no se puede fabricar localmente, generalmente tampoco la balanza mecánica.		
Tiempo de vida:	muy largo	-----■-----	muy corto

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El picnómetro sirve para la determinación de la densidad o del peso específico de trozos o polvos de mineral no solubles. El picnómetro posee un recipiente de volumen calibrado, de medición exacta. Para la determinación de la densidad se deben realizar las siguientes tres pesadas:

- con el recipiente seco y vacío (tara)
- con el recipiente lleno con la muestra seca de mineral y
- con el recipiente lleno de agua, la muestra, y libre de burbujas

La densidad se determina según la siguiente fórmula:

$$6 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} = \frac{\text{Peso (recipiente+ muestra)}[\text{g}]-\text{Peso}(\text{recipiente}/\text{tara})[\text{g}]}{\text{Vol}[\text{cm}^3]+\text{peso (recip+muestra) [g]}-\text{peso}(\text{recip+muestra+agua})[\text{g}]}$$

## 1.2 PICNOMETRO

### Minería en general

### Análisis

---

#### **FORMAS ESPECIALES DE EMPLEO:**

Determinación de la densidad de minerales (método de determinación de minerales) y determinación de la densidad de productos en el beneficio.

#### **OBSERVACIONES:**

La exactitud de la determinación es especialmente alta si los valores de la diferencia a determinar no llegan a ser muy pequeños o sea, por ejemplo cuando el picnómetro está lleno con la muestra solo hasta la mitad.

Este método de medición necesita pocos aparatos, siendo que la minería le exige exactitudes de densidad de  $\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ . Una balanza mecánica con precisión de  $\pm 0.1 \text{ g}$  es suficiente y permite emplear este método en el terreno.

---

#### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Los análisis con el picnómetro son métodos de ayuda muy apropiado para juzgar la calidad de los productos y para la determinación del mineral ya que son métodos simples y exactos para la determinación de la densidad.

### 1.3 SEPARADOR MAGNETICO MANUAL SEGUN DR. A. WILKE

Minería metálica  
en general

Analisis

Español:	separador magnético manual
Inglés:	magnetic separator
Aleman:	Handmagnetscheider nach Dr. Wilke
Fabricante:	Krantz

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 3 cm Ø, altura aprox. 8 cm
Peso:	aprox. 150 g
Potencia motriz:	ninguna ya que posee un imán permanente
Producción/Rendimiento:	p. ej. 30 min de duración para la separación cuantitativa de una muestra de minerales pesados de 5 g, en cinco muestras parciales de diferente susceptibilidad magnética
Rendimiento técnico:	selectividad relativamente alta
Materiales:	ninguno

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	aprox. 200 DM
Costos de operación:	ningún material, solo costos de personal
Costos derivados:	balanza, para la determinación cuantitativa

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar de trabajo:	ninguna		
Exigencias al material de la muestra:	La muestra debe estar seca y disgregada.		
Duración de un análisis:	pocos minutos		
Exactitud:	Posibilidad de análisis cuantitativo en el material de muestra disgregada. Error aprox. ± 10 %, relativo.		
Divulgación regional:	Hasta ahora no difundido en la Pequeña Minería latinoamericana.		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	Condición sería un imán permanente potente y homogéneo y buen material de la membrana.		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Información del fabricante

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El separador magnético de bolsillo, de A.Wilke, consiste en un imán permanente, cilíndrico, potente, con abertura cilíndrica del polo. Este puede ser movido hacia arriba y hacia abajo dentro de una caja de latón por medio de una varilla de tracción. La caja está dentro de un tubo plástico transparente con una división milimétrica y regulable dentro del tubo plástico por medio de una rosca, de tal manera que se pueda cambiar la altura de la superficie del imán sobre el material a separar. Así se cambia la susceptibilidad de separación del separador magnético. A mayor altura, la susceptibilidad es mayor y a menor altura, también menor (la biotita difícilmente se puede separar).

### 1.3 SEPARADOR MAGNÉTICO MANUAL SEGUN DR. A. WILKE

Minería metálica  
en general

Analisis

Para el análisis se extiende la muestra en forma de una capa delgada sobre una placa no magnética (madera, vidrio) y se la separa con el separador magnético. Se asienta el separador magnético sobre la placa. Las partículas magnéticas son atraídas por el imán. Luego, se coloca el separador magnético sobre otra plancha y se sube el electroimán en la caja por medio de la varilla de tracción, con lo cual caen al suelo las partículas minerales magnéticas. Comenzando con las mayores susceptibilidades de separación se pueden separar selectivamente varias fracciones magnéticas. Luego del procesamiento completo de la muestra, el peso de la muestra total y de los productos dan resultados cuantitativos.

#### **FORMAS DE EMPLEO:**

Aparato para separación selectiva de componentes magnéticos de arenas mineralizadas, rocas y minerales molidos (productos de beneficio).

Obtención de preparados monominerales para investigaciones microscópicas y químicas.

Determinación de la composición cuantitativa de mezclas de minerales.

Se pueden separar sustancias altamente magnéticas:

magnetita, maghemita, franklinita, pirrotina;

sustancias mediana y débilmente magnéticas: arsenopirita, cromita, hematita, hilmenita, limonita, manganita, wolframita, rodocrosita, granada, anfíbolita y piroxeno.

#### **INDICACIONES CONSTRUCTIVAS:**

Además del uso en el análisis, los separadores magnéticos contruídos localmente pueden también ser empleados en la producción, para la limpieza posterior de los concentrados. Por ejemplo para la separación de granos magnéticos minerales pesados de los concentrados de metales preciosos. En ese caso son apropiados los imanes de los altoparlantes (imanes permanentes potentes), los cuales son colocados dentro de cajas plásticas y calibrados con discos de cartón, papel, madera, material plástico u otros.

#### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERIA:**

Los separadores magnéticos de bolsillo tienen excelente aplicación en la determinación cuantitativa rápida de contenidos magnéticos en los minerales brutos y en los productos del beneficio.

A veces los separadores magnéticos más simples son apropiados para la limpieza de concentrados, mediante la separación de los componentes magnéticos.

## 1.4 TIRA DE PRUEBA RAPIDA MERCKOQUANT

Minería en general  
ambientales

Análisis  
Investigaciones

Español: tira de prueba rápida  
Aleman: Schnellteststreifen Merckoquant  
Fabricante: Merck

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: Ø 3 cm, altura aprox. 10 cm para 100 varillas de prueba  
Peso: aprox. 100 - 150 g  
Producción/Rendimiento: un análisis por varilla de prueba

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: entre 20 y 35 DM/100 varillas de prueba  
Costos de operación: ninguno  
Costos derivados: Equipo de laboratorio para poner la muestra de mineral en solución, o sea mortero, ácidos, bulbo de vidrio y eventualmente un quemador a alcohol para investigaciones cuantitativas; balanza para análisis, si la muestra se encuentra en solución acuosa.

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al personal: Para mediciones cuantitativas es necesaria mucha exactitud en el pesado.  
Exigencias al lugar de trabajo: ninguna  
Exigencias al material de la muestra: La muestra debe estar completamente en solución acuosa.  
Duración del análisis: pocos segundos  
Exactitud del análisis: Variable, dependiendo de la clase de sustancia a analizar. Por ejemplo, lecturas para el arsénico hasta  $\pm 0.1$  ppm, para el pH hasta  $\pm 0.5$  pH.  
Divulgación regional: Hasta ahora poco divulgado.

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta  
Según el tipo y preparación de la muestra (disolución de la muestra).

Facilidad de fabricación local: absolutamente ninguna muy buena  mala

Literatura, Fuente: Información del fabricante

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Las varillas de prueba Merckoquant consisten en tiras de material plástico, en las cuales una punta está sellada con la zona de prueba impregnada con reactivos, tampones y otros aditivos. Sirven para una rápida orientación en márgenes desde 1 mg/l (ppm). Se emplea introduciendo la zona impregnada en la solución acuosa a investigar por el lapso de 1 - 2 seg. y luego se la compara con una escala de colores.

### **FORMAS DE USO:**

Para la determinación rápida de contenidos metálicos en aguas (investigaciones del medio ambiente), soluciones de minerales brutos, productos del beneficio, etc. Control de reactivos en la cianuración simple del oro.

## 1.4 TIRA DE PRUEBA RAPIDA MERCOKOQUANT

Minería en general  
ambientales

Análisis  
Investigaciones

### **OBSERVACIONES:**

Se pueden determinar:

Arsénico:	0.1	-	3	ppm
Cobalto:	10	-	1000	ppm
Cobre:	10	-	300	ppm
Molibdeno:	5	-	250	ppm
Níquel:	10	-	500	ppm
Plata:	0.5	-	10	g/l
Zinc:	10	-	250	ppm
Estaño:	10	-	200	ppm

Dureza total:	4	-	25
Valor pH:	0	-	14

Las soluciones fuertemente concentradas pueden ser diluidas con agua destilada para obtener concentraciones que estén dentro de los márgenes de medición.

### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERIA:**

Es muy apto para las investigaciones sobre el medio ambiente (aguas), por su manejo muy simple y por el análisis rápido e independiente del lugar.

No adecuado para el análisis de materias primas, debido a los problemas de la preparación de la muestra.

## 1.5 PARTIDOR DE MUESTRAS ACANALADO

Minería en general

Análisis

Español:	partidor de muestras
Inglés:	riffelbox
Aleman:	Riffelteiler
Fabricante:	Haver + Boecker, Siebtechnik

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 30 x 60 x 30 cm; alto, ancho, profundidad
Peso:	aprox. 2 - 5 kg según el espesor del material
Potencia motriz:	no mecanizado
Producción/Rendimiento:	varios 100 kg/h
Grado de rendimiento técnico:	buena representatividad de las muestras parciales

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	de fabricación industrial alemana: 300 - 1200 DM; fabricación local aprox. 100 DM
Costos de operación:	sólo costos de personal
Costos derivados:	ninguno

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar de trabajo:	ninguna		
Exigencias al material de la muestra:	La muestra debe estar triturada hasta un tamaño que sea máximo la mitad del ancho de los canales.		
Duración de la separación:	muy corta		
Aparato que puede remplazar:	partidor de muestras mecanizado		
Divulgación regional:	Divulgado ya en las organizaciones afines a la Pequeña Minería.		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	talleres metal-mecánicos simples		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Schroll, Información del fabricante

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Con el partidor de muestras se vacía la muestra de un recipiente sobre los canales que reparten el material hacia la izquierda o derecha alternadamente; se la recibe en dos recipientes. Luego se utiliza la carga de uno de ellos y se desecha la otra.

### **FORMAS DE USO:**

Partición gradual por la mitad del material de la muestra proveniente de muestras únicas o conjuntas de minerales brutos y productos del beneficio, obtenidas de yacimientos filonianos y aluvionales.

### **OBSERVACIONES:**

Los partidores de muestras acanalados son separadores muy simples que se caracterizan por la alta representatividad de las muestras parciales.

## 1.5 PARTIDOR DE MUESTRAS ACANALADO

Minería en general

Análisis

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

El partidor de muestras acanalado, debido a la posibilidad de fabricación local y a su funcionamiento simple, es apto para el mejoramiento de la preparación de muestras, aumentando así la exactitud del análisis en la Pequeña Minería.



Vista de un partidor de muestras de laboratorio, de acero afinado con recipiente para la alimentación (arriba) y recipiente para sacar la muestra (abajo). El aparato es de producción colombiana. Precio aprox. 100 DM.

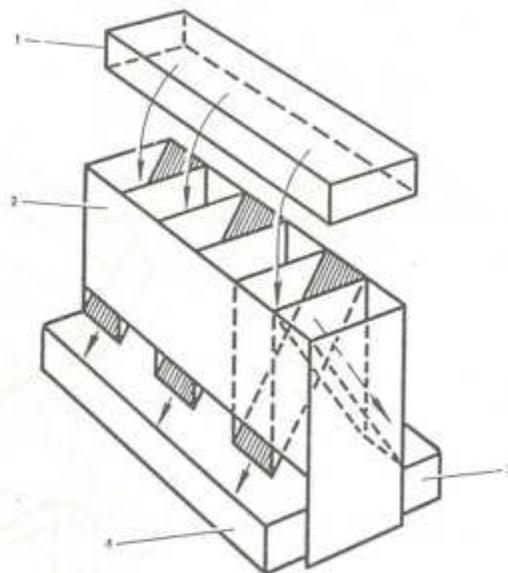
## 1.5 PARTIDOR DE MUESTRAS ACANALADO

Minería en general

Análisis



Vista de arriba, de la cámara separadora del partidor de muestras de fabricación colombiana.

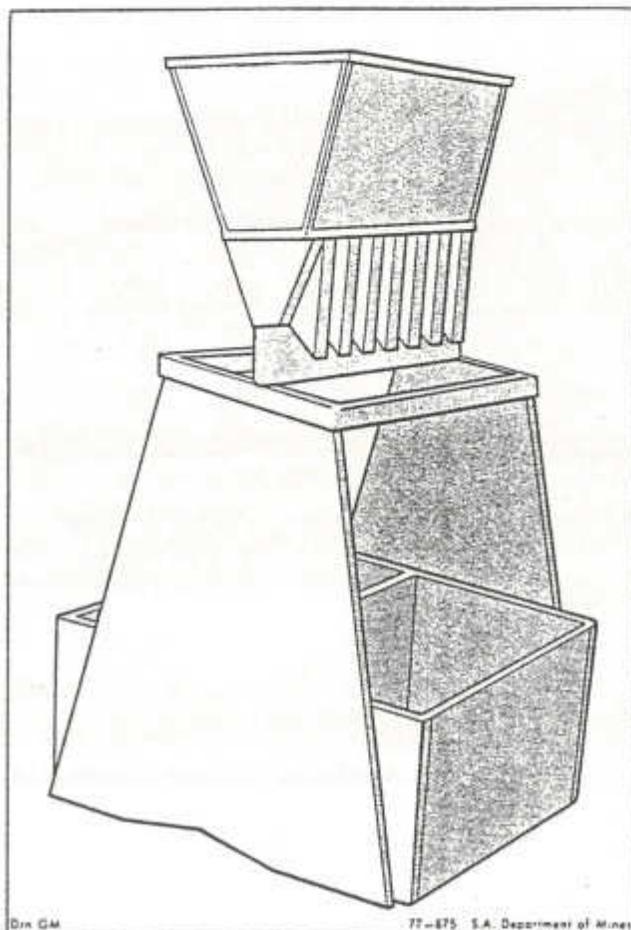


Dib.: Principio del partidor acanalado. Fuente: Lauer.

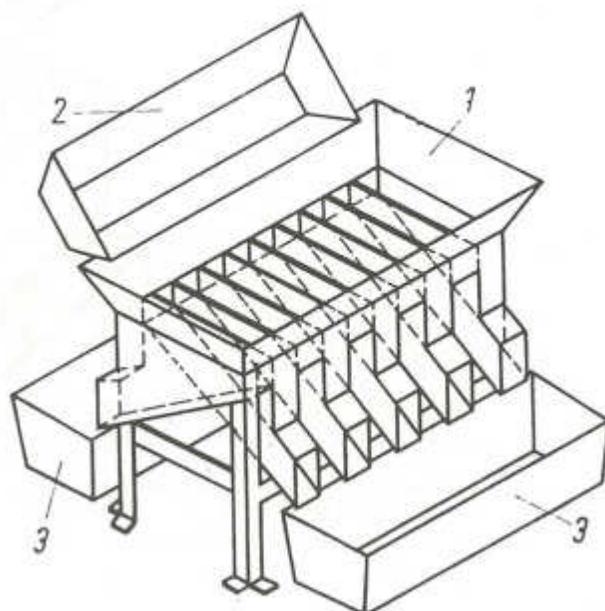
## 1.5 PARTIDOR DE MUESTRAS ACANALADO

Minería en general

Análisis



Dib.: Partidor de muestras acanalado para la preparación de muestras. Fuente: Armstrong.



Dib.: Partidor de muestras acanalado con (1) partidor de muestras, (2) cajón de la alimentación y (3) cajón de recepción, de Schubert.

## B. MINERIA SUBTERRANEA

### B.1. DEFINICION

La minería subterránea abarca todos los campos de trabajo de la explotación de materias primas por el hombre utilizando medios técnicos. Comprende los trabajos de descubrimiento del yacimiento (exploración) y la disposición de la infraestructura necesaria, además de los campos de arranque y transporte y todas las medidas para la seguridad de los mineros. Entre ellos se cuentan:

- Perforación
- Voladura
- Carga
- Transporte
- Desagüe
- Ventilación
- Alumbrado
- Fortificación

En la Pequeña Minería practicada en los países en desarrollo se puede señalar la minería de cateo cerca de la superficie como una forma de transición a la minería a cielo abierto.

El reconocimiento del yacimiento en latinoamérica se realiza mediante trabajos mineros (avance de galerías). Esto se debe a los costos comparativamente altos de las perforaciones con recuperación de núcleos.

### B.2. SITUACION INICIAL Y ALCANCES DEL PROBLEMA

La Pequeña Minería en los países en desarrollo explota minerales de los más variados tipos de yacimientos. Como yacimientos aptos para la Pequeña Minería se pueden nombrar:

- Aluviones
- Zonas de oxidación
- Yacimientos filonianos magmáticos hidrotermales con vetas formales que, a consecuencia de sus marcadas formas telescópicas, contienen una mineralización muy compleja
- Filones pegmatíticos
- Filones de cuarzo aurífero, pobres en sulfuros
- Filones con altos contenidos de oro en sulfuros que luego son enriquecidos mediante flotación en los concentrados de sulfuros
- Yacimientos pneumatolíticos y metasomáticos.

En general se puede decir que las dimensiones de las vetas individuales o bien de los espacios abiertos por el arranque son pequeñas. Las dimensiones de las estructuras de las minas son en parte tan pequeñas que se hace imposible el uso



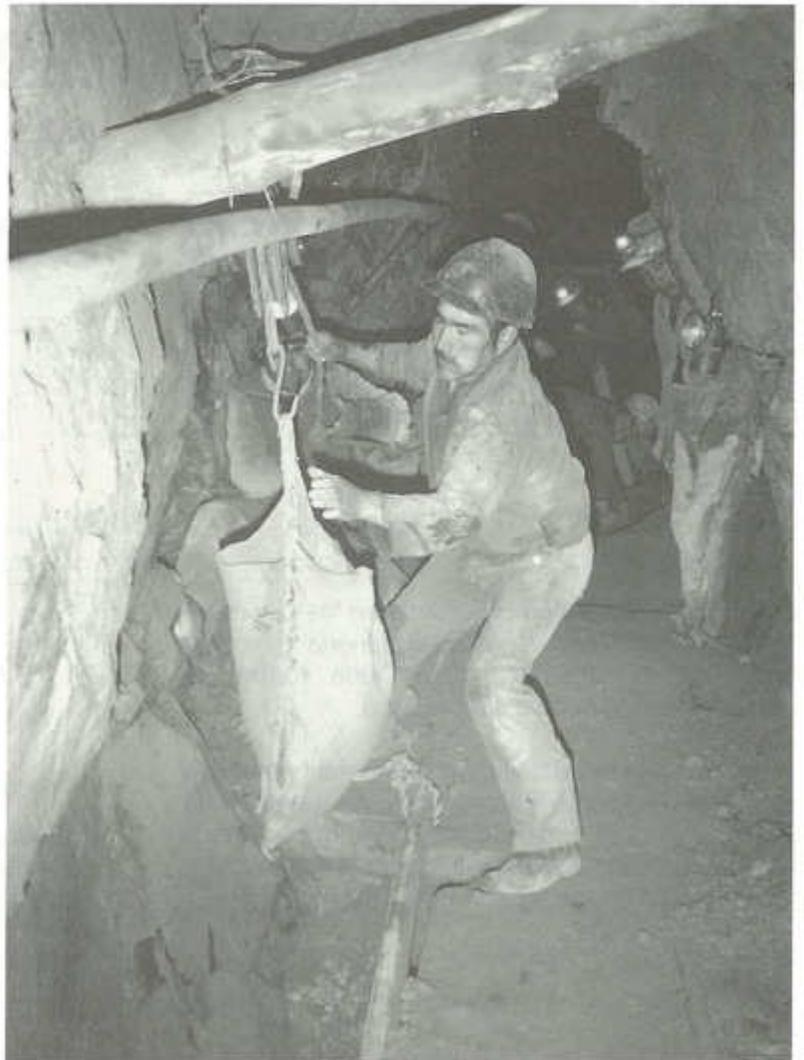
Transporte en carro metalero, Mina Añatuyani, aprox. a 4.440 msnm. Cerro Kami, Bolivia.

de medios técnicos de ayuda y equipo minero en forma estandarizada y mecanizada. Un ejemplo es el gran yacimiento de Wolfram de Kami en Bolivia donde, a causa de la cantidad de pequeños escombros de las vetas y las dificultades en la mecanización, se trabaja principalmente en forma manual.

Además de este problema netamente técnico de una minería no mecanizada, la Pequeña Minería, especialmente las cooperativas mineras, lucha con una serie de dificultades organizativas:

- Métodos de explotación no adecuados
- Escasa distribución del trabajo
- Deficiente coordinación del trabajo

Transporte del mineral bruto a través del pozo, Mina Añatuyani, Cerro Kami, Bolivia.



Especialmente resalta el problema de la organización de las cuadrillas en las cooperativas, las cuales están formadas por grupos de trabajo de cuatro hombres. En la Cooperativa Minera El Progreso (Kami) se pudo observar que cada cuadrilla recibe el derecho, por parte de la Cooperativa, de explotar aquella parte del yacimiento que está 15 m por debajo y por encima de la galería. Como consecuencia, resultan arranques totalmente diferentes, irregulares, sin planificación y en los cuales el avance se dificulta por la deficiente ventilación, fortificación, etc.

Estas deficiencias organizativas y técnicas llevan a que los rendimientos específicos de la Pequeña Minería en los países en desarrollo se deban calificar de muy deficientes. Como consecuencia, muchos yacimientos pequeños, pero de todas maneras ricos, deben ser considerados como económicamente marginales.

Las deficiencias económicas citadas llevan a otros círculos de problemas específicos de la Pequeña Minería:

- Deficiencias en la seguridad, principalmente en los aspectos de ventilación y fortificación. Debido a la deficiente liquidez de las minas, también se ahorra en las instalaciones de seguridad para los mineros.
- Los problemas económicos de las familias mineras obligan a trabajar a las mujeres y a los niños (ver foto pag. 36). Mientras que a las mujeres, debido a concepciones tradicionales-religiosas, se les permite trabajar sólo en superficie, o sea en la planta de beneficio, a los niños a partir de la edad de 10 - 12 años se les emplea en el proceso de explotación en interior mina. Estos niños trabajan a veces en lugares extremadamente pequeños donde no cabe un minero adulto.



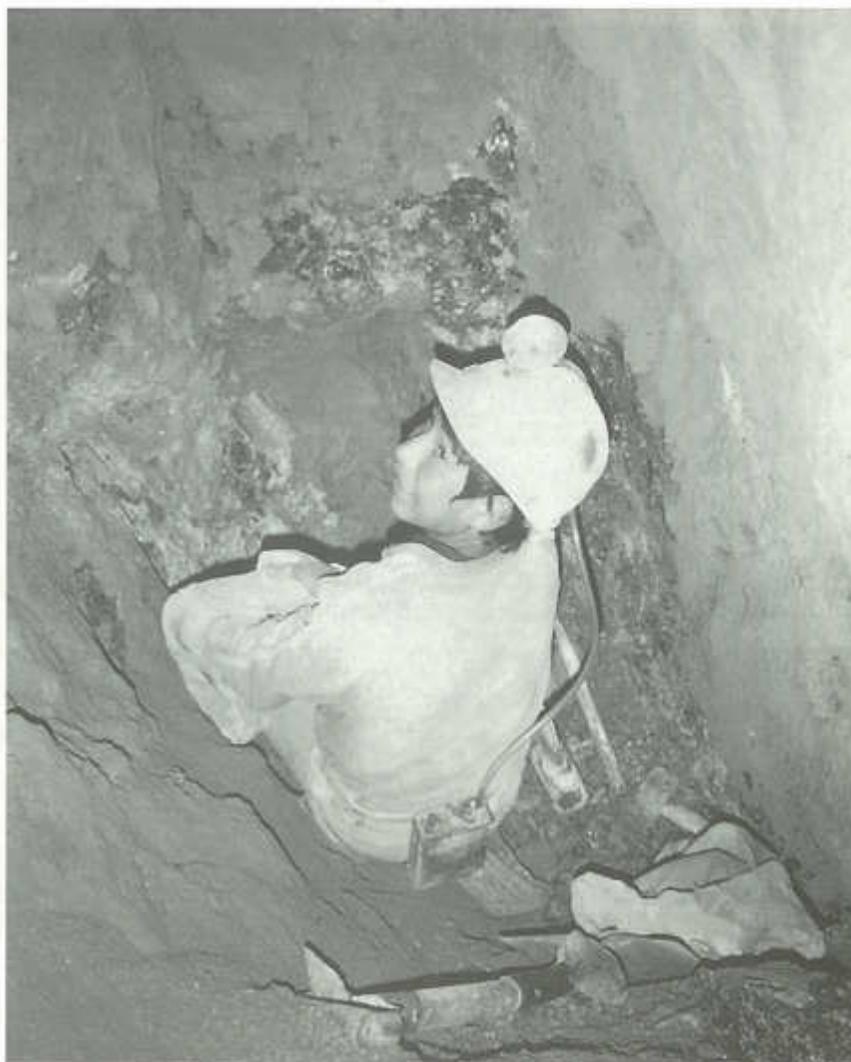
Socavón de la Mina Sta. Elena, aprox. a 4.700 msnm, Cerro Rico de Potosí, Bolivia.

Los altos costos de explotación y costos derivados en la Pequeña Minería subterránea manual deficientemente organizada obligan a los mineros a una explotación selectiva de partes ricas. Esta clase de explotación de solamente el mineral visible y que sigue sólo a las partes ricas de las vetas es una forma de pirquería, la cual en parte puede ocasionar grandes pérdidas en la economía nacional. Aquellos lugares del yacimiento con leyes bajas, cuyos accesos están imposibilitados debido a la extracción de los lugares ricos en forma de pirquín o que fueron derrumbados, son luego técnicamente difíciles hasta imposibles de explotar. Incluso bajo condiciones económicas favorables (como por ejemplo mayores precios para materias primas minerales a nivel mundial), estos restos de yacimientos dañados por el mismo sistema pirquín, tampoco podrían ser explotados. Esto es válido sólo para la Pequeña Minería desorganizada en yacimientos grandes. El valor especial de la Pequeña Minería a nivel macroeconómico

reside en su capacidad de adaptación a pequeños yacimientos que no podrían ser trabajados por ninguna otra forma de organización minera.

Este manual "Técnicas y Procesos de la Pequeña Minería" tiende a romper el círculo de problemas referentes a la explotación subterránea. Se presentan propuestas sobre la organización del trabajo mediante las cuales la Pequeña Minería puede sacar provecho sin gastos de inversión adicionales:

- Rebaja del cut-off
- Aumento de la vida del yacimiento
- Mejoramiento de las condiciones de trabajo (aumento de la seguridad, eliminación del trabajo por niños)
- Aumento del rendimiento de la explotación
- Mejoramiento de la situación de los ingresos y
- Efectos económicos a nivel nacional, mediante la seguridad de los puestos de trabajo.



Filón con contenido de Wolfram.  
Explotación manual y realización del  
trabajo por niños, Mina Añatuyani  
aprox. a 4.400 msnm. Cerro Kami,  
Bolivia.

### **B.3. PRINCIPIOS DE SOLUCION PARA LA ORGANIZACION DEL TRABAJO**

#### **B.3.1 APROVECHAMIENTO DE LA FUERZA DE GRAVEDAD, EVITAR LOS TRANSBORDOS**

En la Pequeña Minería a menudo se puede observar una actividad inefectiva en la carga y en el transporte. La carga es a menudo varias veces transbordada, descargada y cargada. En las Cooperativas mineras organizadas en cuadrillas, los lugares de explotación desde el nivel de transporte hacia abajo son especialmente laboriosos y con bajos rendimientos. En estos casos siempre se encuentran gúinches (ver foto, ficha técnica 9.1) para la extracción cada 10 a 20 m. Para un incremento del rendimiento del método de explotación se necesitan cambios en tres sentidos:

1. Se debe encontrar una forma de organización para la distribución del trabajo.
2. Se debe escoger un sistema de explotación que facilite la labor de carga aprovechando la fuerza de gravedad.
3. En lo posible se debe centralizar la extracción por el pozo, o sea que se debe planificar y realizar una galería de extracción por la cual se lleve la carga hacia el pozo de extracción o hacia un pique interior.

La planificación de los trabajos de carga sobre plataformas de carga, tolvas de chimeneas y de buzones o bien cajones para cargar puede aumentar notablemente el rendimiento específico de la extracción como también rebajar los costos. Además, la centralización de la extracción por el pozo puede simplificar la mecanización con máquinas de extracción.

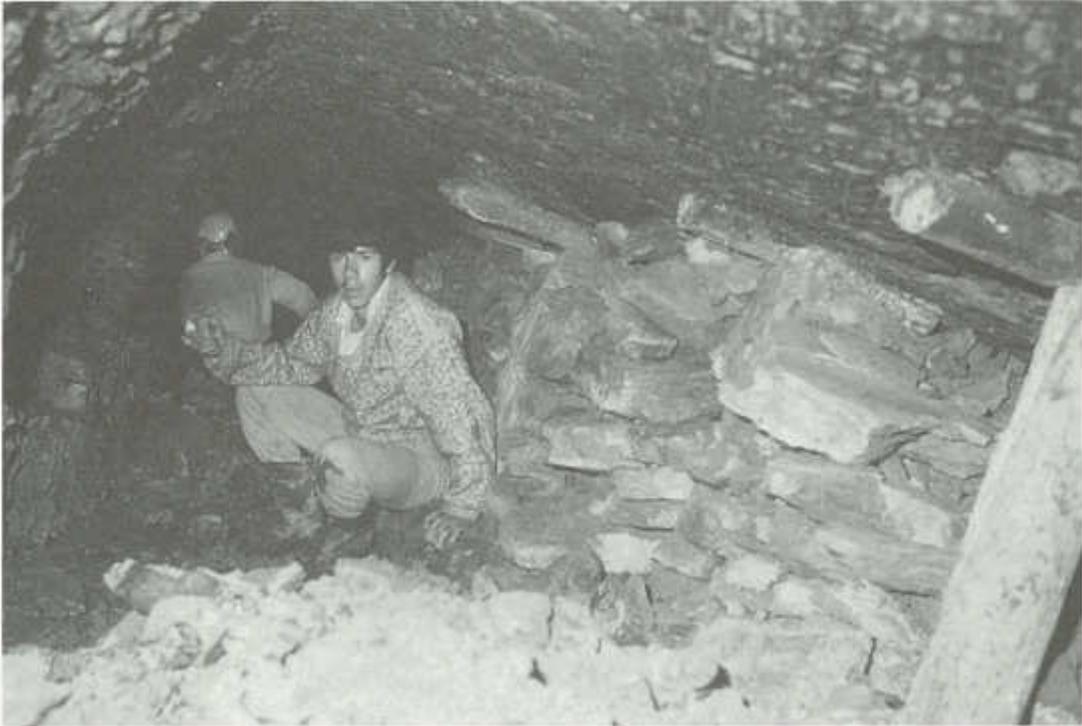


Carga manual de un vagón sobre rieles. La galería está fortificada con entibación transversal de madera con dos estemples. Minería del carbón en la región Checua, Cundinamarca, Colombia.

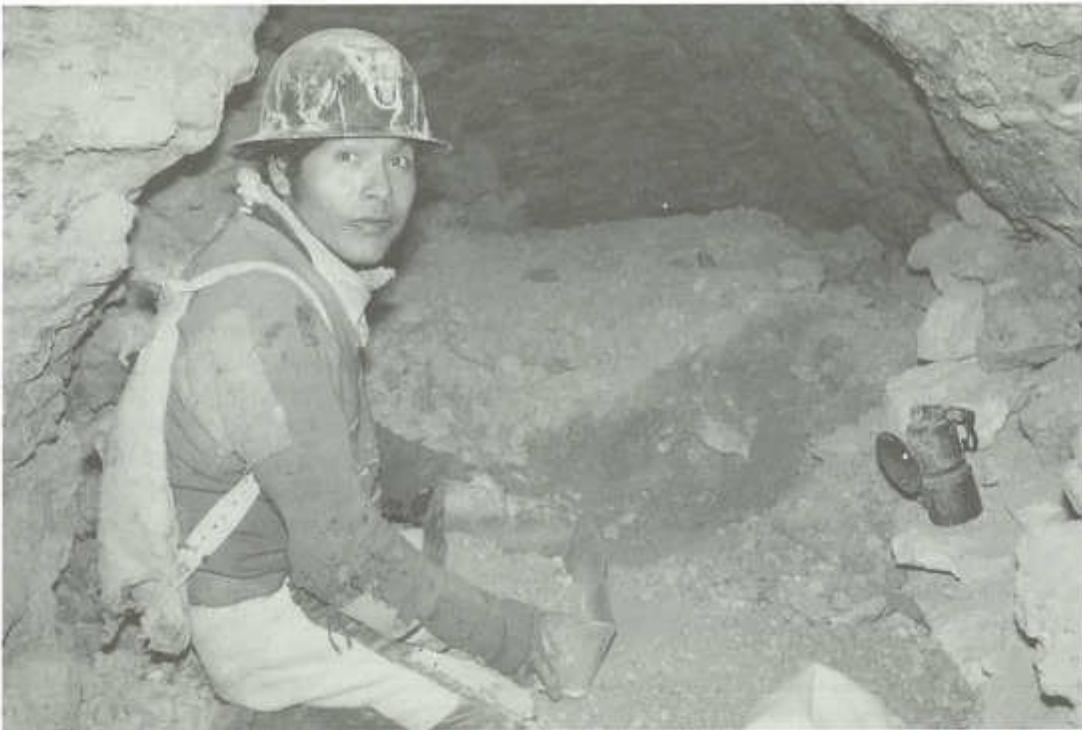
### B.3.2 RELLENO CON CAJA ESCOGIDA

Otro método para rebajar los costos de extracción es la selección de la carga ya en interior mina y el relleno parcial de los espacios vacíos con caja escogida. En los yacimientos en los cuales se debe rajar parcialmente el techo y el piso sin mineralización, la selección manual puede reducir notablemente la cantidad de carga a extraer. Es cierto que la selección manual en interior mina se puede observar frecuentemente en la Pequeña Minería en los países en desarrollo (véase foto pág. 38 abajo), sin embargo, la caja no se utiliza con fines de relleno sino se la extrae como estéril a

la superficie, donde es echada al desmonte. Un cambio en esta práctica podría rebajar notoriamente los costos de extracción, así como aumentar la seguridad de los espacios vacíos resultantes de la explotación y especialmente en las operaciones de la minería manual, alivianar la extracción tanto en las galerías como en los pozos. Además, el relleno planificado también posibilita un mejoramiento de la ventilación, por ejemplo por medio del relleno de zonas explotadas para evitar corto circuitos en la corriente de la ventilación.



Recorte en estratificación semiempinada en explotación por cámaras y pilares. En el avance y en la explotación salen grandes cantidades de estéril, el cual se coloca como relleno entre los estampes de madera. Minería del carbón en la región Checua, Cundinamarca, Colombia.



Selección manual de minerales de estaño en interior mina, Mina Sta. Elena, aprox. a 4.700 msnm. Cerro Rico de Potosí, Bolivia.

### B.3.3 DISTRIBUCION DEL TRABAJO EN INTERIOR MINA

Una deficiencia organizativa importante en la Pequeña Minería se debe frecuentemente a la carencia de distribución del trabajo. Sobre todo la forma de trabajo en cuadrilla de las cooperativas crea siempre problemas debido a la paralelidad de los trabajos de los pequeños grupos. La forma continua de trabajo se ve impedida y las obligaciones económicas y organizativas limitan el proceso de trabajo a pocas tareas principales. Las labores de arranque, transporte y beneficio se realizan una tras otra y los demás trabajos adicionales se postergan. De esta manera se descuidan las labores de exploración (incluso cuando ésta es posible sobre la estructura mineralizada), fortificación y mantenimiento de las galerías (véase foto pág. 35, arriba).

Como consecuencia resulta:

- Insuficiente seguridad en las operaciones y
- Situación de las reservas constantemente en deterioro, la cual a su vez reduce la capacidad crediticia de la mina y dificulta los trabajos potenciales del Fondo de Exploración (p.ej. del Fondo Nacional de Exploración Minera, Bolivia).

Esta problemática puede ser contrarrestada mediante una consecuente distribución del trabajo. Por lo general, esto obliga a erradicar la desconfianza existente. Hasta ahora, en este sentido, han fracasado muchos proyectos de introducción de la forma de trabajo colectivo (mancomunado) a pesar de que una distribución de trabajo rotativo tendría tanto componentes educativos como también estaría más de acuerdo al concepto cooperativo.

Además, un sistema de distribución del trabajo también facilitaría las tareas principales de planificación y coordinación, por ejemplo, la ventilación, el abastecimiento de energía, la planificación del arranque y la seguridad de la mina.

Junto a la introducción de una distribución del trabajo se tiene que negociar necesariamente una remuneración justa de acuerdo al rendimiento (destajo).

### B.3.4 DISMINUCION DE COSTOS EN LOS CAMPOS DE PERFORACION, VOLADURA, TRANSPORTE Y TRITURACION

Según la geología del yacimiento, la mecanización y el equipo existentes, tanto en interior mina como en superficie, se dan posibilidades para rebajar los costos en la perforación, voladura, transporte y trituración. Entre estos tipos de costos existen las siguientes interrelaciones:

menor cantidad de perforaciones por magnitud de avance (menor gasto en la perforación) conduce a mayor tamaño de carga arrancada (mayor gasto en trituración),  
explosivos con mayor fuerza rompedora (mayores costos en explosivos) conduce a menor cantidad de perforaciones o a perforaciones de menor diámetro (menor gasto en perforación),  
detonadores eléctricos de milisegundos (mayores costos de detonación) conducen a cargas de granos mas pequeños (menores gastos en la carga y en la trituración).

La carga de grano grueso en yacimientos con vetas formales sin zonas de impregnación puede facilitar la selección manual y la preselección de estéril, o bien facilitar el relleno. Las posibilidades de optimización se dan según las respectivas condiciones geológicas de la mineralización y el equipo técnico de la mina.

### B.3.5 ELECCION DEL METODO ADECUADO DE EXPLOTACION

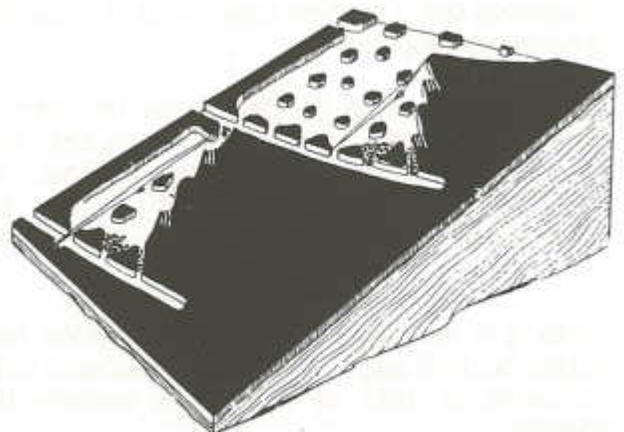
En interior mina la deficiencia principal consiste en la carencia de planificación del arranque. Por lo general y sobre todo en las cooperativas se emplea el método pirquín o el de explotación con macizos de protección sin planificación alguna. Esto conduce al bajo rendimiento, deficiencia en la seguridad y daños en la economía nacional debido a la destrucción parcial del yacimiento. Los diferentes métodos de explotación se pueden sistematizar según la forma de explotación y el tratamiento del techo:

Tabla: División básica de los sistemas de explotación

Forma de explotación	Tratamiento del techo		
	Explot. con macizos de protección	Explot. con relleno	Explot. por hundimiento
Explot. en frente corrido (Espacio de arranque móvil de 50 m o más)		Explot. en grandes tajos Explot. por frente oblicuo Explot. por testeros Explot. por bancos	Explot. en grandes tajos
Explot. en tramos (ancho de tramos de 2 - 4 m, procedimiento en forma de galerías)		Explot. por fajas aisladas Explot. por fajas aisladas ascendentes Explot. a través	Explot. a través
Explot. por pilares (galerías con pilares abandonados, los que son arrancados en retirada)		Explot. por pilares Explot. a través	Explot. por pilares Explot. por pisos de hundimiento Explot. a través
Explot. por cámaras (espacios grandes crecientes expandidos hasta los límites de arranque)	Explot. por cámaras Explot. por huecos o por macizos largos Explot. por vetas entrelazadas Explot. por pozos tolva Explot. por grandes cámaras irregulares		Explot. por cámaras Explot. por cámaras y pilares Explot. por huecos y pilares Explot. por grandes cámaras irregulares
Explot. por bloques (espacio de arranque no abierto ni visible)		Explot. por bloques con entibación de anillos de fortificación	Explot. por bloques

A continuación se exponen los métodos de explotación según Stoces, los cuales contribuyen a rebajar los costos, a aumentar los rendimientos, a un mejor aprovechamiento de los recursos (recuperación) y a una disminución de los gastos en la fortificación (aumentando la seguridad de la mina) considerando las condiciones especiales de la Pequeña Minería andina.

#### *Explotación con macizos de protección*



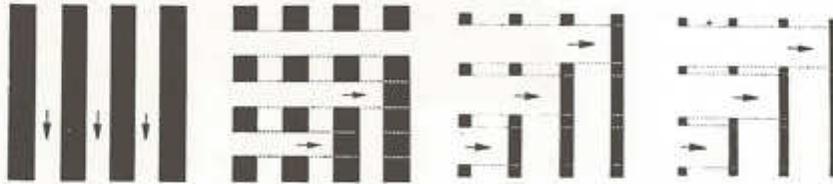
Dib: Preparación para explotación con macizos de protección en yacimiento inclinado. Fuente: Stoces

La explotación por macizos se caracteriza por la forma y disposición irregular de los espacios abiertos por la explotación según las condiciones del yacimiento, entre los cuales se dejan macizos

de roca mineral de diversa configuración para sostener el techo.

Es aplicable a yacimientos de mineral y roca caja consistentes.

#### Explotación por huecos o macizos largos



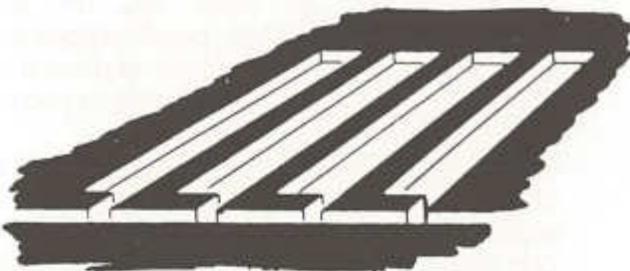
Dib.: Explotación por huecos o por macizos largos. Fuente: Stoces

Esta forma de explotación se caracteriza por la apertura de huecos. Estos son recortes alargados de dimensiones análogas a las de las galerías. El ancho de los huecos está determinado por la firmeza del terreno, pudiendo alcanzar hasta 10 m y la altura de los mismos hasta unos 3 m.

ellos se dejan los macizos que soportan el techo. En la mayoría de los casos el techo y muro del yacimiento forman el testero y el piso de los huecos. No obstante, aquellos también pueden estar constituidos por partes del yacimiento.

Los distintos huecos son paralelos entre sí o se cruzan perpendicular o diagonalmente. Entre

Es aplicable a yacimientos de escaso buzamiento y mineral y roca caja consistentes.



Dib.: Explot. por cámaras. fin de que ésta quede protegida. Fuente: Stoces

Esta forma de explotación se caracteriza por la apertura de "cámaras". Las cámaras son espacios de forma regular, en su mayoría rectangulares, que en general deben ser mayores que los "huecos" y de dimensiones determinadas de antemano.

Explot. por cámaras en el yacimiento se abren unas cámaras estrechas y alargadas, abandonando los macizos de mineral útil que quedan entre ellas. Normalmente el acceso al yacimiento se realiza mediante una galería principal, de la que bifurcan otras galerías de explotación. Estas se ensanchan hasta convertirlas en cámaras. El ensanche no se realiza a partir de la galería principal sino algo más lejos con el.

Entre las cámaras pueden dejarse - según el método de explotación - macizos de terreno, pilares o patas.

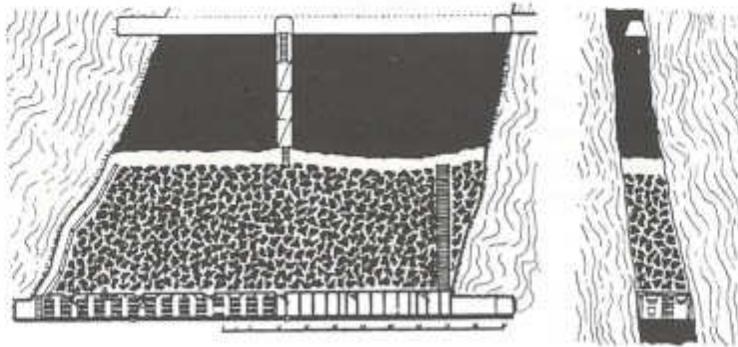
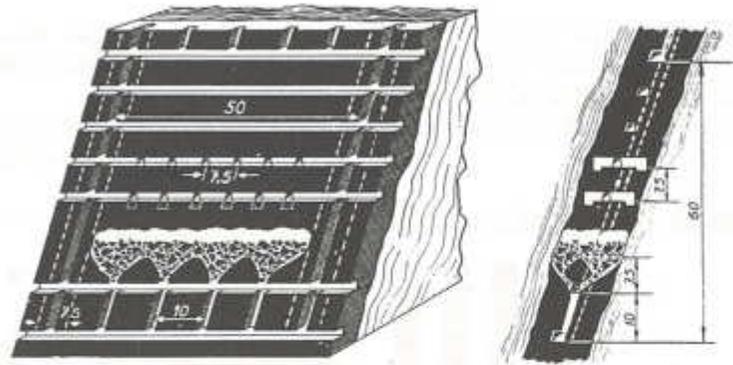
fuerte o la potencia del yacimiento mayor, la cámara puede estar rodeada de mineral por todas partes. La apertura de las cámaras puede realizarse de maneras muy diversas, por ejemplo con arranque total o parcial por testeros o en bancos con o sin relleno, o por derrumbe del techo.

Cuando el buzamiento es escaso, el techo y muro u otras partes ya explotadas del yacimiento constituyen en la mayoría de los casos el testero y piso de la cámara. Cuando el buzamiento es más

Es aplicable a yacimientos potentes y macizos de mineral y roca caja consistentes, de buzamiento cualquiera.

### Explotación por almacenes

Las voladuras se realizan desde pequeños nichos profundizados en el techo de la explotación propiamente dicha a partir de galerías superiores.



Dib.: Explotación por almacenes. Fuente: Stoces

En esta clase de explotación se almacena el mineral extraído durante la operación de arranque de cada cámara en el espacio abierto por el mismo arranque. Las ventajas de la explotación por almacenes son: el espacio arrancado no necesita fortificación y la recuperación es bastante alta. La explotación por almacenes se puede emplear bastante bien en la Pequeña Minería andina si las condiciones locales permiten el avance de las operaciones según las estaciones. Por ejemplo en muchas partes, debido a la escasez de agua en tiempo seco, el beneficio del mineral bruto solamente se puede realizar en los meses de lluvia.

### Explotación por cámaras irregulares

Este tipo de explotación se distingue por la irregularidad en la distribución de las cámaras.

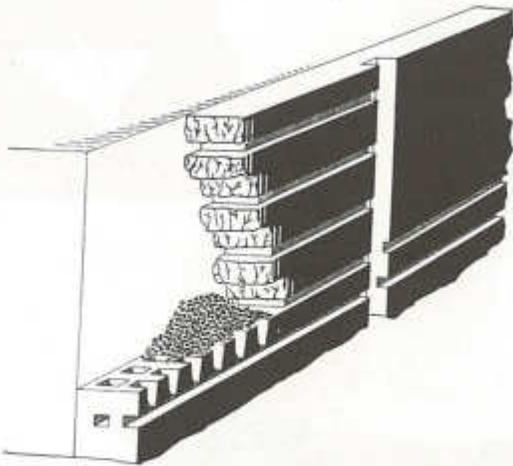
Se caracteriza por la ejecución de "ensanches", es decir espacios de magnitud variable, cuyas dimensiones dependen de la estructura y firmeza del yacimiento y de la roca caja y por consiguiente no se pueden determinar con exactitud antes de comenzar la explotación al contrario de lo que ocurre en la explotación por cámaras. Una de estas cámaras debe estar dispuesta de tal forma que el mineral arrancado pueda salir de ella por gravedad. Sólo en casos excepcionales, muy raros,

(como cuando se trata de un terreno extraordinariamente firme), puede instalarse una cuchara de arrastre para ayudar al mineral en su deslizamiento cuando el buzamiento es pequeño.

El arranque no se realiza desde el interior de la cámara (al contrario de lo que ocurre en la explotación por cámaras propiamente dicha), en la que no debe penetrar el personal por razones de seguridad, sino desde las galerías horizontales trazadas en los márgenes de la misma o por medio de barrenos de gran longitud.

La explotación por cámaras irregulares se puede realizar como explotación por hundimiento o con relleno. Es aplicable a yacimientos con buzamiento muy fuerte de potencia escasa a grande y cuando el buzamiento es escaso, con una potencia tal que la altura media de las cámaras no exceda de unos 15 m.

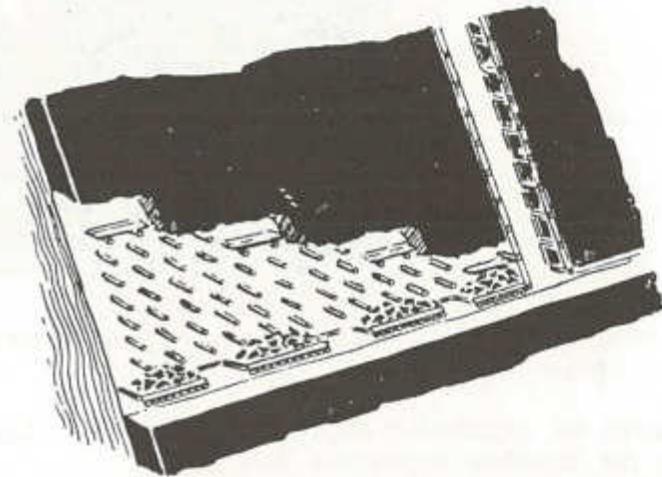
Es necesaria una suficiente consistencia del terreno debido a que las cámaras sólo pueden ser trabajadas cuando están abiertas. Debido al tamaño específico de los espacios arrancados y por el alto despliegue en mecanización resultante, esta clase de explotación por cámaras irregulares no se puede calificar como adecuada para la Pequeña Minería.



Dib.: Explotación por niveles. Fuente: Stoces

Explotación por niveles (con explotación por cámaras irregulares y por cámaras). Cuando los minerales arrancados desde las galerías de los niveles son firmes puede comenzarse con la explotación de los niveles inferiores.

### *Stossbau ascendente*



Dib.: Stossbau ascendente en un sólo flanco, fortificado con puntales en testeros superpuestos (escalonados). Fuente: Stoces

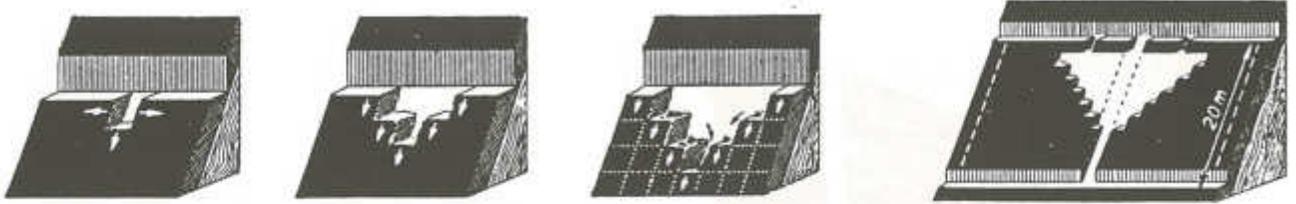
Para la definición de este tipo de explotación no es decisiva la forma del espacio abierto por la explotación sino el modo de efectuar el arranque. El Stossbau ascendente (que juntamente con la explotación por bancos constituyen los dos tipos de explotación más antiguos) se caracteriza por emplear la faja ya arrancada como tajo para atacar

el testero. Como piso se utiliza el relleno introducido o, en casos más raros, el en castillado que desempeña el papel de relleno del vacío dejado por la explotación.

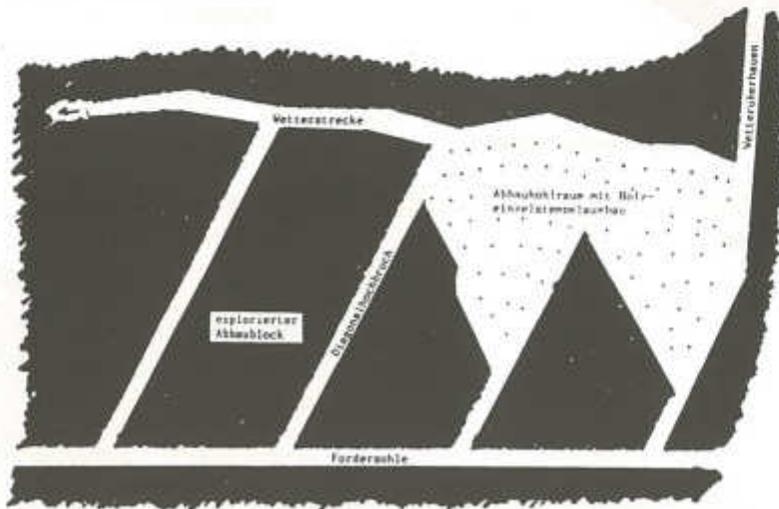
### *Explotación por bancos*



La explotación por bancos se aplica ocasionalmente para la explotación de porciones menores del yacimiento situadas debajo del nivel de extracción donde sería antieconómico trazar un nivel más profundo.



Dib.: Explotación por bancos. Fuente: Stoces



Dib.: Explotación por bancos o explotación por pozostolva subterráneos en estratificación empinada, en la minería del carbón de la región Checa. Cundinamarca, Colombia.

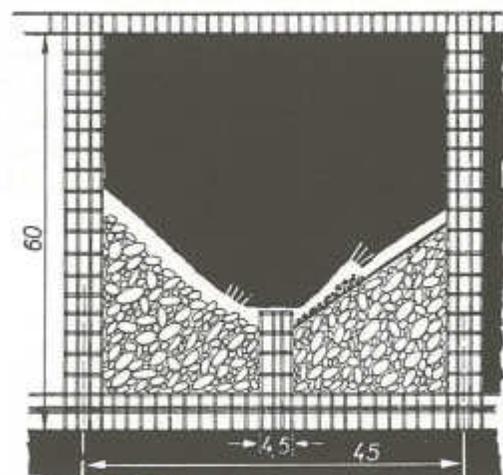
Esta forma de explotación es exactamente la inversa del Stossbau ascendente (o labor en testers). También en este caso el tipo de arranque, y no la forma del vacío dejado por la explotación, es la característica esencial. La explotación escalonada se conduce de tal forma que cada banco constituye el piso del anteriormente atacado.

Cuando las potencias son mayores se emplea también como explotación sin relleno en algunos yacimientos en forma de "explotación subterránea por pozostolva". Es aplicable en potencias escasas y buzamientos fuertes. Cuando se utiliza la variante de "pozostolva subterráneos" se puede emplear también en potencias grandes.

La explotación por tajos en diagonal se diferencia de la explotación en grandes tajos únicamente por la disposición oblicua del frente, la cual resulta obligada en la aplicación a yacimientos de estratificación inclinada; por consiguiente es una variante de la explotación en grandes tajos.

Se aplica solamente en yacimientos de escasa potencia en forma de capas inclinadas.

#### Explotación por tajos en diagonal



Dib.: Ejemplo de una explotación por tajos en diagonal en dos flancos. Fuente: Stoces.

## Explotación por pisos de hundimiento



Dib.: Explotación por pisos de hundimiento. Fuente Stoces

Esta forma se caracteriza por una explotación del yacimiento mediante niveles o entresijos superpuestos que tienen una altura vertical igual a dos o tres veces la altura de las galerías. La explotación se realiza, como indica ya su nombre, como explotación por hundimiento por hundimiento y únicamente en sentido descendente de forma que los minados antiguos descienden automáticamente de nivel en nivel.

El mineral se arranca en cada piso mediante una especie de "explotación por cámaras pequeñas" en dos cortes de la siguiente manera:

En avance, abriendo algunos huecos adyacentes de altura y ancho análogos a los de las galerías y a continuación en retirada, arrancando los minerales que quedan por encima del piso y debilitando simultáneamente lo máximo posible los pilares dejados entre las galerías. La explotación puede realizarse un piso tras otro o cuando existe

potencia suficiente, simultáneamente en varios niveles escalonados.

Esta forma de explotación se emplea casi siempre en yacimientos muy inclinados de potencia grande o mediana o, en casos poco frecuentes, en yacimientos potentes echados.

A modo de comparación se exponen los diferentes sistemas de explotación en relación a sus parámetros técnicos y económicos:

En todo caso la aplicación de un método de explotación planificado conduce a una disminución de los costos y a un mejoramiento de la seguridad de la mina en comparación con el trabajo actual de explotación del mineral visible. La elección de uno de los métodos de explotación indicados depende exclusivamente de las características del yacimiento.

Tabla: Comparación de los sistemas de explotación en relación a parámetros importantes de explotación

<b>Costos de explotación:</b>		<b>Rendimiento por hombre:</b>	
(bajos)	Explot. por cámaras Explot. por macizos Explot. por huecos o por macizos largos Explot. por almacenes Explot. por stossbau ascendentes Explot. por bancos Explot. por pisos de hundimiento Explot. por tajos en diagonal	(alto)	Explot. por cámaras Explot. por macizos Explot. por huecos o por macizos largos Explot. por almacenes Explot. por stossbau ascendentes Explot. por pisos de hundimiento Explot. por tajos en diagonal Explot. por bancos
(altos)		(bajo)	
<b>Recuperación:</b>		<b>Preparación:</b>	
(alta)	Explot. por stossbau ascendente Explot. por almacenes Explot. por pisos de hundimiento Explot. por macizos Explot. por huecos o por macizos largos Explot. por cámaras	(poca)	Explot. por cámaras Explot. por macizos Explot. por huecos o por macizos largos Explot. por bancos Explot. por stossbau ascendente Explot. por almacenes Explot. por pisos de hundimiento
(baja)		(alta)	
<b>Consumo de madera:</b>		<b>Contaminación del mineral:</b>	
(bajo)	Explot. por cámaras Explot. por huecos o por macizos largos Explot. por macizos Explot. por almacenes Explot. por bancos Explot. por stossbau ascendente Explot. por tajos en diagonal	(poca)	Explot. por cámaras Explot. por huecos o por macizos largos Explot. por macizos Explot. por almacenes Explot. por stossbau ascendente Explot. por bancos Explot. por pisos de hundimiento
(alto)		(alta)	

### B.3.6 APERTURA DE OTROS SECTORES DEL YACIMIENTO

Un aporte principal al aumento de las reservas económicamente explotables consiste en ver la posibilidad de explotar mantos paralelos u otras partes del yacimiento. En la Pequeña Minería en los países en desarrollo la exploración de zonas de explotación sólo se realiza en mantos potentes o vetas potentes. Solamente en pocas minas la estructura es de tal forma que se pueda explotar mantos o vetas paralelas. Esto sería favorable desde el punto de vista geológico, especialmente para las minas con estratificaciones empinadas o semiempinadas, ya que los paquetes de roca caja intermedios, también empinados o semiempinados, pueden ser fácilmente atravesados por medio de recortes. Además, los recortes en la roca caja son fáciles de abrir paralelamente a las labores en operación.

Desde el punto de vista minero la explotación de mantos paralelos tiene las siguientes ventajas:

- Simplificación de la ventilación
- Centralización del transporte
- Reducción de los costos de exploración y explotación
- Evitar problemas de desagüe

Mediante la explotación de mantos paralelos el desarrollo de la mina en profundidad, acompañado de grandes problemas técnicos mineros- (por ejemplo, el traspaso de niveles con agua, mayores costos de explotación por medio de mayores presiones de roca, mayores gastos de transporte debido a caminos de transporte más largos), se puede desplazar temporalmente.

Durante el desarrollo de la mina, sobre todo en estratificaciones horizontales o semiinclinadas, se debe preferir en todo caso, el arranque de mantos

del techo. Recién después de la explotación y derrumbe de estas zonas se debe proseguir con la explotación de los mantos al piso. Solamente así se evita que las partes del yacimiento explotables de arriba (del techo) puedan llegar a ser inexplotables por un rompimiento debido al arranque de los mantos de abajo (del piso). También el fracturamiento de espacios huecos arrancados puede extenderse a lo largo de varios cientos de metros de paquetes macizos de peña. Partes completas del techo del yacimiento se fracturan y en todo caso se vuelven inapropiadas para la explotación minera. En este sentido, la explotación sólo puede ocasionar eventualmente (por ejemplo, en el manto más potente) daños macroeconómicos irreversibles.

Las minas deberían, por una parte mediante el asesoramiento, ser animadas a orientar la estructura de interior mina para poder explotar mantos paralelos aún cuando ésto conlleve desventajas económicas temporales, por ejemplo la postergación de campos explorados. Por otro lado, se debería analizar si un pequeño fondo rotativo de exploración, con prefinanciamiento para el avance de las galerías en peña, fuera capaz de apoyar adecuadamente a las minas en la exploración.

#### B.4. ASPECTOS DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LA SALUD

Debido a las actividades mineras, el medio ambiente se ve afectado tanto en interior mina como en superficie por los daños ocasionados al aire y al agua.

a) **Contaminación del aire:** La contaminación del aire de la mina en la Pequeña Minería metálica no ferrosa en países en desarrollo generalmente no es causada por motivos naturales. Gases de Radón de la roca caja o radioactividad natural como en las minas de Uranio, atmósfera explosiva por emanaciones de metano como en las minas de carbón o exhalaciones de  $\text{CO}_2$  como en las minas de sal son generalmente de menor importancia. Los principales daños son causados por el hombre y se deben a gases que desprenden los aparatos y vehículos a diesel, aerosoles del aceite, lubricación directa del aire comprimido y a los gases de las explosiones. En la reacción durante las explosiones se crean, entre otros, gases nitrosos de alta toxicidad. Para solucionar estos problemas se utiliza la

ventilación artificial, la cual se practica a menudo deficientemente en la Pequeña Minería en los países en desarrollo. Como valores de orientación deberían tomarse como referencia los valores válidos en Europa para la cantidad mínima de aire:

$6 \text{ m}^3 / \text{hombre} \times \text{min. más}$   
 $3 - 6 \text{ m}^3 / \text{PS} \times \text{min.}$  para aparatos a diesel  
 en interior mina.

Además, el aire es dañado por polvos. Los polvos con contenidos de cuarzo de la roca caja que ingresan a los pulmones son responsables de las enfermedades silicáticas del pulmón. Estos polvos se producen durante la perforación y la explosión. Los principios para resolver estos problemas son: llevar máscaras para respirar (como protección contra el polvo), la perforación con agua y el rociado con agua de las cargas arrancadas con explosivos. En general los peligros aumentan con la creciente mecanización.

b) **Contaminación del agua:** Al contrario de la contaminación del aire en la mina, la contaminación del agua tiene efectos directos en el ecosistema en la superficie. Casi sin excepción los yacimientos filonianos de la minería metálica no ferrosa en pequeña escala contienen más o menos altas porciones de minerales o acompañantes sulfurados. En zonas permeables de la veta se forman, en parte por medio de procesos de oxidación estimulados catalíticamente por microbios, combinaciones solubles de sulfatos, las cuales con el agua forman las aguas de mina con ácido sulfúrico. El pH de esta agua ácida puede alcanzar valores hasta por debajo de pH 2. Además de la acidez y del alto contenido de sulfatos, estas aguas son a menudo soluciones con altos contenidos de metales pesados parcialmente tóxicos. Además, estas aguas también están contaminadas con aceites. Los orígenes de esta contaminación son los aparatos mecánicos a diesel y la lubricación de las herramientas neumáticas. Un litro de aceite envenena un millón de litros de agua. Es peligroso cuando estas aguas alcanzan la superficie o llegan a estar en contacto con el agua subterránea. No se deben subestimar las consecuencias graves para el ecosistema lábil, por ejemplo en las alturas semiáridas de Los Andes. Las aguas de superficie no solamente sirven como agua para el proceso

en la minería y en el beneficio sino también como agua potable y para el riego.

No se pueden hacer afirmaciones cuantitativas debido a que en los países en desarrollo sólo se conocen las mediciones sobre las contaminaciones ambientales en zonas de aglomeración y se desconocen mediciones de otras zonas. En este sentido existe mucho por hacer. Además se deben lamentar deficiencias generales en el campo de la seguridad del trabajo:

- La protección contra el ruido durante la perforación y otros trabajos de explotación y transporte es poco usual
- Zapatos de seguridad y cascos (véase foto pag. 38) no son de uso normal
- No existen instalaciones de seguridad durante el ingreso
- Deficiente seguridad en la voladura (mechas muy cortas, etc.)
- Iluminación deficiente (por ejemplo: velas).

Las causas de esta situación precaria no se deben buscar en la negligencia ni en la mentalidad de los mineros sino que son el resultado de presiones económicas.

Un incremento del rendimiento de las actividades mineras y un mejoramiento del beneficio deben establecer como prioridad la seguridad y la salud para los mineros y solventarla.

- c) **Destrucción de árboles y bosques:** la extracción de madera (callapos) para fines de fortificación de la mina es uno de los motivos de destrucción de grandes bosques, no solamente en América Latina. Esto se puede contrarrestar a través de una oferta de elementos de fortificación a bajos costos y reutilizables (estamples individuales, por ejemplo de líneas de ferrocarril, véase parte técnica).

## Capítulo técnico 2: Técnicas de seguridad

### 2.1 EQUIPO DE SEGURIDAD

#### Minería en general

#### Minería subterránea Técnica de seguridad

La seguridad de la mina y la seguridad en el trabajo son aspectos muy sensibles, especialmente en la Pequeña Minería en países en desarrollo, en los cuales debido a motivos económicos o por negligencia a menudo se deben lamentar grandes deficiencias. En los próximos párrafos se exponen más a fondo y por separado los componentes del equipo de seguridad para la Pequeña Minería respecto a los objetos personales y al equipo general para las operaciones.

El equipo de seguridad personal debe estar compuesto por los siguientes elementos:

**Casco** como protección importante contra lesiones en la cabeza ocasionadas tanto por rocas que caen, como también por obstáculos firmes como el techo, partes de la fortificación, etc. Los cascos mineros son de termoplástico, por ejemplo de polietileno o de resina sintética con fibra reforzada, que en su mayoría se fabrican en países en desarrollo. En su interior tienen adherido un soporte ajustable. Entre el casco y el soporte generalmente existe un espacio intermedio de algunos centímetros, el que se debe utilizar para guardar un paquetito de vendas. En la parte externa del casco están los dispositivos para enganchar las lámparas de cabeza o de frente. El costo de un casco es de alrededor de 10 - 20 DM/unidad.

**Zapatos de seguridad** con punta y suela reforzadas, como protección de los dedos contra contusiones y de la planta del pie ante pisadas de objetos punzantes. Para labores en lugares de trabajo secos se deben elegir zapatos de cuero y para lugares húmedos botas de goma. Todo esto se puede comprar de fabricación local en la mayoría de los países mineros. Cuestan entre 20 - 40 DM/par.

**Orejas** contra niveles de ruido dañinos a la salud, como por ejemplo los de la perforación neumática. Se pueden usar protectores adheridos a un arco elástico que se pone en la cabeza, los cuales cubren completamente las orejas o cilindros de esponja simples y económicos que se introducen en el conducto auditivo.

Según el peligro potencial del lugar de trabajo son necesarios los siguientes implementos:

**Protectores de la tibia** contra lesiones en la tibia. Estos consisten en una pequeña capa de esponja con dos tiras que se coloca encima de la ropa sobre la tibia.

**Gautes** como protección ante heridas en las manos y en los dedos.

**Lentes de protección** cuando en el trabajo existe el peligro que salten astillas de roca u otras partículas (por ejemplo: polvo abrasivo).

**Máscara para respirar** con filtros cambiables, la cual se coloca delante de la boca y de la nariz. Los polvos de roca suspendidos en el aire son especialmente peligrosos, al ser aspirados cortan los alvéolos del pulmón. Esta enfermedad conocida como silicosis o "mal de mina" es la enfermedad profesional más frecuente en la minería. La perforación en seco, las explosiones y los derrumbes en la explotación por hundimiento son procesos que levantan mucho polvo de roca y hacen necesario que además de usar la máscara como protección personal se tenga que asentar el polvo por medio del riego con agua. En lugares menos peligrosos, colocarse un trapo suave delante de la nariz y de la boca sirve como una forma de protección provisional.

**Rodilleras** como protección y ayuda para moverse dentro de la mina, solamente en aquellas minas en las que se debe transitar largas galerías de poca altura. Las rodilleras están hechas de goma (en parte, de pedazos de llantas de automóvil) y se las ajusta mediante correas de goma.

**Filtro-salvavidas** en algunas ramas mineras, sobre todo en el carbón y en ciertos yacimientos de sal, la salida de gases venenosos y/o explosivos de las rocas es peligrosa para el minero. En yacimientos de sal, especialmente cuando son tectónicos o volcánicos, pueden ocurrir evasiones repentinas de CO<sub>2</sub>, el cual se encuentra bajo presión en el cerro. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas venenoso, inoloro y produce paro respiratorio. Es más pesado que el aire y se almacena en lugares profundos. Debido a que el peligro de fugas del gas es mayor cuando las rocas se aflojan por la voladura, en las minas subterráneas de sal es adecuado realizar la voladura durante el cambio de turno. Como protección contra los gases cada minero lleva consigo un filtro salvavidas, el cual, en caso de escapes de gas, le facilita la huida de la atmósfera gaseosa hacia la superficie. En la minería del carbón, debido a posibles incendios en interior mina, también existe el peligro de altos contenidos de CO y CO<sub>2</sub> en el aire, el cual es enfrentado en la huida mediante la utilización del filtro salvavidas. El óxido de carbono y el gas de mina, metano, que escapan del frente de carbón o bien de la roca caja, son explosivos como atmósfera explosiva cuando se encuentran en ciertas concentraciones. Para evitar las explosiones de gas de mina son necesarios: equipos eléctricos protegidos contra explosiones de la atmósfera, explosivos de seguridad, mediciones permanentes de contenidos de gas en la atmósfera y una fuerte ventilación de las zonas minadas. También puede ser explosivo el polvo de carbón en forma de torbellino en el aire.

## 2.1 EQUIPO DE SEGURIDAD

### Minería en general

### Minería subterránea Técnica de seguridad

**Aparatos de medición de gas** para las mediciones de las concentraciones de gas de mina. En el comercio se encuentran tanto aparatos pequeños eléctricos recargables para mediciones individuales y constantes como aparatos con tubitos de medición y bomba de fuelle para mediciones individuales. En el primer caso el precio del aparato es mayor, mientras que en el segundo el costo de los tubitos lleva comparativamente a un alto costo de operación. Para la medición indirecta del metano también se pueden utilizar lámparas de seguridad a bencina (ver 6.1).

El equipo de seguridad para las operaciones mineras debería constar de lo siguiente:

**Fichas de ingreso** son fichas de metal o de lámina numeradas que cuelgan de una pizarra doble en las cercanías del pozo o de la bocamina. Uno de los lados de la pizarra está reservado para las fichas de las personas que se encuentran en interior mina, el otro lado para los mineros que están en exterior mina. Cada minero tiene su propio número o una ficha marcada con su nombre. Al ingresar a interior mina la cambia de la pizarra exterior mina a la pizarra interior mina; a la salida hace lo contrario. De esta manera se puede saber quién se encuentra en interior mina en caso de un accidente, por ejemplo durante explosiones.

Un elemento muy importante para el equipo de seguridad en interior mina son las **barras para hacer caer rocas sueltas (tojeadoras)**. Estas sirven para hacer caer pedazos de rocas sueltas sobre todo del techo y del frente que se aflojan por la explosión o la reducción de la presión de roca. Al igual que las pata de cabra, estas tojeadoras se emplean para hacer palanca con su punta o filo en la rajadura entre la piedra fija y la parte suelta hasta que la roca calga. Para este fin son útiles los barrenos viejos de perforación con una punta afilada en lugares de arranque y galerías estrechas y barras de tubos de aluminio con puntas en forma de cincel en galerías más amplias. En principio, después de cada voladura, antes de realizar otro trabajo se debe limpiar. De esta manera el montón de carga facilita el acceso al techo. Estos simples trabajos de previsión ayudan a aumentar claramente la seguridad en el trabajo y a disminuir los riesgos de accidentes.

Los **botiquines de primeros auxilios** con una selección de medicamentos y parches, vendas y tabillitas para el tratamiento de lesiones.

**Camilla para el salvamento** de los mineros accidentados.

**Aparatos de protección contra el gas** para los bomberos, como un medio de ayuda para eventuales acciones de emergencia. Estos aparatos solamente tienen sentido en la Pequeña Minería en países en desarrollo cuando los mineros tienen formación en salvamento minero. Las empresas frecuentemente no toman en cuenta esta clase de tareas.



Minero durante la actividad de liberar el techo de rocas sueltas con la barra para este fin (tojeadora). Mina de plomo-plata, San Lorenzo, Potosí, Bolivia.

## Capítulo técnico 3: Ventilación

### 3.1 CANAL DE VENTILACION EMBOVEDADO

Trabajos subterráneos en roca consistente

Minería subterránea  
Ventilación

Español: canal de ventilación embovedado, huayrachina, huayracañon  
Inglés: spout  
Aleman: Streckenscheider, gemauerte Lutte

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: canal de aire con sección de aprox. 30 x 70 cm, ancho, alto  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Tipo de energía motriz: diferencia de presión de aire y de temperatura  
Posibilidades alternativas: ventilación soplante y absorbente  
Forma de trabajo: continuo  
Materiales: material de construcción  
Cuáles: estéril grueso, arcilla

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: solamente costos de personal  
Costos de producción: ninguno  
Costos derivados: ninguno; en ventilación mecanizada: ventilador

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: gastos de construcción      bajos |-----|■-----| altos

Gastos de mantenimiento:      bajos |■-----|-----| altos

Exigencias al personal: ninguna

Exigencias al lugar de trabajo: ninguna

Exigencias al mineral: ninguna

Exigencias a la roca caja: Deben producirse grandes pedazos de roca en la voladura con los cuales se pueda embovedar la huayrachina o sea eventualmente se debe modificar el trazo de perforación en el avance de la galería de tal manera que se produzcan grandes pedazos de roca en la voladura.

Divulgación regional: Antes muy divulgado en Latinoamérica

Contaminación ambiental:      baja |■-----|-----| muy alta

Facilidad para la construcción propia:      muy buena |■-----|-----| mala

Bajo qué condiciones: embovedamiento de la huayrachina

Tiempo de vida:      muy largo |■-----|-----| muy corto

Literatura, Fuente: M.Priester, Schuroth, Ponson, Winkelmann

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La huayrachina es un canal en forma de tubo embovedado a un lado del piso de la galería mediante el cual se pueden ventilar lugares de trabajo que tienen sólo una conexión hacia la superficie. En la superficie la huayrachina termina en una chimenea o en un pequeño pique de ventilación para así alcanzar la diferencia de presión necesaria.

#### **FORMAS DE USO:**

Para la ventilación de trabajos de avance en galería.  
Para la ventilación de labores mineras individuales en minas con ventilación natural.

### 3.1 CANAL DE VENTILACION EMBOVEDADO

Trabajos subterráneos en roca consistente

Minería subterránea  
Ventilación

#### **OBSERVACIONES:**

La ventilación natural es una corriente de aire natural que intercambia cantidades de aire en la mina sin necesidad de la mano del hombre. La ventilación natural ocurre en todo lugar donde la mina tenga por lo menos dos orificios hacia la superficie que se encuentren a diferente altura topográfica. En casos especiales también ocurre un cambio de aire natural temporal en minas profundas con dos pozos o bocaminas a la misma altura. Las causas de la ventilación natural son las diferencias primarias en la temperatura (y con ella también de la densidad) y también las diferencias de humedad y presión del aire entre el aire del interior y el aire del exterior. Mientras que en verano el aire por lo general corre desde la bocamina que se encuentra a mayor altura topográfica a través de la mina hacia lo profundo, en invierno la corriente de aire cambia su dirección (ver en el Dib. de 3.2). La corriente de aire en las minas profundas en invierno es más fuerte que en verano.

La huayrachina es apta tanto para la ventilación aspirante como también para la ventilación soplante.

Los materiales de construcción para el embovedado se obtienen de los escombros. De esta manera, las distancias de transporte de las piedras para el embovedado de la huayrachina durante la construcción son cortos. Al mismo tiempo se disminuye la cantidad de escombros a extraer.

La desventaja, en comparación con el tubo de ventilación, son las pérdidas por fricción debido a las condiciones no homogéneas de la sección y por la superficie interna áspera de la huayrachina. Por eso, para una ventilación mecanizada son necesarios ventiladores de dimensiones mayores.

De manera similar, en la minería antigua del oro en la región de Sado en Japón se ventiló a través de dos galerías paralelas con distancia de 0.5 m entre una y otra.

#### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Bajo la condición de costos laborales reducidos, esta técnica parece tener sentido aún hoy en la Pequeña Minería de Latinoamérica. La posibilidad de una ventilación absorbente y el casi ilimitado tiempo de vida con bajos costos de material están a favor de las exigencias de la Pequeña Minería.



Canal de ventilación embovedado (huayrachina) para la ventilación de una explotación por socavón realizada a través de una fortificación en arco seco de piedra. Mina de plomo-plata-estaño. Mina Candelaria, Sud Lípez, Bolivia.

## 3.2 PEQUEÑO VENTILADOR MANUAL

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

Español:	rueda para ventilación, abanico, fuelle abanico, fuelle centrifugal, ventilador manual
Inglés:	manual fan
Aleman:	Kleine Wetterlüfter, Wetterrad, Fächer, Fächergebläse, Centrifugalgebläse, Windtrumel, Focher

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 0.5 x 0.5 x 0.5 m
Peso:	aprox. 20 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado o mecanizado
Potencia motriz:	desde aprox. 80 W
Tipo de energía motriz:	manual, a pedal, o bien con pequeños motores eléctricos, neumáticos o a combustión
Forma de trabajo:	continua

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	eventualmente los de construcción propia, aprox. 500 DM (valor apreciado)
Costos de operación:	solamente costos de personal
Costos derivados:	tubos, huayrachina, manga, etc.

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	----- ■-----	altos	
Gastos de mantenimiento:	Lubricación	bajos	■----- -----	altos
Exigencias al lugar de operación:	independiente del lugar de operación			
Exigencias al sistema de explotación:	Debido a que la cantidad de aire transportada es comparativamente pequeña, no deben haber grandes espacios de arranque abiertos para que así el aire de ventilación pueda ser totalmente intercambiado.			
Aparato que puede reemplazar:	Ventiladores mecanizados de otra forma para la ventilación de labores mineras.			
Divulgación regional:	antes, ampliamente divulgado; hoy, sólo raramente para fines de la ventilación especial.			
Experiencia del operador:	muy buena	■----- -----	mala	
Contaminación ambiental:	baja	■----- -----	muy alta	
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- ■-----	mala	
Bajo qué condiciones:	buen taller mecánico, en el cual se puedan construir los rotores del ventilador, etc. y los mecanismos de engranajes para la transmisión.			
Tiempo de vida:	muy largo	----- ■-----	muy corto	

Literatura, Fuente: Delius, Schaurath, DBM, v. Hauer, v. Humbolt

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Ventiladores de las más variadas formas radiales o lineales, en los cuales el aire es movido y desplazado por cucharas. En los compresores radiales el aire es absorbido cerca del punto de rotación de la rueda con cucharas, puesto en rotación por medio de ellas y mediante la inercia de masa, comprimido afuera y soplado. Los compresores lineales aceleran el aire por medio de las cucharas de la rueda en rotación en dirección axial, por lo que resulta una sobrepresión en la parte interna de la cuchara en el lado expelente y una baja presión en el lado impelente.

### **FORMAS DE USO:**

Ventilación de toda la estructura de la mina.  
Ventilación especial.

## 3.2 PEQUEÑO VENTILADOR MANUAL

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

### OBSERVACIONES:

Ventiladores manuales de Delius (compresores radiales)

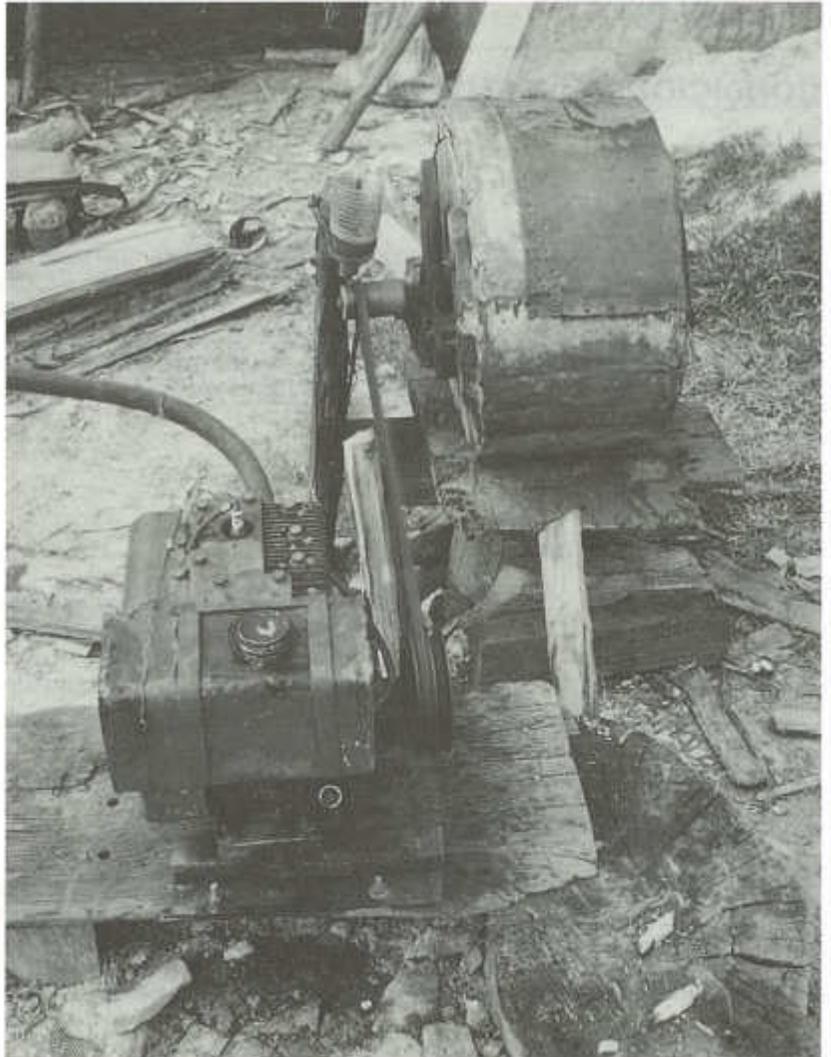
En Alemania se construyeron industrialmente ventiladores manuales hasta principios de este siglo (Pelzer, Wulf, Mortier) y fueron accionados por medio de mecanismos de manivela y de transmisión hasta de 650 rpm.

### INDICACIONES PARA LA CONSTRUCCION:

Como engranaje para la transmisión se han colocado ruedas dentadas en el perímetro del rotor. Para los ventiladores accionados con pedal, se dispondría de un acoplamiento con engranajes de cadena (cadena de bicicleta).

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERIA:

Para operaciones pequeñas y poco mecanizadas, los ventiladores de fabricación local accionados a mano o a pedales ofrecen la posibilidad de una ventilación artificial sin uso de otras energías, con bajos costos de inversión.

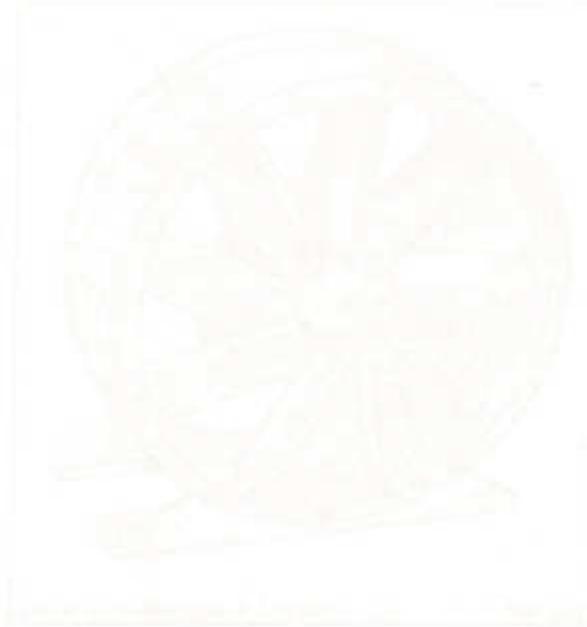


Ventilador radial accionado por motor a bencina para ventilación minera soplante. Para el enfriamiento del cojinete del ventilador se usa una botella de agua goteante. Al fondo se vé la manga de material plástico. Minería del carbón en la región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia

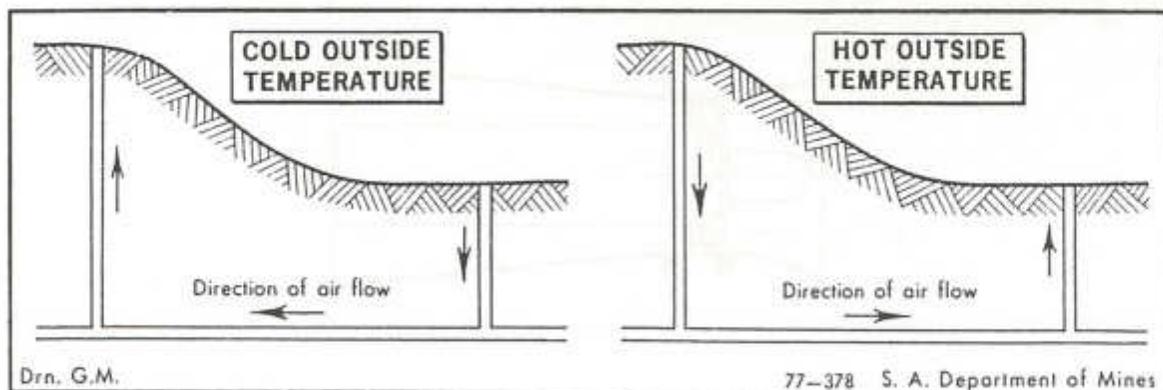
### 3.2 PEQUEÑO VENTILADOR MANUAL

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación



Ventilador manual para ventilación especial sopla con engranaje de correa y cadena de partes de bicicleta. Se hacen visibles las pérdidas de presión que reducen el rendimiento debido a la manga doblada en ángulo recto. Minería del carbón en la región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia.

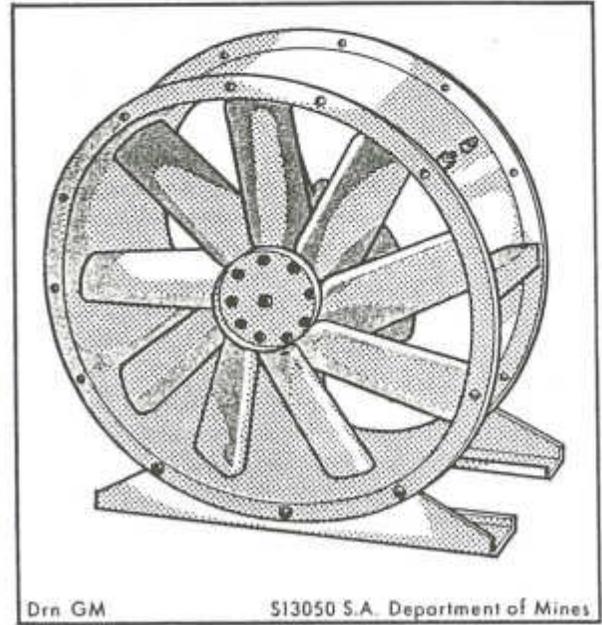
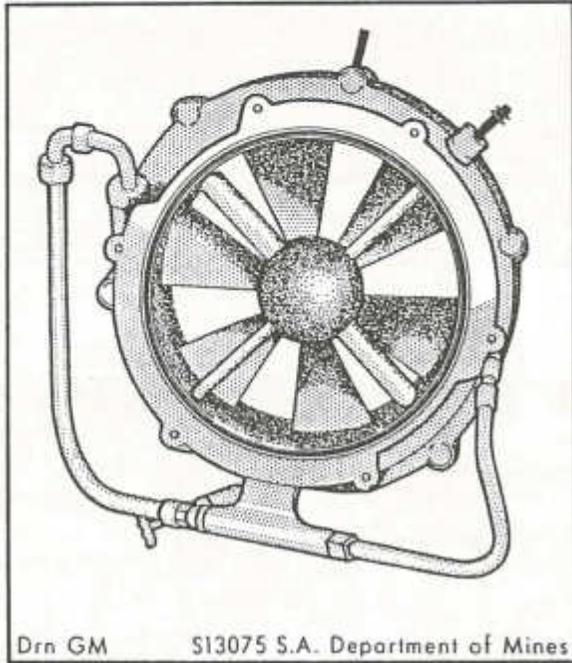


Dib.: Principio de la ventilación natural (a la izquierda: corriente en invierno; a la derecha: corriente en verano). Fuente: Armstrong

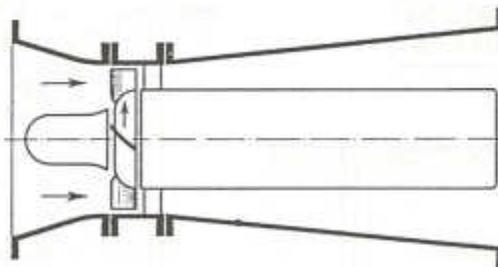
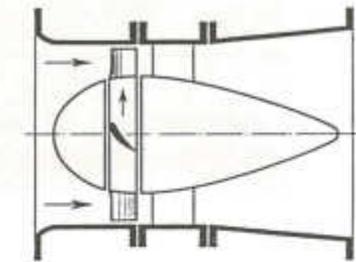
### 3.2 PEQUEÑO VENTILADOR MANUAL

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación



Dib.: Pequeños ventiladores; izquierda: ventilador neumático; derecha: ventilador eléctrico, de Armstrong



Dib.: Comparación de diferentes tipos de ventilador en corte: ventiladores de sobrepresión (arriba) y ventilador de presión constante (abajo)

### 3.3 VENTILADOR NEUMÁTICO DE INYECCIÓN

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

Español:	ventilador neumático de inyección
Inglés:	air driver, injector blower, venturi blower
Aleman:	Luftstrahlgebläse, Air-Driver, Pneumatisches Strahlgebläse
Fabricante:	Turmag

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	Diámetro 200 mm, Longitud: 550 mm; por ejemplo 3 inyectores de 2 mm de diámetro
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado
Tipo de energía motriz:	Aire comprimido/neumático
Forma de trabajo:	continua
Producción/Rendimiento:	Cantidades transportadas 55 m <sup>3</sup> /min, p.ej. Modelo Altenkamp (1921); aire transportado 256.9 m <sup>3</sup> /min, aire sopiado 0.667 m <sup>3</sup> /min
Grado de rendimiento técnico:	un poco menor que los turboventiladores neumáticos
Material: Cuát:	aire comprimido, 4 bar
Cantidad:	1.6 m <sup>3</sup> /min

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	construcción propia: aprox. 400 DM valor apreciado); 618 DM + IVA (Turmag)
Costos de operación:	costos de aire comprimido
Costos derivados:	mangas, tubos

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar de operación:	independiente del lugar de operación		
Exigencias al sistema de explotación:	Debido a que la longitud de la manga está limitada por la pequeña diferencia relativa de presión entre el lugar de absorción y de presión (mangas de 200 - 300 mm Ø huayrachinas hasta 100 m de longitud), el sistema de explotación debe ser configurado de tal manera que sea posible la conexión a un sistema de aire fresco a poca distancia del lugar a ventilar		
Aparato que puede reemplazar:	otros ventiladores, tanto manuales como mecanizados		
Divulgación regional:	poca		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	buenos talleres mecánicos, talleres de soldadura		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: DBM, Información del fabricante, Stout, Armstrong

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En los ventiladores neumáticos de inyección se sopla aire comprimido a un espacio de expansión mediante uno o varios inyectores pequeños (Ø 2 - 3 mm y mayores). De esta manera, el aire a presión al expandirse en la cámara, la cual tiene una forma de tobera laval, arrastra el aire. La relación de aire a presión a aire absorbido, o bien a aire comprimido es de 1 : 35.

### 3.3 VENTILADOR NEUMÁTICO DE INYECCION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

#### FORMAS DE USO:

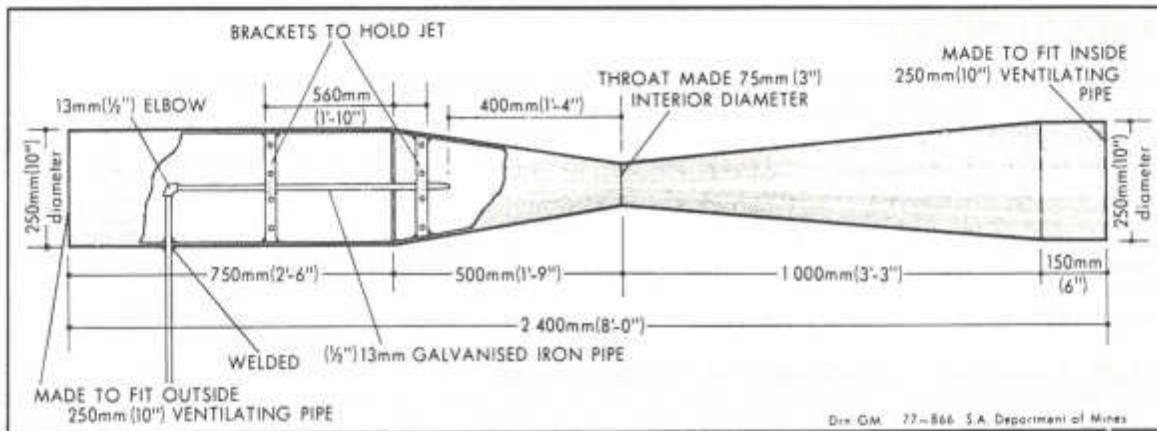
En ventilación natural y especial de minas, en lugares de operación en el arranque o en galerías con longitudes de manga relativamente cortas.

#### OBSERVACIONES:

Los ventiladores neumáticos de inyección son muy robustos y de larga vida debido a su simple construcción. No tienen ningún componente móvil. Así, el gasto de mantenimiento es mínimo y una reparación eventual es fácil de realizar.

#### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Para las operaciones con mecanización neumática y con estructuras de minas pequeñas, los ventiladores neumáticos de inyección de fabricación local son superiores a otros ventiladores neumáticos debido a su robustez y que no requiere mantenimiento.



Dib.: Plano de construcción de un ventilador neumático de inyección. Fuente : Armstrong

### 3.4 TONEL DE AGUA-COMPRESOR

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

Español: hidrocompresor, fuele de Althaus  
Aleman: Wassertrommel, Hydrokompressor, Althaus' Gebläse

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: aprox. 3 x 1 x 1 m altura, ancho, profundidad  
Peso: aprox. 100 kg  
Grado de mecanización: no mecanizada  
Tipo de energía motriz: hidromecánica  
Forma de trabajo: continua  
Producción/Rendimiento: pequeñas capacidades  
Grado de rendimiento técnico: significativamente más alto que los compresores, 8 - 15 % del tonel de agua simple  
Material: Cuál: agua  
Cantidad: relativamente grande

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: muy dependiente de la presión del aire (presión alta exige tubos de gran longitud y buena calidad)  
Costos de operación: ninguno  
Costos derivados: para operaciones del compresor muy altos

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos altos

Gastos de mantenimiento: bajos altos

Exigencia al personal: poca  
Exigencias al lugar de operación: demanda de agua, diferencia de altura  
Exigencias al sistema de explotación: El pozo es condición necesaria para el hidrocompresor.  
Aparato que puede reemplazar: ventiladores, compresores pequeños  
Divulgación regional: Actualmente, ya no; antes, divulgado en Europa central

Experiencia del operador: muy buena mala

Contaminación ambiental: baja muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena mala

Bajo qué condiciones: taller de carpintería para los fueles, buen taller metal-mecánico para compresores y fueles.

Tiempo de vida: muy largo muy corto

Literatura, Fuente: Calvör, v. Bernewitz, Siotta en Eckholdt, Delius, Kircher, v. Hauer, Cancrinus, Wagner

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Al caer en un tonel cerrado y al chocar contra una plancha, el agua se libera del aire que trae consigo, el cual luego es conducido a través de una manga hasta el frente de trabajo.  
La toma de aire puede ser acoplada (estar fabricada) como una bomba inyectora de agua, construida en forma de tubo (Bernewitz).

#### **FORMAS DE USO:**

Ventilación soplante de minas pequeñas.  
Como un compresor pequeño para remover pulpa, reactivos, etc., según el principio de la bomba Mamut.

### 3.4 TONEL DE AGUA-COMPRESOR

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

#### FORMAS ESPECIALES DE USO:

Como compresor en la producción de aire comprimido para el impulso de motores neumáticos.

#### OBSERVACIONES:

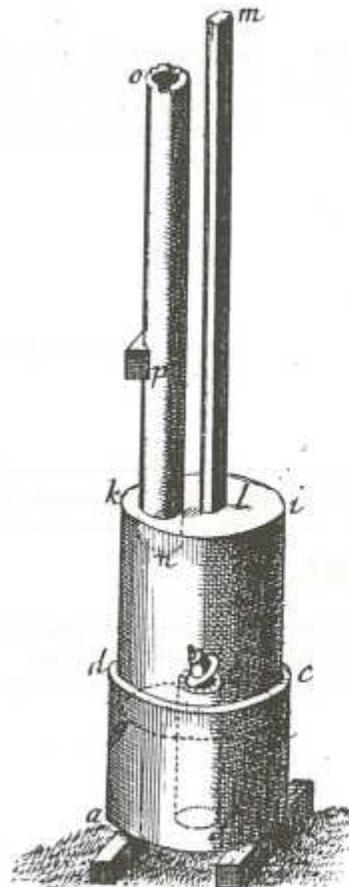
Los compresores hidráulicos estuvieron en funcionamiento en Harz hasta principios de los años 80, donde los rendimientos de  $11 \text{ m}^3/\text{min}$  o  $16.3 \text{ m}^3/\text{min}$  eran relativamente bajos. Sin embargo, el aire a presión alcanzaba para accionamientos neumáticos.

En la utilización como compresor para la producción de aire comprimido, la separación del aire tiene que realizarse bajo presión. Esta es producida para botar el agua a través de un tubo de subida. La altura de este tubo es decisiva para la presión del aire a presión.

#### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

El compresor hidráulico para fines de ventilación es apto para la Pequeña Minería debido a su sencillez, robustez, carencia de piezas móviles y a la posibilidad de fabricación local. En todo caso, la existencia de agua y de relieve es necesaria.

El empleo como compresor para la producción de aire comprimido parece menos apto debido a su alto costo de construcción. En los casos en que se permite la construcción de un hidrocompresor (agua y alto relieve), la producción de aire comprimido con un compresor convencional a turbina parece ser más económica.

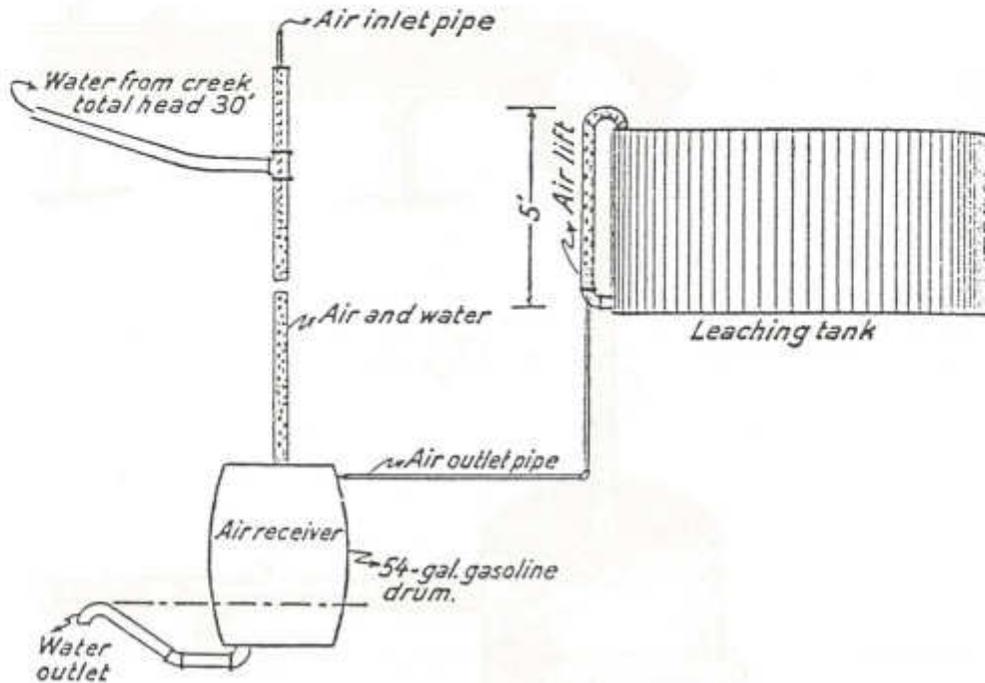


Dib.: Tonel de agua para fines de ventilación, de Cancrinus

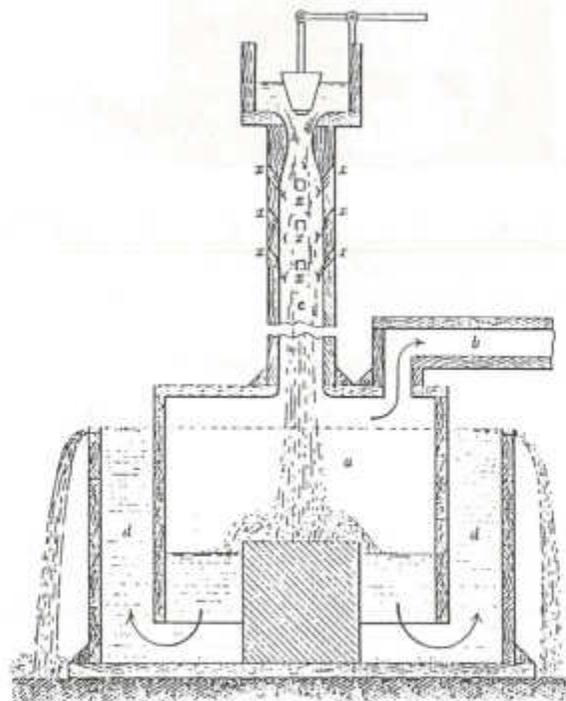
### 3.4 TONEL DE AGUA-COMPRESOR

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación



Dib.: Pequeño compresor hidráulico para el funcionamiento de una bomba agitadora según el principio de la bomba Mamut para la agitación de pulpa de lixiviación. Fuente : Bernewitz

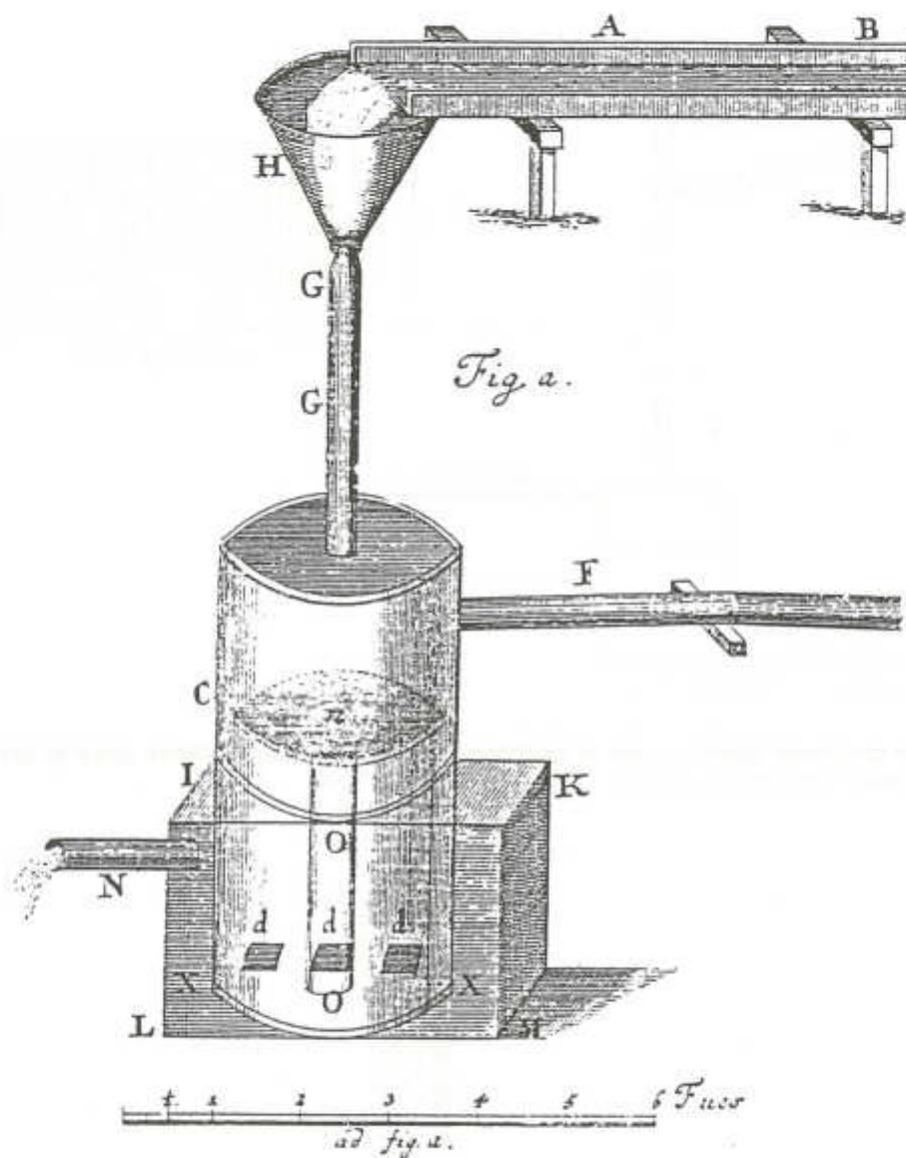


Dib.: Forma de funcionamiento de un tonel de agua para fines de ventilación, según Wabner

### 3.4 TONEL DE AGUA-COMPRESOR

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación



Dib.: Tonel de agua para fines de ventilación. Fuente: Calvór

### 3.5 HORNO DE VENTILACION

#### Trabajos subterráneos en general

#### Minería subterránea Ventilación

Español: horno de ventilación  
Aleman: Bewetterungsöfen, Bartles Feuermaschine, Wetteröfen

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: Horno grande con chimenea de varios metros de altura, o bien horno en interior mina en un desvío con aprox. 4 m<sup>2</sup> de superficie de parrilla  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Tipo de energía motriz: combustión a madera, combustión a carbón  
Posibilidades alternativas: gas, aceite  
Forma de trabajo: semi-continuo  
Grado de rendimiento técnico: 20 - 80 % en minas inglesas  
Material: Cuál: madera ó carbón  
Cantidad: grande 30 - 50 kg/PS útil x h

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: altos  
Costos de operación: altos, debido a elevados costos de combustible  
Costos derivados: mangas de absorción, huayrachinas, en caso de existir solamente una bocamina

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos |-----|■-----| altos  
Gastos de mantenimiento: bajos |-----|■-----| altos  
Exigencias al lugar de operación: debe haber grandes cantidades de leña o carbón  
Exigencias al yacimiento: utilizable solamente para pequeñas estructuras de interior mina, debido a su bajo rendimiento de absorción  
Exigencias al sistema de explotación: el sistema de explotación debe ser elegido de tal manera que se creen solamente pequeños espacios vacíos de arranque  
Aparato que puede reemplazar: ventiladores  
Divulgación regional: históricamente, en Europa  
Experiencia del operador: muy buena |-----|■-----| mala  
Contaminación ambiental: baja |-----|■-----| muy alta  
Facilidad de fabricación local: muy buena |-----|■-----| mala  
Bajo qué condiciones: construcción de los muros, con adobes; parrilla del horno, de metal  
Tiempo de vida: muy largo |-----|■-----| muy corto

Literatura, Fuente: Henning Calvör, Delius, A.v. Humboldt, Schauroth, Wagner

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El fuego del horno calienta el aire, el cual al subir circula por una chimenea arrastrando consigo el aire de interior mina, conduciéndolo al horno a través de tubos de ventilación. Principio de convección.

#### **FORMAS DE EMPLEO:**

Ventilación absorbente de minas pequeñas, donde se dispone de suficiente material combustible. También apto para apoyo de la ventilación natural.

### 3.5 HORNO DE VENTILACION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

#### OBSERVACIONES:

Sería preciso analizar, si los efectos de la corriente por convección se pudieran alcanzar empleando energía solar (p.ej. colectores de aire).

Esta clase de hornos de ventilación entran en consideración exclusivamente para la minería no carbonífera en zonas con alta densidad de vegetación. No es apto para las tierras en altura, pobres en vegetación.

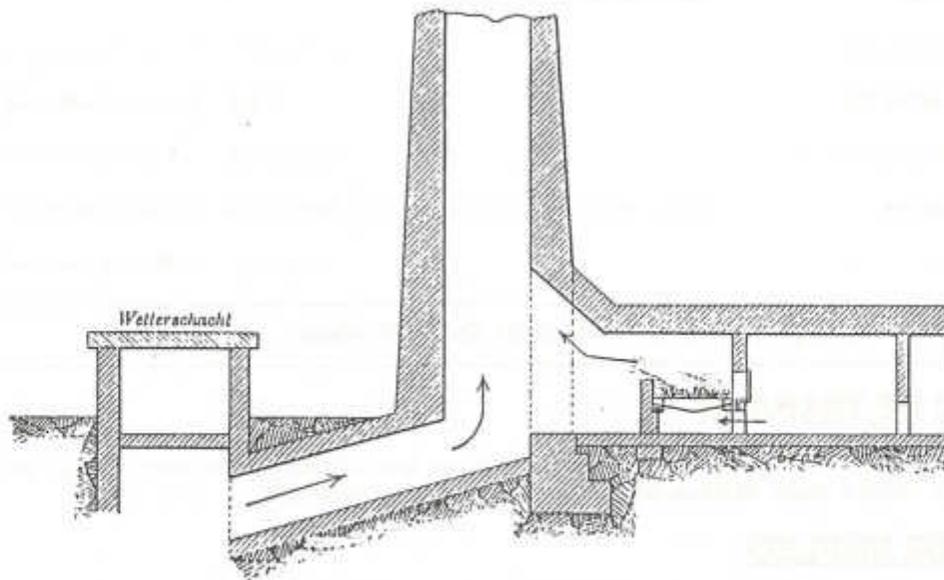
Los hornos de ventilación son de empleo práctico sobre todo en la minería del carbón donde los productos difícilmente comerciables (por ejemplo: lotes de carbón ricos en cenizas, carbones débilmente carbonizados, etc) pueden ser utilizados directamente para la combustión en el horno.

Fuera de los hornos de ventilación en superficie, también se utilizaron hornos de ventilación en interior mina. En esta clase de hornos se pudo utilizar la totalidad del pozo como chimenea, por lo cual esta clase de ventilación fué notoriamente de mayor rendimiento. En interior mina, el horno estaba instalado en un desvío de una galería suavemente ascendente, en donde la cantidad correcta de aire para la combustión se regulaba con puertas de ventilación y tapas. Las pérdidas de calor de los hornos de ventilación dependen en forma determinante de la humedad del aire de la mina. De acuerdo a ésto, el rendimiento oscila entre el 80 % en los pozos secos hasta el 20 % en los pozos mojados.

En forma alternativa se intentó utilizar el calor de la combustión del carbón para producir vapor de agua, de tal manera que al fluir éste con alta presión en un fuelle o soplador inyector (soplador de rayos de vapor de Koerting) arrastrará el aire. Sin embargo, los grados de rendimiento de esta clase de instalación fueron mínimos (rendimiento sólo del 2 % del horno de ventilación).

#### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Debido a los efectos dañinos en la vegetación, los hornos de ventilación no son recomendables para la Pequeña Minería. Solamente en la minería del carbón pueden tener uso práctico donde se deben considerar los grandes peligros de incendio en la mina.

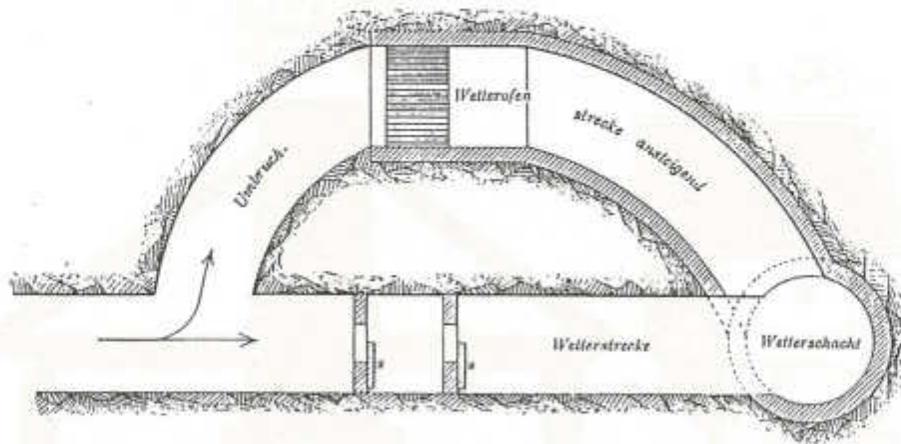


Dib.: Horno de ventilación instalado en la superficie, según Wabner

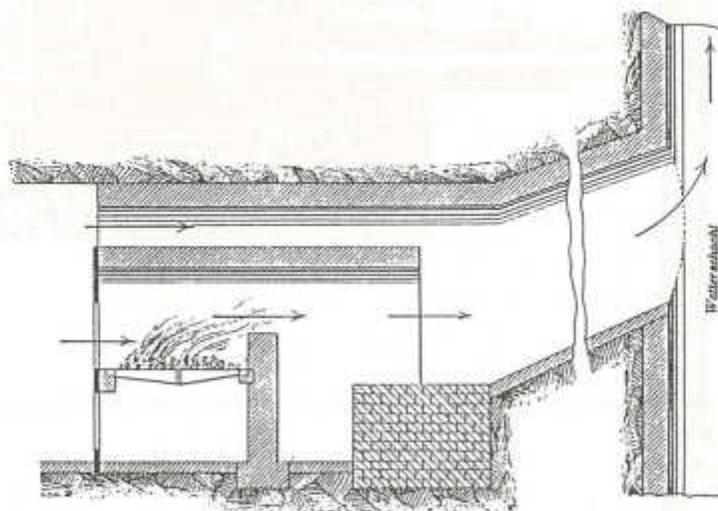
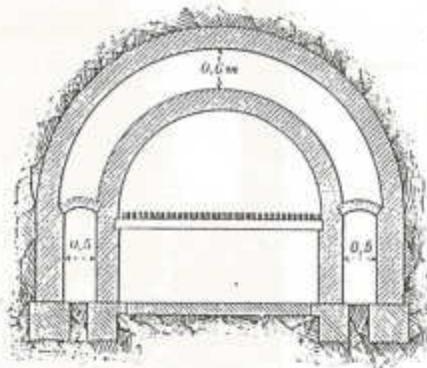
### 3.5 HORNO DE VENTILACION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación



Dib.: Instalación de un horno de ventilación en interior mina en una desviación de galería, según Wabner

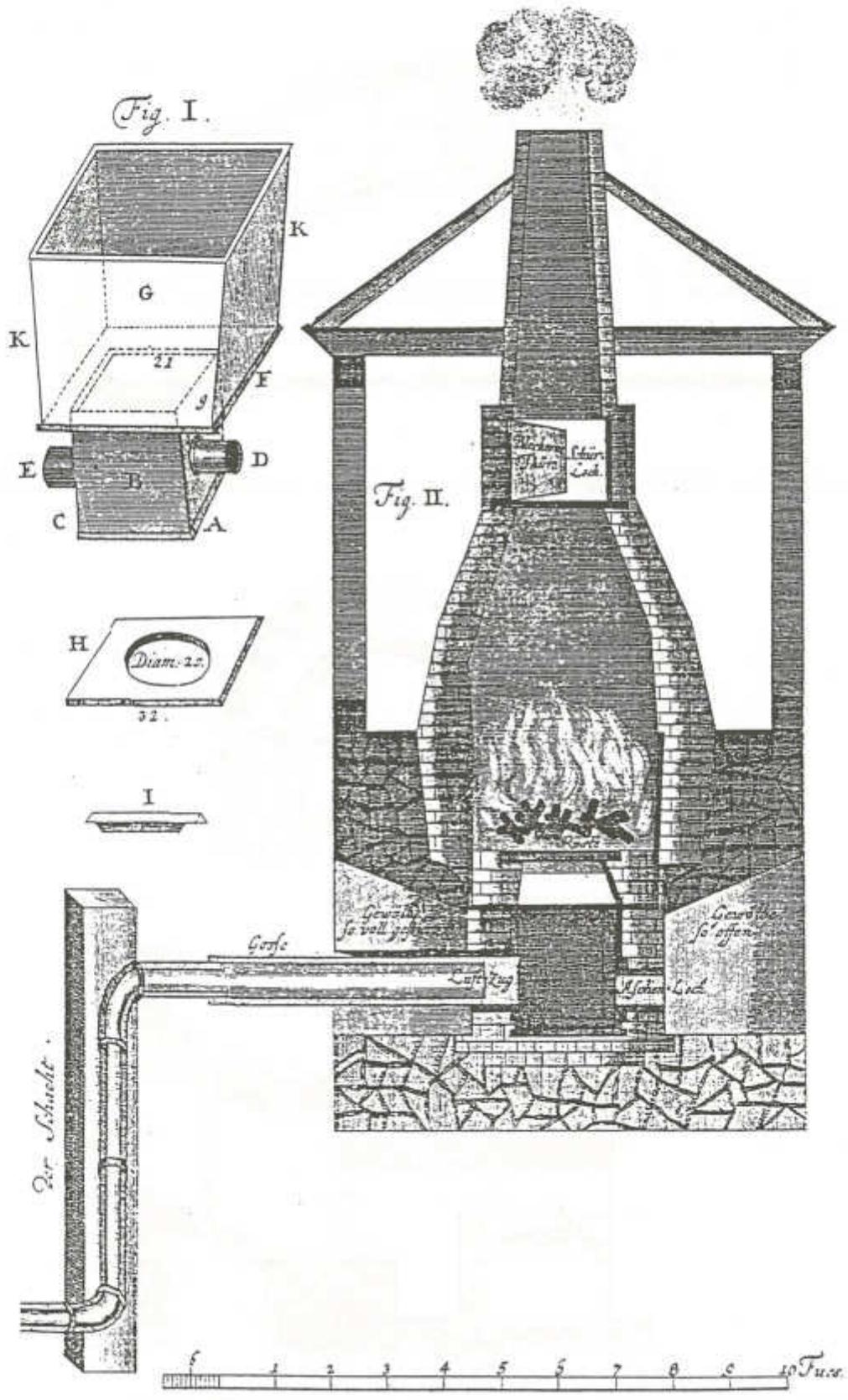


Dib.: Vista y corte de un horno de ventilación instalado en interior mina. Fuente : Wabner

### 3.5 HORNO DE VENTILACION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación



Dib.: Horno de ventilación o máquina de fuego de Bartel, de Calvör

### 3.6 VELA DE VENTILACION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

Español:	vela de ventilación, vela de viento, machina anemica, cortaviento
Inglés:	windsail
Aleman:	Bewetterungssegel, Windsegel, Machina Anemica, Windfang, Wetterhut

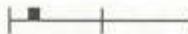
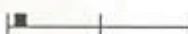
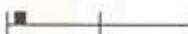
#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	hasta varios m de diámetro
Peso:	10 - 50 kg
Grado de mecanización:	no mecanizada
Tipo de energía motriz:	Viento
Forma de trabajo:	intermitente
Producción/Rendimiento:	según la resistencia en la manga/huayrachina y la cantidad del viento
Grado de rendimiento técnico:	alto

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	muy bajos
Costos de operación:	ninguno
Costos derivados:	eventualmente es necesario un sistema de ventilación alternativo; debe estar instalada una manga o huayrachina, de lo contrario se debe instalar una.

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar de operación:	debe haber viento suficientemente fuerte durante el día y durante el año en la cercanía del pozo o de la bocamina		
Exigencias al sistema de explotación:	debe estar preparado para la ventilación soplante.		
Divulgación regional:	Australia		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
sin embargo, el rendimiento de la ventilación depende de la fuerza del viento			
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	Taller de carpintería u otro taller donde los cortavientos puedan ser fabricados de combinaciones de madera o marcos de metal y material para vela.		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto
siempre y cuando la instalación esté asegurada contra tormentas			

Literatura, Fuente: Armstrong, Kircher, A. v. Humboldt, Loehneys, Schauroth, Wagner

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Se gira una prolongación del tubo de ventilación en forma de embudo con su abertura hacia el viento. Por medio de la presión dinámica se crea un movimiento de aire a través del tubo. Los materiales para la construcción de la vela de ventilación son todos aquellos que puedan ser traspasables por el viento, como paño de vela, material recubierto de lino o algodón, material plástico con refuerzo de fibra, etc. Un marco de madera o de metal mantiene abierto el embudo.

#### **FORMAS DE EMPLEO:**

En la ventilación de pequeñas estructuras de interior mina, en las cuales existen tubos de ventilación o huayrachinas.

### 3.6 VELA DE VENTILACION

### Trabajos subterráneos en general

### Minería subterránea Ventilación

#### **OBSERVACIONES:**

Eventualmente para temporadas sin viento se deben planificar aparatos de ayuda para la ventilación que trabajen independientemente del viento.

Kircher describe una Machina Anemica que consiste en una vela de madera para viento con una cola que le permite la acomodación automática.

Schauroth dice que los cortavientos ya se construyeron de manera combinada para ventilación soplante y aspirante y que fueron colocados de modo más sencillo en las bocas de los pozos o en las bocaminas donde se abrieron ventanas y puertas al lado de la banda de barlovento (para ventilación soplante) y al lado de la banda de sotavento (para la ventilación aspirante).

Históricamente, los cortavientos son la ayuda artificial más antigua para la ventilación de labores mineras.

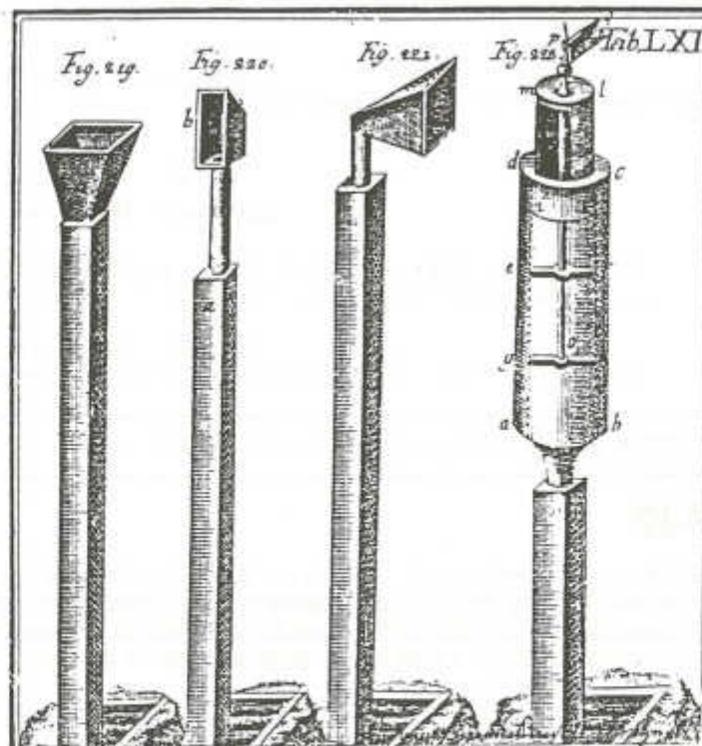
Los cortavientos con formas dadas por el textil, como actualmente se usan en Australia en la Pequeña Minería, son preferibles a los cortavientos de madera.

Fuera de un mecanismo que permite la acomodación de la abertura hacia el viento, los cortavientos no tienen otro componente móvil y por eso son bastante robustos. Deben estar hechos como para poder resistir a la corriente de viento más fuerte.

En pozos de ventilación absorbentes en lugares secos, la ventilación puede ser reforzada enfriando el aire absorbido haciendo caer agua finamente regada en el pozo. El frío por evaporación refrigera el aire. Mientras mayor sea la temperatura del aire y menor la humedad relativa, mayor será el efecto de enfriamiento.

#### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

En Latinoamérica se pueden instalar las velas de viento en forma práctica solamente en aquellos lugares en los cuales durante el día y el año se disponga de suficiente viento en la bocamina o bien en la boca del pozo.



### 3.7 SOPLADOR DE CAJON

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

Español: soplador de cajón  
Aleman: Kastengebläse

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: por ejemplo, tres émbolos cuadrados de aprox. 1 x 1 m, superficie del émbolo: 4 x 1.2 x 5 m, largo, ancho, alto  
 Peso: aprox. 1.000 kg  
 Grado de mecanización: parcialmente mecanizado  
 Potencia motriz: desde aprox. 0.5 kW  
 Tipo de energía motriz: rueda hidráulica, por ejemplo soplador de cajón con las medidas arriba mencionadas en Freiberg  
 Posibilidades alternativas: otras fuerzas motrices lentas  
 Forma de trabajo: semi-continuo  
 Grado de rendimiento técnico: 420 m<sup>3</sup>/h, aire con 450 mm de columna de agua de sobrepresión  
 Materiales: Cuát: lubricantes  
 Cantidad: pocas cantidades

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: alrededor de 2000 DM  
 Costos de operación: según la clase de fuerza motriz, sin embargo, en general muy bajos  
 Costos derivados: sistema de fuerza motriz, sistema de conductos de ventilación (mangas u otros semejantes)

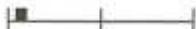
#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

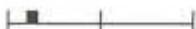
Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Aparato que puede reemplazar: Todos los otros sistemas de ventilación para la ventilación especial.  
 Divulgación regional: Hasta ahora no divulgado en la Pequeña Minería latinoamericana.

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: construido en madera, pero eventualmente también construíble en material plástico, de resina sintética reforzada con fibra de vidrio, etc.; las válvulas para el cierre hermético de cuero o fieltro, eventualmente de goma.

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Wagenbreth, Grube Alte Elisabeth/Freiberg

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El aire que se encuentra en el espacio de compresión respectivo es comprimido por medio de un émbolo de madera calafateada de doble efecto contra la pared del cajón y soplado a través de una válvula simple de lengüeta de cuero con empaquetadura de fieltro. Luego de sobrepasar el punto de inversión del eje del cigüeñal del impulsor, la válvula se cierra por la fuerza de gravedad. Para la succión del aire, el movimiento del émbolo se lleva a cabo por medio de una válvula de aspiración. En el espacio del cilindro, al lado opuesto del émbolo, el aire se comprime y se sopla al mismo tiempo. Para cada cajón soplador existen dos válvulas, una para el ingreso y otra para la salida del aire. Para la creación de un movimiento paralelo al eje existe una articulación de cruceta instalada entre el cajón soplador y el eje del cigüeñal. La construcción del paralelogramo de Watt se puede emplear alternativamente en el impulsor mediante un balancín.

### 3.7 SOPLADOR DE CAJON

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Ventilación

En general, se ha impuesto la posición vertical para los sopladores de cajón, o sea la construcción con un eje de accionamiento vertical. Todas las otras construcciones tienen pérdidas por fricción más altas y problemas en la empaquetadura.

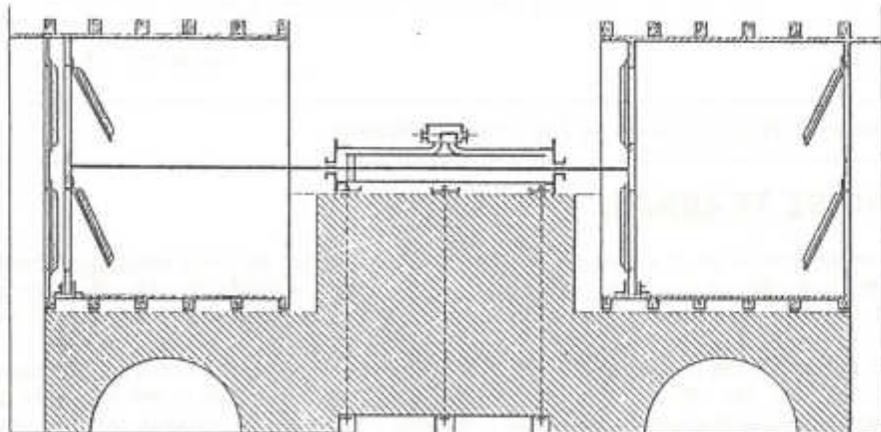
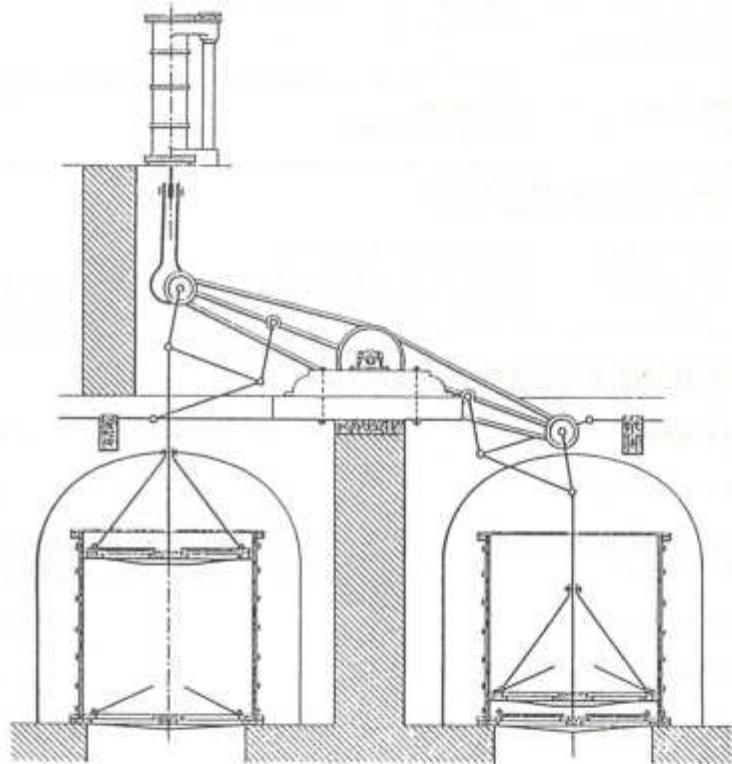
#### FORMAS DE EMPLEO:

Compresión de aire para ventilación o para hornos de fragua.

#### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Los sopladores de cajón son aptos para la ventilación de pequeñas minas, en las cuales existen ruedas hidráulicas o instalaciones impulsoras lentas.

Dib.: Soplador de cajón para la ventilación, accionado por una máquina a vapor con balancín y una construcción del paralelogramo de Watt, según Wabner



Dib.: Soplador de viento de posición horizontal, según Wabner

### 3.8 SOPLADOR DE CAMPANA

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Ventilación

Español: soplador de campana, equipo para ventilación del Harz, soplador de Baader  
Aleman: Glockengebläse, Harzer Wettersatz, Baader'sches Gebläse

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas de una unidad de soplador: aprox. 1 m Ø, 2 - 3 m altura  
Grado de mecanización: no/parcialmente mecanizado  
Potencia motriz: desde 100 W  
Tipo de energía motriz: manual o hidromecánica  
Posibilidades alternativas: accionamiento a pedal, malacate  
Forma de trabajo: intermitente  
Producción/Rendimiento: Cada ciclo del soplador aprox. 2 m<sup>3</sup> de aire, frecuencia cerca de 6 ciclos/min  
Grado de rendimiento técnico: muy alto, ya que sólo existen pérdidas por fricción

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: muy bajos, menores a 500 DM  
Costos de operación: según la mecanización  
Costos derivados: son necesarios : manga, tubería o huayrachina

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos  
según la mecanización

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al personal: bajas  
Exigencias al lugar de operación: ninguna  
Aparato que puede reemplazar: ventilación natural, ventiladores  
Divulgación regional: histórica (Harz)

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: trabajos sencillos de metal y/o madera, válvulas de goma o de cuero

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Museo Alemán, Slotta en Eckhloft, A. v. Humboldt, v. Hauer, Schauroth, Wagner, Treptow

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Un recipiente pequeño de forma cilíndrica o de campana, con la parte inferior abierta, es movido permanentemente de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba dentro de otro recipiente más grande lleno de agua. Debido a este movimiento, en la parte superior del recipiente interior, se forma constantemente un espacio de aire que aumenta y disminuye análogamente a un fuelle de mano. El tubo conectado al sistema de los tubos de ventilación y la cabeza del recipiente interno está equipados con válvulas, las cuales permiten los movimientos del aire en dirección de la corriente.

### 3.8 SOPLADOR DE CAMPANA

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

#### **FORMAS DE EMPLEO:**

Ventilación natural y especial de minas pequeñas y de operaciones en socavones.

#### **OBSERVACIONES:**

En el Harz, en el siglo XVIII, se ventilaron galerías hasta de 3 km de longitud con los equipos de ventilación del Harz (inventado en 1789 por Josef Baader). Entonces se utilizaban tubos para ventilación de madera (truncos ahuecados en el centro), los cuales eran acoplados y calafeteados unos a otros mediante anillos metálicos.

Según la clase de válvula se puede ventilar de modo soplante o absorbente.

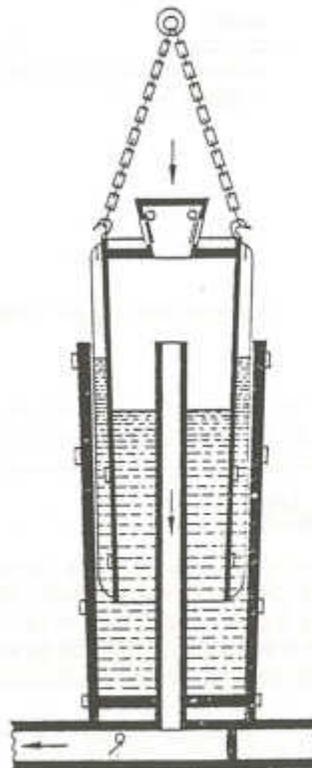
El aire puede ser suministrado continuamente usando una conexión en paralelo de dos equipos de ventilación del Harz, unidos por una viga basculante.

En comparación con otras formas de construcción de fuelles manuales, fuelles de cajón, etc., el equipo de ventilación del Harz se caracteriza por sus pequeñas pérdidas por fricción y por su alto grado de rendimiento.

Debería investigarse hasta qué punto se podría accionar el equipo de ventilación del Harz por medio de tracción animal.

#### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Los bajos costos de inversión, el sencillo principio de trabajo y la facilidad para su construcción local hacen del equipo de ventilación del Harz una sencilla y apropiada posibilidad para la ventilación artificial. Los sistemas motrices lentos son aprovechables.

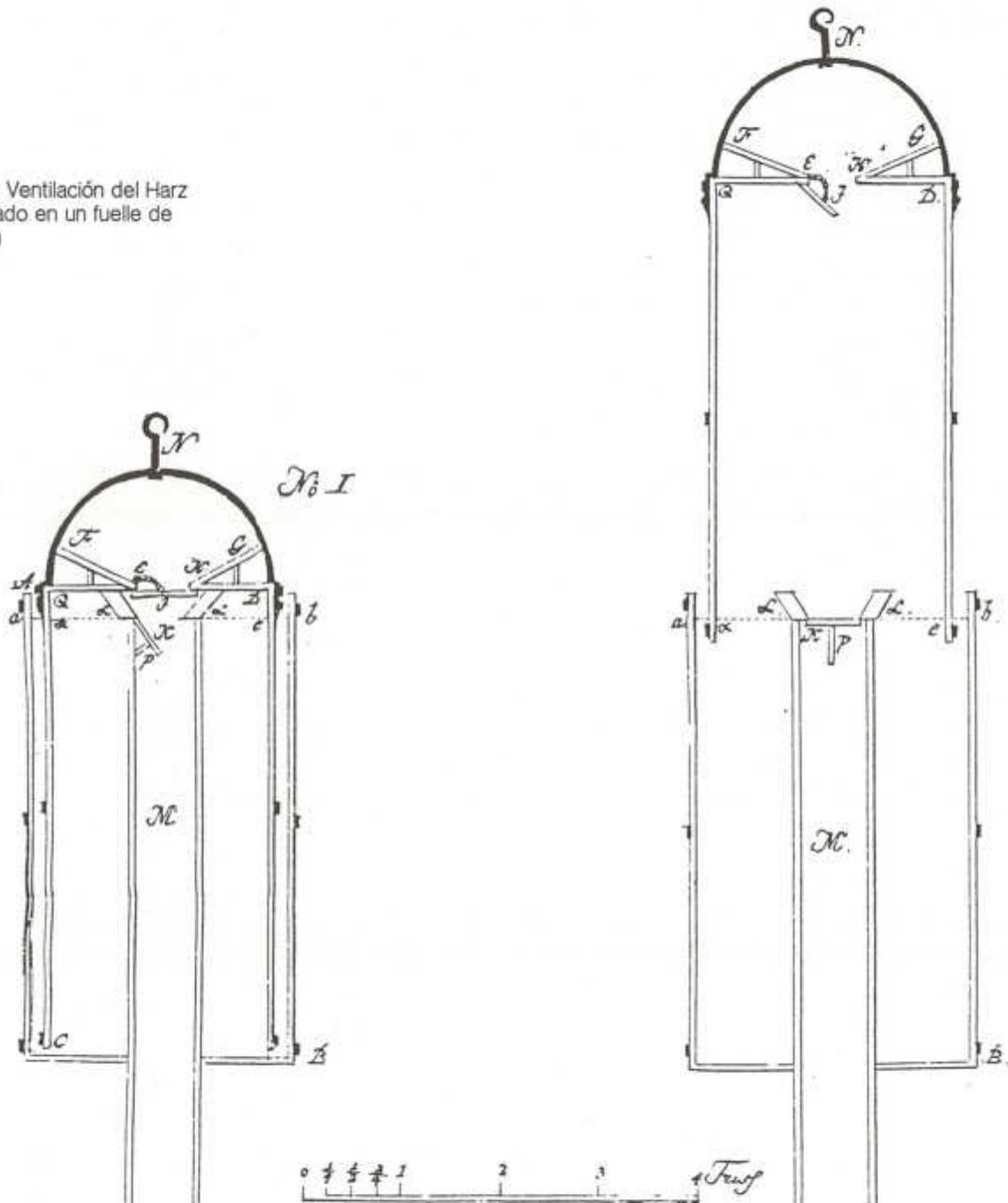


### 3.8 SOPLADOR DE CAMPANA

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Ventilación

Equipo de Ventilación del Harz transformado en un fuelle de ventilación



Dib.: Representación esquemática de un equipo de ventilación del Harz. Fuente: Lempe



## Capítulo técnico 4: Desagüe

### 4.1 BOMBA NEUMÁTICA DE EXPULSION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Desagüe

Español: bomba neumática de expulsión, bomba con flotador  
Aleman: Druckluftgetriebene Verdrängungspumpe, Schwimmerpumpe

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: Volumen, desde pocos litros hasta varios cientos de litros  
Peso: El peso total de la cámara de expulsión de la bomba debe ser mayor que el volumen en litros para que así la bomba se hunda cuando esté vacía  
Grado de mecanización: parcialmente mecanizada  
Tipo de energía motriz: neumática  
Forma de trabajo: intermitente  
Grado de rendimiento técnico: relativamente bajo debido al escaso rendimiento del aire comprimido, además trabaja intermitentemente, con lo cual la presión del aire creada se anula con la presión exterior.  
Material: Cuát: aire a presión  
Cantidad:  $P = P_{\text{hidrostática}} + (0.5 - 1.0) \text{ bar}$

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: muy pequeños, aprox. 100 DM + costos para tubería = f(altura)  
Costos de operación: f (de los costos del aire comprimido)  
Costos derivados: sistema de aire comprimido, compresor

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: atención manual	bajos	----- ■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■----- -----	altos
Exigencias al personal: Exigencias al lugar de operación:	bajas	Desde el punto de vista constructivo son posibles grandes profundidades de bombeo, sin embargo la resistencia del material a la presión del material y la presión máxima del aire comprimido limitan en la práctica la profundidad hasta aprox. 50 metros.	
Aparato que puede reemplazar:	Otro tipo de bombas para el desagüe de minas y para el bombeo de agua de procesos y de agua de uso industrial en pequeñas cantidades, pero a grandes alturas.		
Divulgación regional:	técnica nueva, ninguna divulgación hasta ahora		
Experiencia del operador:	muy buena	----- -----	mala
Contaminación ambiental:	estos datos aún no están a disposición, solamente existen valores de operaciones de experimentación en la técnica agrícola Weihestephan		
Facilidad de fabricación local:	baja	----- -----	muy alta
Bajo qué condiciones:	contaminación del agua con aceite por la separación del aceite contenido en el aire comprimido.		
Tiempo de vida:	muy buena	■----- -----	mala
	talleres metalmecánicos con elementos de construcción sencillos, por ejemplo pedazos de tubos o simples válvulas con bola de goma dura		
	muy largo	----- -----	muy corto

Literatura, Fuente: Técnica agrícola de Weihestephan, Fritzsche

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La bomba consiste en un cámara de expulsión con 2 válvulas: una de afluencia con una malla antepuesta y otra de expulsión hacia el lado a presión del tubo de subida. Tanto la afluencia como el escape se encuentran en el piso del cuerpo de la

## 4.1 BOMBA NEUMÁTICA DE EXPULSION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Desagüe

bomba, por lo que ha dado buen resultado colocar un tubo para la toma del agua. Las válvulas son válvulas de retención, por ejemplo como la de lengüeta o la de bola. Estas últimas se fabrican de una goma que tiene una densidad apenas un poco mayor que el agua, por lo tanto por una pequeña sobrepresión se abre la válvula de afluencia. En la cámara de la bomba sobresale un tubo de presión con una llave de tres vías con control externo. Por medio de la válvula de afluencia el agua entra del depósito a bombear al depósito de la bomba. Cuando este último se llena, la llave de tres vías se pone en posición tal que permite el ingreso de aire comprimido a la cámara de la bomba. La válvula de afluencia se cierra, la válvula de escape empieza a abrirse, con lo cual el aire a presión desplaza el agua a través del tubo de toma de la válvula de expulsión y del tubo de subida. Una vez que toda el agua es expulsada se abre la llave de tres vías, la presión del aire baja, la válvula de escape se cierra, la válvula de afluencia empieza a abrirse y el agua ingresa nuevamente a la cámara de la bomba. El control manual de la bomba se puede automatizar mediante un flotador por medio de la llave de tres vías.

### VENTAJAS:

- + Construcción propia o bien de fabricación local utilizando material barato.
- + Posible utilización en pozos estrechos, huecos de perforaciones y lagunas debido a que la bomba sólo cuelga de dos mangueras flexibles o bien de un cable adicional.
- + Poco propensa a averías debido a que fuera de las válvulas no existen otras partes móviles.
- + En la versión más simple, el control se puede llevar a cabo manualmente.

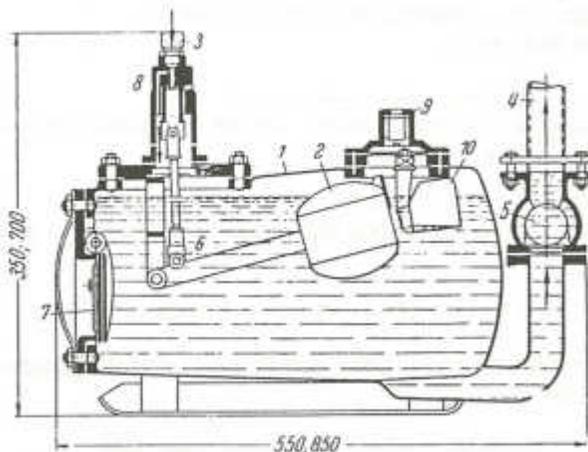
### DESVENTAJA:

- Menor grado de rendimiento que las bombas accionadas directamente, por ejemplo bombas de émbolo o de membrana.

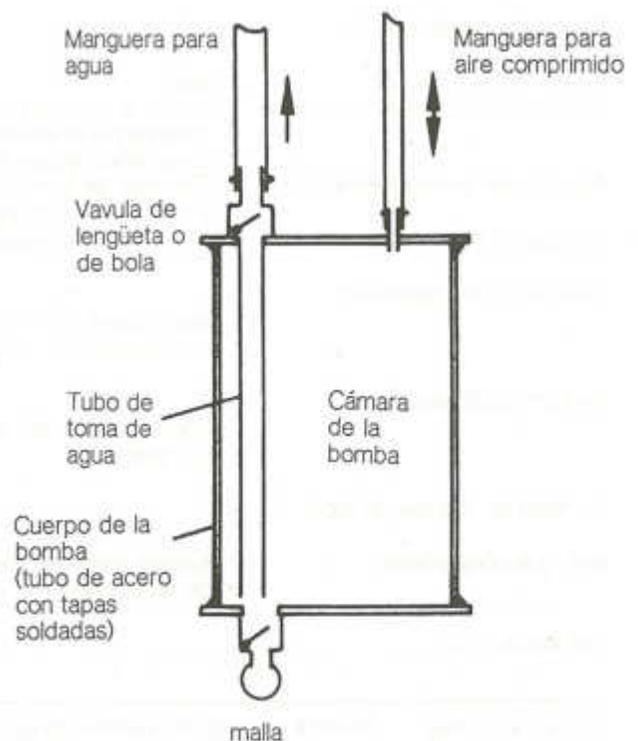
Propuestas de optimización: La llave de tres vías en la cámara de la bomba, por ejemplo controlada por transmisión mecánica, disminuye el espacio de descarga de presión y con ello aumenta el grado de rendimiento.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Apropiada para pequeñas cantidades de agua siempre que exista previamente un sistema de aire comprimido o bien un compresor. Por lo demás, las bombas robustas sumergibles neumáticas parecen ser superiores.



Dib.: Bomba con flotador, de Reuther



Dib.: Bomba a presión de aire, según técnica agrícola Weihestephan



## 4.2 BOMBA DE MECATE

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Desagüe

### FORMAS ESPECIALES DE EMPLEO:

Recirculación de agua de uso industrial

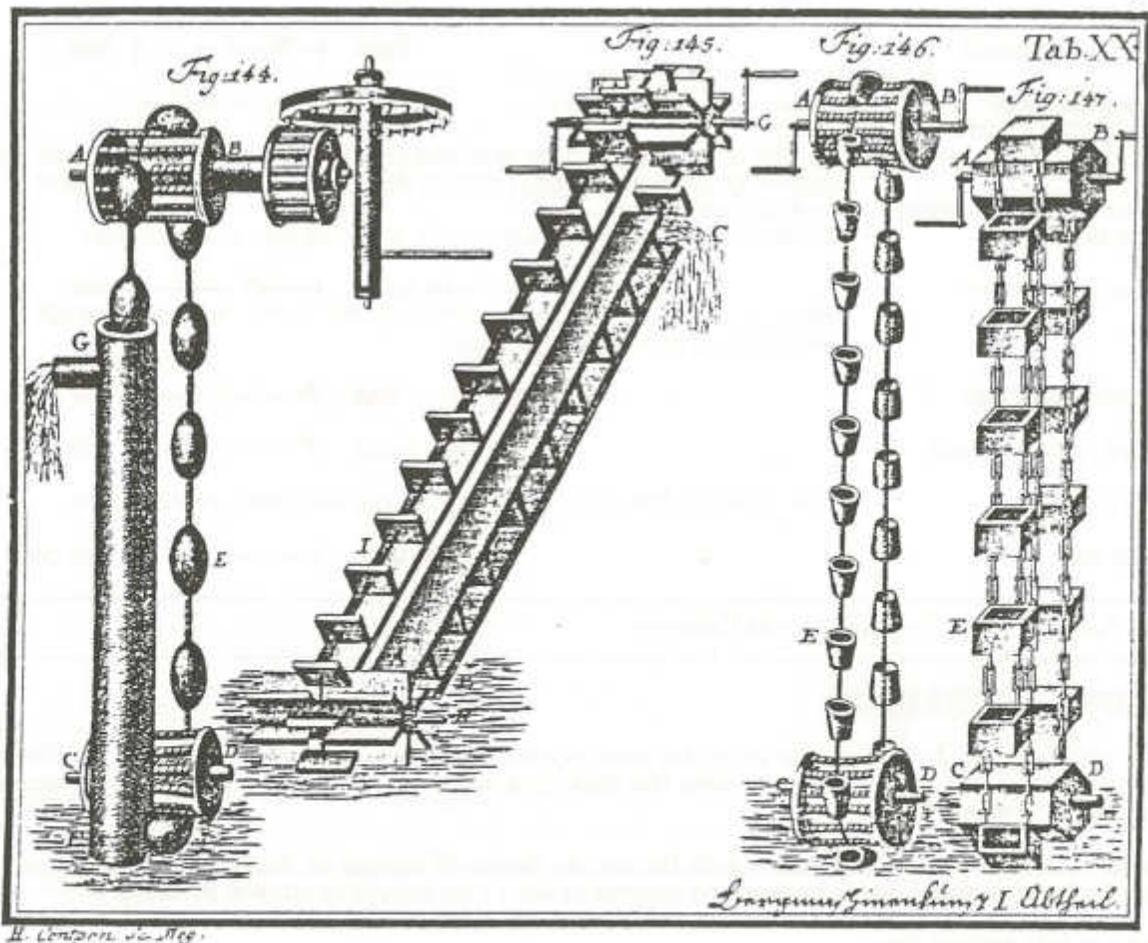
### OBSERVACIONES:

Técnicamente estas instalaciones (Heinzenkünste) fueron rápidamente desplazadas debido a los altos procesos de desgaste. Materiales modernos, como tubos de material plástico, etc., podrían posibilitar construcciones con mayor tiempo de vida.

El grado de rendimiento de la bomba se reduce con la altura a bombear. Las causas son las grandes pérdidas por fricción y por pérdidas en el calafateado de los cuerpos de arrastre. Por ello, la máxima altura a bombear está limitada a 15 m. Los principales campos de empleo son aquellos con pequeñas diferencias de altura, de aprox. 2 - 5 m.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Las bombas de mecate son prácticas, especialmente donde no existe abastecimiento de energía y donde se puede bombear intermitentemente a pequeñas diferencias de altura. Un caso de su empleo es la recirculación del agua industrial en el beneficio.



### 4.3 BOTAS DE ARO PARA DESAGÜE

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Desagüe

Español: botas de aro, botas de mano  
Aleman: Bulgen zur Wasserhaltung, Botas zur Wasserhaltung

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: Recipiente de cuero para el transporte, de 30 - 50 l de capacidad  
Peso: aprox. 20 kg  
Grado de mecanización: no/parcialmente mecanizada  
Tipo de energía motriz: neumática o motor eléctrico en el cabrestante  
Posibilidades alternativas: malacate, tracción animal, rueda hidráulica  
Forma de trabajo: intermitente  
Producción/Rendimiento: 1 - 5 m<sup>3</sup>/h hasta aprox. 30 m

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: aprox. 100 DM, fabricación local  
Costos de operación: depende de la forma del sistema motriz  
Costos derivados: cabrestante, andamio para el transporte, cable de tracción

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos |-----|■-----| altos

Gastos de mantenimiento: bajos |-----|■-----| altos

Exigencias al personal: bajas

Exigencias al lugar de operación: necesidad de fuente de energía para la fuerza motriz  
Aparato que puede reemplazar: bombas de desagüe  
Divulgación regional: escasa, Bolivia, Colombia y Chile

Experiencia del operador: muy buena |-----|■-----| mala

Contaminación ambiental: intensiva en energía      baja |-----|■-----| muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena |-----|■-----| mala  
recipientes de transporte, andamio, eventualmente aparatos motrices (por ejemplo: hidromecánicos)

Tiempo de vida: muy largo |-----|■-----| muy corto

Literatura, Fuente: Hentschel, Villefosse, Agrícola, Colección-Treptow/Freiberg

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Técnica intermitente para el desagüe y para el transporte de mineral bruto mediante sacos de cuero. Durante el desagüe se transporta el saco de cuero lleno por medio del cabrestante a través del pozo hacia la superficie y allí es vaciado con una manguera según el principio de vasos comunicantes (conocido según Villefosse de Méjico).

#### **FORMAS DE EMPLEO:**

Desagüe de pequeñas cantidades a poca profundidad

#### **FORMAS ESPECIALES DE EMPLEO:**

Las botas de aro, además del uso para el desagüe, todavía se emplean en la Pequeña Minería para el transporte de mineral bruto.

### 4.3 BOTAS DE ARO PARA DESAGÜE

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Desagüe

#### **OBSERVACIONES:**

La forma discontinua de trabajo, además de tener un bajo grado de rendimiento y poca capacidad de carga, necesita de mucha energía. Esto se podría mejorar por medio de una operación pendular con dos recipientes de transporte. En todo caso, la unidad motriz tiene que permitir un movimiento hacia arriba y abajo, o sea una inversión del movimiento. En las fuerzas motrices hidromecánicas con rueda hidráulica, esta libertad de movimiento se puede obtener solamente con un engranaje o con una costosa rueda de inversión. En este caso se debe preferir la tracción animal.

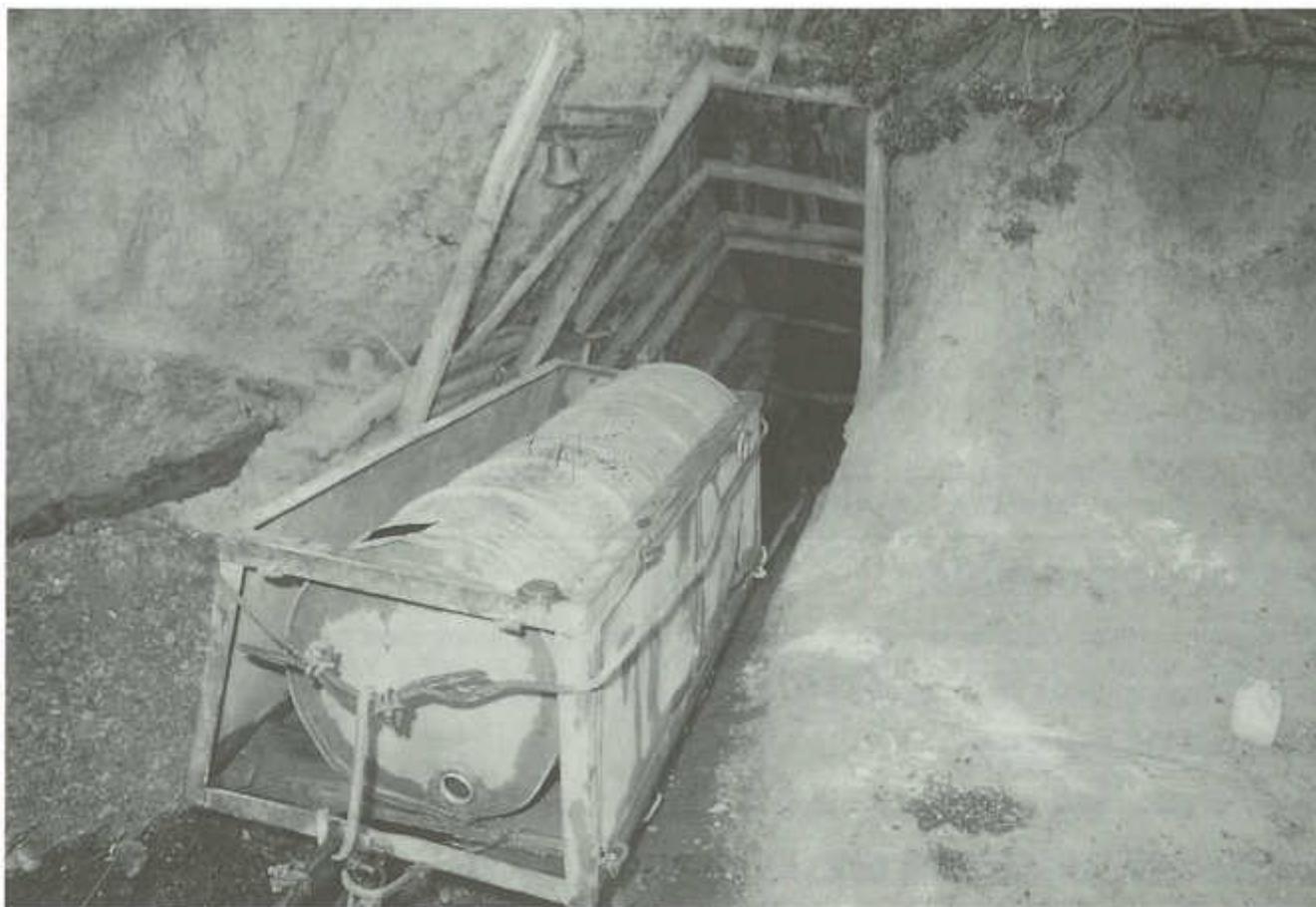
Esta es una técnica muy intensiva en trabajo. Para el desagüe se necesitan por lo menos 3 personas.

Desde la antigüedad se conocen las bolsas de hierba calafateadas para el desagüe de Mazarrón/España.

El transporte con botas de aro sólo es posible en pozos verticales. La Pequeña Minería, para el desagüe en rampas usa carros simples que llegan hasta el depósito de agua para ser llenados. En algunos lugares existen carros con válvulas de lengüeta o de bola instaladas en la punta inferior del tanque de agua, las cuales se abren y se cierran automáticamente dentro del depósito y así no se necesita personal de atención para el llenado. En la superficie exterior estos carros pueden ser vaciados por medio de instalaciones de volteo, sifones de aspiración o similares.

#### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Uso práctico sólo bajo extremas condiciones. La técnica exige mucho empleo de trabajo y energía y transporta cantidades relativamente pequeñas.



Desagüe en pozo inclinado por medio de carro aguatero con turriles de diesel. Al fondo, la salida de la rampa con campana de señal. Minería del carbón en la región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia.

### 4.3 BOTAS DE ARO PARA DESAGÜE

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Desagüe

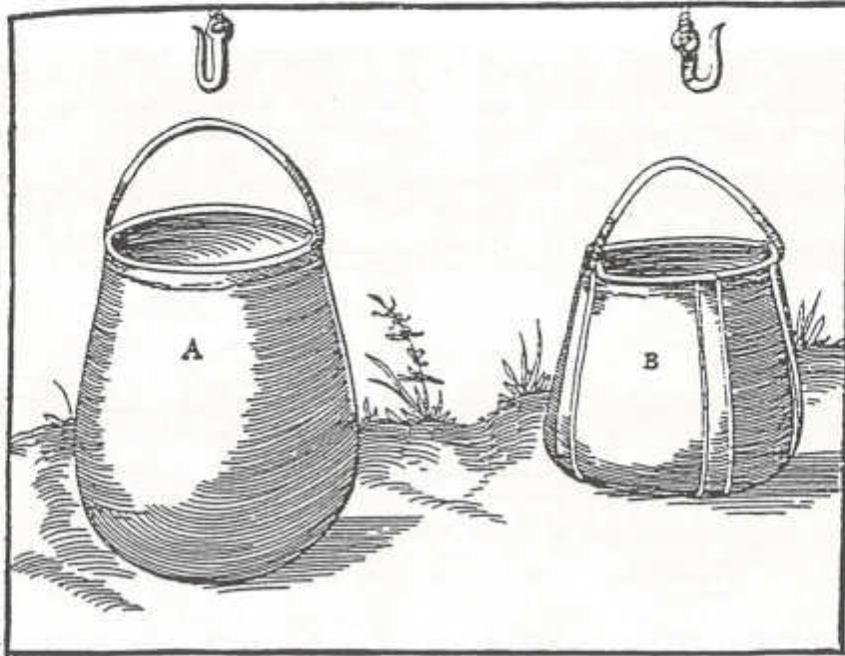


Desagüe mediante extracción con botas de aro. Vaciado de la bota en el enganche superior por medio de una manguera de absorción. Mina de antimonio Santiago/Oploca, Potosí, Bolivia.

### 4.3 BOTAS DE ARO PARA DESAGÜE

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Desagüe



La bota de aro A.

La bota de arrastre B.

Dib.: Formas de botas, de Agrícola

## 4.4 BOMBA DE CANGILONES

### Trabajos subterráneos en general

### Minería subterránea Desagüe

Español: bomba de cangilones, bomba rosario  
Aleman: Eimerkettenpumpe, Becherwerk, Kannenkunst, Paternosterpumpe

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: hasta 150 m de profundidad  
Peso: según la profundidad  
Grado de mecanización: no mecanizada  
Tipo de energía motriz: Sistemas motrices lentos (rueda hidráulica, malacate) o sistemas motrices rápidos con reducción (motores, turbinas)  
Forma de trabajo: semicontinua/continua  
Materiales:  
Cuát: lubricantes  
Cantidad: pocas cantidades

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: desde aprox. 100 DM e instalaciones motrices de aprox. 10 m  
Costos de operación: principalmente costos de energía  
Costos derivados: depende de la clase de instalación motriz

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos altos

Gastos de mantenimiento: bajos altos

Exigencias al sistema de explotación: Las bombas de cangilones son bombas que trabajan sólo en pozos verticales y no en pozos inclinados o rampas. Además se usan bastante en el bombeo de pulpas en el beneficio (Bomba a cangilones o ruedas elevadoras).

Aparato que puede reemplazar: otros sistemas de bombeo

Divulgación regional: antes, técnica bastante divulgada; actualmente, para fines de transporte de agua en Africa.

Experiencia del operador: muy buena mala

Contaminación ambiental: intensiva en energía baja muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena mala

Bajo qué condiciones: Talleres metal-mecánicos, utilizando cables de acero, cadenas metálicas, cintas o barras metálicas, sogas de material plástico o de fibras naturales y cangilones de material plástico, de metal o de madera

Tiempo de vida: muy largo muy corto

Literatura, Fuente: DBM, Cancrinus, Agrícola

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En esta clase de bombas los cangilones están fijos a dos cables o cadenas circulantes. Estos se sumergen en la parte más honda de la bomba en el depósito a bombear y se llenan por sí solos. Una vez que los cangilones han llegado al eje motriz superior se vacían por sí solos en una canaleta de descarga. Debido al buen equilibrio de peso entre el ramal cargado y el vacío, se emplea energía sólo para vencer la fricción y para levantar el peso del agua.

## 4.4 BOMBA DE CANGILONES

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Desagüe

### OBSERVACIONES:

Los sistemas de bombeo a cangilones en el Harz y en otras minas de Europa Central tuvieron la capacidad de funcionar hasta en profundidades de 150 m y por lo general fueron accionados por medio de instalaciones motrices a agua (rueda hidráulica).

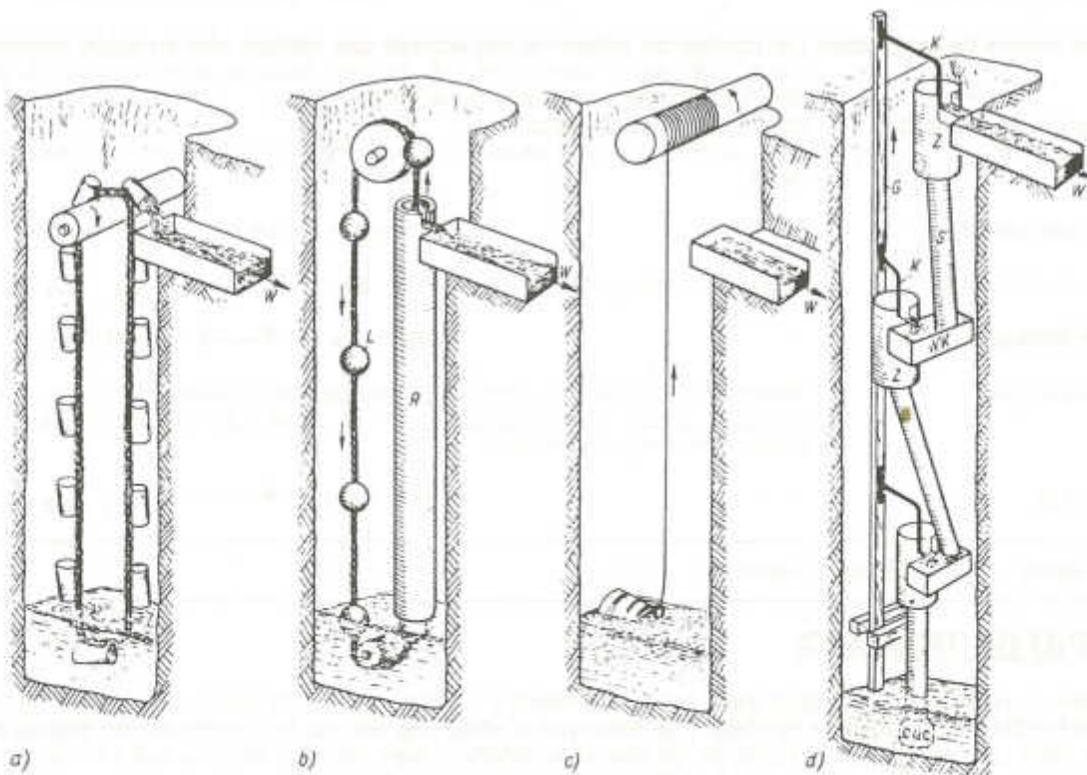
A diferencia de la bomba de mecate, la bomba a cangilones no se mueve en vacío cuando sistema motriz está detenido.

La fuerza motriz se puede regular según la cantidad de cangilones a transportar.

Para vencer pequeñas diferencias de altura se emplean a menudo las bombas a cangilones en el beneficio debido a que ellas, en relación a las otras bombas, pueden transportar pulpas con altos porcentajes de sólidos sin sufrir muchas averías (en funcionamiento hasta ahora, por ejemplo en el beneficio de estaño en Altenberg/Sachsen).

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Aparato para desagüe, sencillo y localmente construible que se emplea en forma práctica para transportar pocas cantidades a grandes alturas y que puede funcionar con instalaciones motrices lentas.

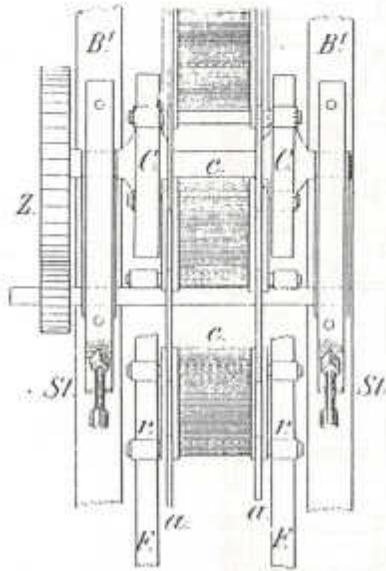


Dib.: Diferentes formas de máquinas para desagüe, según Agrícola: a) Elevador de cangilones o elevador de bidones; b) Heinzenkunst; c) Transporte con botas; d) Bomba de émbolo. Fuente: Wagenbreth

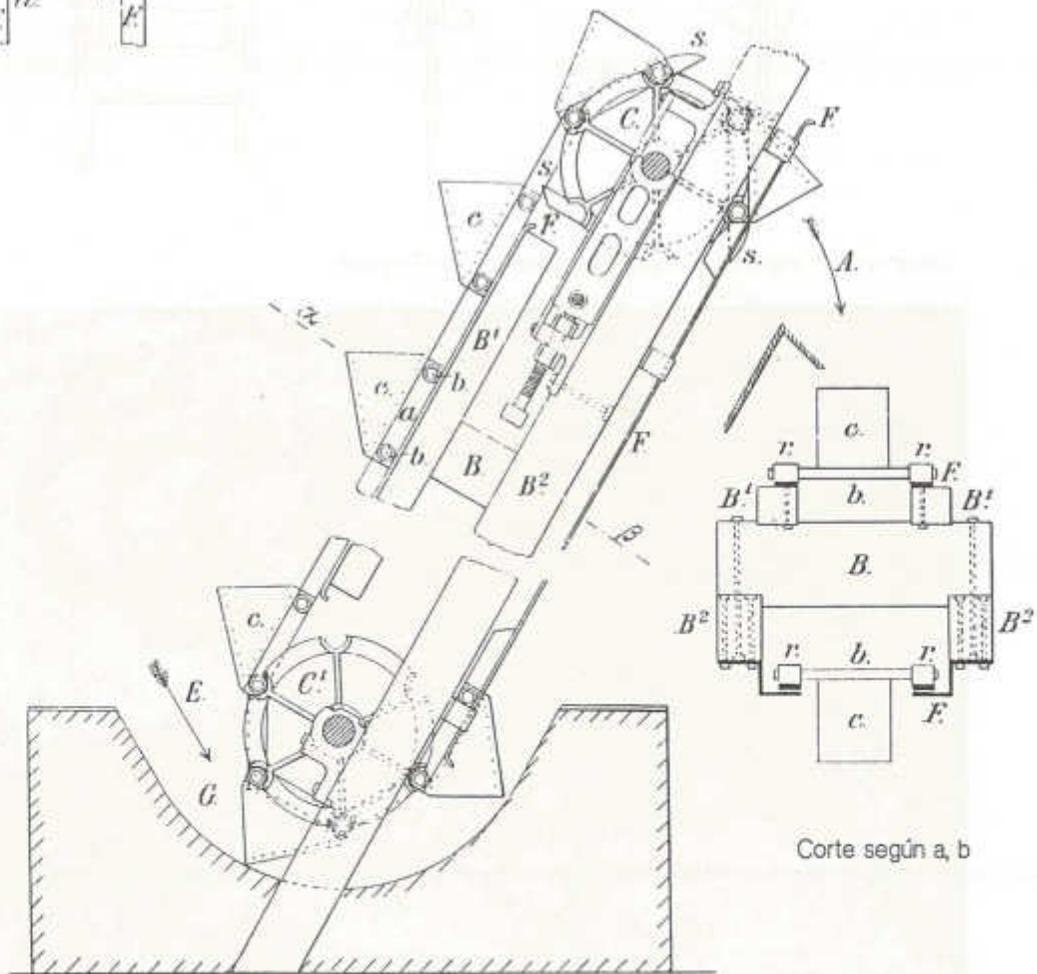
4.4 BOMBA DE CANGILONES

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Desagüe



Vista frontal



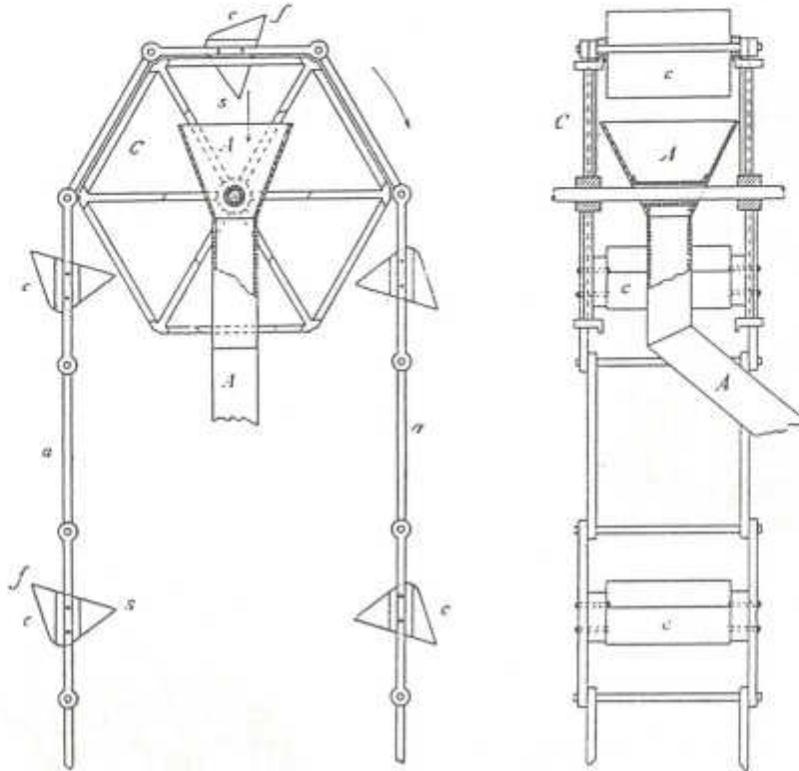
Vista lateral

Dib.: Elevador a cangilones en el beneficio, de Treptow

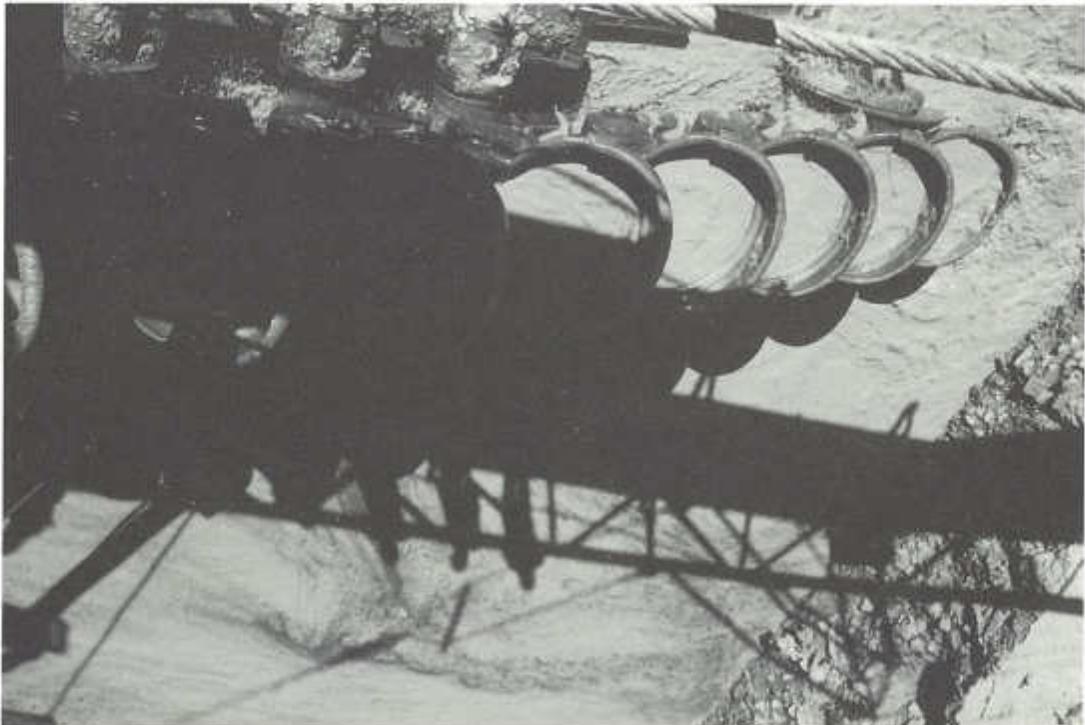
#### 4.4 BOMBA DE CANGILONES

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Desagüe



Dib.: Elevador de cangilones vertical en el beneficio, de Treptow



Cadena de cangilones en una excavadora de cucharón en la minería aluvial de estaño, Avicaya, Lago Poopo, Bolivia

## 4.5 BOMBA NEUMÁTICA DE TRANSPORTE Y DE ALTA PRESIÓN

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Desagüe

Español:	bomba neumática de alta presión
Inglés:	high pressure pneumatic pump
Aleman:	Pneumatische Förder- und Hochdruckpumpe
Fabricante:	Atlas Copco, Pleiger

### DATOS TÉCNICOS:

Medidas:	40 x 40 x 60 cm largo, ancho, alto
Peso:	25 - 50 kg
Tipo de energía motriz:	neumática
Posibilidades alternativas:	ninguna
Forma de trabajo:	como bomba centrífuga, de membrana o diferencial
Materiales:	
Cuát:	aire a presión (6 bar)
Cantidad:	2 - 4 m <sup>3</sup> /min

### DATOS ECONÓMICOS:

Costos de inversión:	principalmente costos de energía
Costos derivados:	tubería para aire comprimido, tubería para el transporte (manguera de bombero o tubos)

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar de operación:	ninguna limitación; sin embargo la elección de la bomba se hace según la calidad del agua: la centrífuga y la de membrana para agua sucia, la centrífuga para agua clara.		
Aparato que puede reemplazar:	otros sistemas de bombeo y de transporte de agua		
Divulgación regional:	mundialmente		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
	debido al bajo peso por unidad de potencia y la escasa propensión a averías		
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
	poca contaminación por aceite debido al aire a presión		
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Información de empresas

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Para el desagüe de interior mina se encuentran a disposición una gran variedad de bombas, que siendo bombas neumáticas se orientan a la oferta de energía de aire comprimido existente en interior mina.

Según la clase de líquido a transportar, la altura y la cantidad deseada a bombear, se emplean bombas axiales, radiales, de émbolo o de membrana. Las dos primeras clases de bombas son máquinas turbinas que proporcionan energía al agua mediante la aceleración. Las presiones de trabajo creadas permiten el bombeo sólo de pequeñas a medianas alturas. Las cantidades circulantes son comparativamente altas.

Las bombas de expulsión (bomba de émbolo y de membrana) expulsan el agua de su cámara debido a la disminución de su volumen. Sobre todo con las bombas de émbolo se pueden alcanzar altas presiones.

## 4.5 BOMBA NEUMÁTICA DE TRANSPORTE Y DE ALTA PRESION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Desagüe

### FORMAS DE EMPLEO:

Las bombas neumáticas se emplean para el desagüe tanto en interior mina como en la superficie, para el abastecimiento con líquido hidráulico, para bombear explosivos gelatinosos, etc.

### OBSERVACIONES:

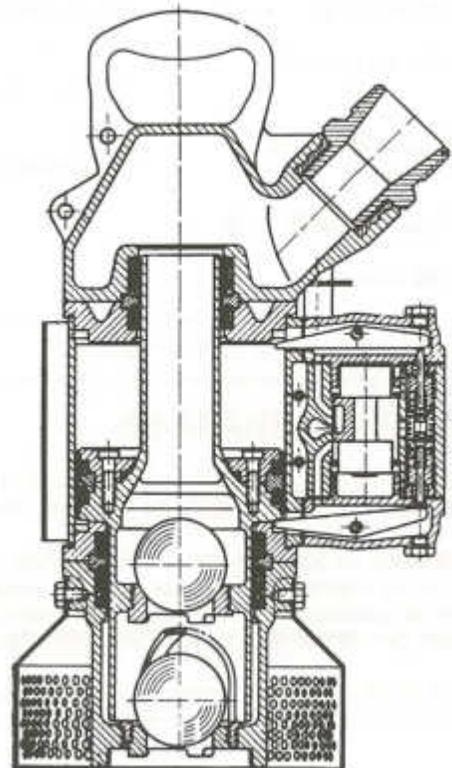
Las máquinas turbinas como bombas generalmente no llevan válvulas de retención, o sea que en éstas el agua del tubo de transporte regresa cuando se apaga el sistema motriz. Las bombas de émbolo, por razones constructivas disponen de válvulas, o sea que en ellas el líquido no tiene la posibilidad de devolverse.

Las bombas de émbolo y de membrana pueden trabajar también como bombas de succión, sin embargo la máxima altura a aspirar no debe ser mayor a 5 m.

Para las minas en las que no existe una infraestructura para la oferta de aire a presión, fuera de los sistemas neumáticos expuestos, también se pueden utilizar bombas eléctricas o incluso a motores a combustión. Estas, sin embargo, en relación a la seguridad de operación, son inferiores a las bombas neumáticas.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Las bombas neumáticas para operaciones mineras neumáticamente mecanizadas son empleadas universalmente debido a su alta seguridad de operación, a su bajo peso por unidad de potencia, a su técnica robusta y a su fácil movilización.



Dib.: Corte de bomba sumergible para el desagüe.  
Información de la Empresa Pleiger.

## Capítulo técnico 5: Entibación

### 5.1 ENTIBACION RIGIDA EN GALERIA Y EXPLOTACION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Entibación

Español: enmaderación  
Aleman: Starrer Ausbau in Strecke und Abbau

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: según la sección de la galería  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Posibilidades alternativas: eventualmente, sierra de cadena neumática para el dimensionamiento de los cabezales y postes (estemples), aparato de soldadura para la entibación de acero, por ejemplo de rieles viejas, soplete cortador.  
Materiales: Madera, eventualmente sales de impregnación, por ejemplo: sal de cocina, vitriolo de hierro (sulfato ferroso), vitriolo de cobre (sulfato de cobre), cloruro de mercurio, cloruro de zinc.  
Cuál: grandes cantidades  
Cantidad:

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: muy variables, dependientes de la situación de la operación minera, costos de la madera, costos de transporte, calidad de la madera, etc.  
Costos derivados: eventualmente de la sierra de cadena neumática (por ejemplo: de Spitznas) para la entibación de madera, soplete cortador para la entibación de acero.

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos |-----|■-----| altos  
Gastos de mantenimiento: bajos |■-----|-----| altos  
Aparato que puede reemplazar: todas las otras clases de entibación  
Divulgación regional: mundialmente  
Experiencia del operador: muy buena |■-----|-----| mala  
Contaminación ambiental: baja |-----|■-----| muy alta  
en caso de entibación con madera, dañino en la vegetación  
Facilidad de fabricación local: muy buena |■-----|-----| mala  
Tiempo de vida: muy largo |■-----|-----| muy corto  
las portadas de acero son reutilizables

Literatura, Fuente: Bansen, Fritzsche, Treptow

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La entibación de cuadros o de portada consta de dos postes (estemples) y un cabezal de madera o de acero. Según la unión del poste y el cabezal, se tienen diferentes calidades de soporte:

La **portada alemana** se caracteriza por los ensambles (empalme) de los postes y el cabezal. Estos ensambles hacen que esta clase de portada pueda soportar presiones tanto verticales como horizontales. Según la relación de las presiones esperadas, el empalme se regula más para la presión vertical o para la presión horizontal. Para aumentar la resistencia a la compresión se colocan los postes con la parte ancha hacia arriba.

La **portada polaca** se caracteriza por la simple colocación del cabezal sobre las puntas acanaladas de los postes. Esta clase de entibación no soporta las presiones horizontales.

La **portada silesiana** está asegurada contra las presiones horizontales por medio de un puntal acuñado colocado debajo del cabezal entre los dos postes.

## 5.1 ENTIBACION RIGIDA EN GALERIA Y EXPLOTACION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Entibación

Para mayor estabilidad se fijan las portadas entre sí con pernos. Las distancias a las que se colocan éstos varían desde pocos centímetros hasta cerca de 1.5 m, de acuerdo a las condiciones de las presiones esperadas. En estratificaciones inclinadas se colocan de tal manera que los postes estén de acuerdo al banco.

### **OBSERVACIONES:**

Para la entibación se emplea siempre madera de fibra larga, por ejemplo: abeto rojo, abeto, otras maderas coníferas, eucaliptus. Estas se astillan lentamente cuando se sobrepasa su capacidad portante y sus crujidos advierten a los mineros. Las maderas de fibra corta se rompen sin cambios previos lentos, visibles ni audibles. Para fines de entibación siempre se prefieren maderas densas, ricas en resinas y de crecimiento lento. Para actividades mineras a largo plazo, la madera para la mina debe ser plantada en las cercanías de ella.

Las entibaciones de madera para labores mineras húmedas, sobre todo para la entibación de pozos de ventilación expelente o en galerías trazadas en rocas fuertemente saturadas de agua, deberán ser primeramente tratadas con impregnantes. Esta impregnación se lleva a cabo mediante la inmersión en soluciones especiales, por ejemplo: sal romana, sulfato de cobre o similares, bajo presión o sin presión.

La entibación de madera por regla no es reutilizable. Sólo se emplea de nuevo la madera de la entibación simple de los lugares de arranque que a veces es rescatada para pequeños pilares, revestimientos, trancas o postes de madera. Cuando se necesita entibar mucho, por ejemplo en minas de roca no consistente, las entibaciones influyen bastante en los resultados económicos de la empresa. En este caso, la entibación a fricción o estemples a fricción, de altos costos de inversión, puede reducir marcadamente los costos de operación debido a que son elementos de entibación reutilizables.

La entibación de portada es la manera más sencilla de asegurar el techo en zonas no consistentes (por ejemplo: zonas de fallas) y aumenta en alto grado la seguridad de las operaciones. La entibación de portadas conduce a altas pérdidas en la ventilación artificial de las galerías debido a su resistencia a la corriente de aire.

Fuera de los tipos de entibación para galerías, exclusivamente de madera, existen formas mixtas de madera y acero como también portadas de acero puro o entibaciones en arco y entibaciones en arco flexible con perfiles acanalados de acero (también muy divulgada).

Alternativamente para la fortificación de galerías es útil la mampostería de bóvedas seca o cementada. Se distinguen bóvedas longitudinales que requieren de una costosa preparación para los machones a ambos lados de las galerías (ya sea en forma de profundas acanaladuras o murallas de contención) o bóvedas transversales en las cuales existen machones sólidos como arcos de bóveda mampostados con varios metros de entre espaciamentos, los cuales luego son construídos como bóvedas transversales. Los costos de la mampostería de bóvedas son extremadamente altos y solamente se justifican para galerías que deberán estar en servicio por mucho tiempo. La entibación en el arranque se lleva a cabo como entibación con postes individuales (ver 5.2).

### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERIA:**

Como entibación auxiliar rápida y sencilla, reutilizable en el arranque y galerías, se caracteriza por su alta estabilidad. La oferta local de madera influye fuertemente en los costos. En regiones con vegetación escasa se debe renunciar a la entibación de madera debido a la destrucción de la vegetación, ligada a esta actividad.

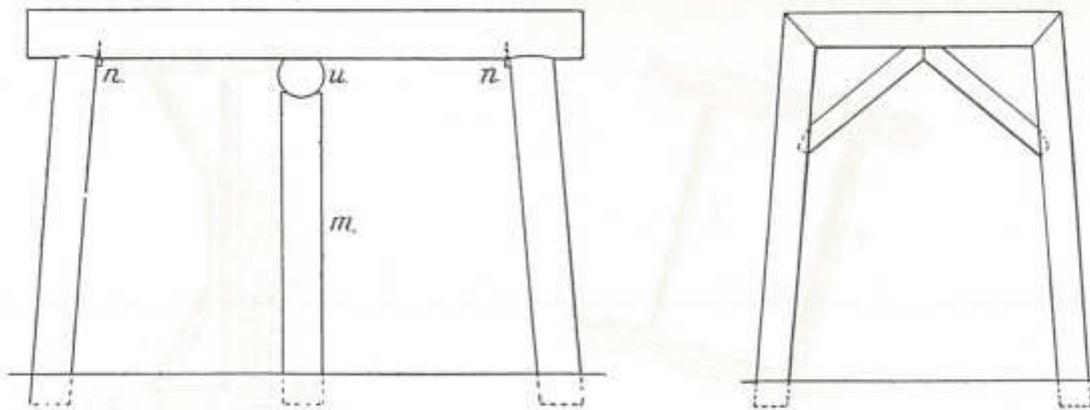
# 5.1 ENTIBACION RIGIDA EN GALERIA Y EXPLOTACION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Entibación



Portada sin revestimiento en un piso de estratificación empinada. Minería del carbón en la región del Rio Checua, Cundinamarca, Colombia



Dib.: Portada polaca y sueca, de Treptow

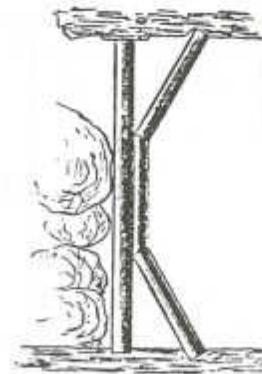
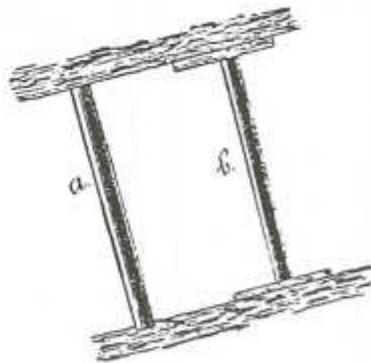
## 5.1 ENTIBACION RIGIDA EN GALERIA Y EXPLOTACION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Entibación



Entibación de madera apuntalada con un sostén en un espacio abierto por el arranque en una pequeña mina de carbón en estratificación empinada. Región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia.

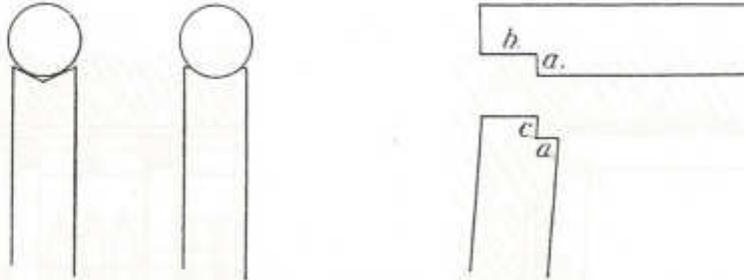


Dib.: Entibación de postes de madera individuales; izquierda: a) poste simple b) poste con puntal al techo y al piso; derecha: poste acuñado lateralmente, de Treptow

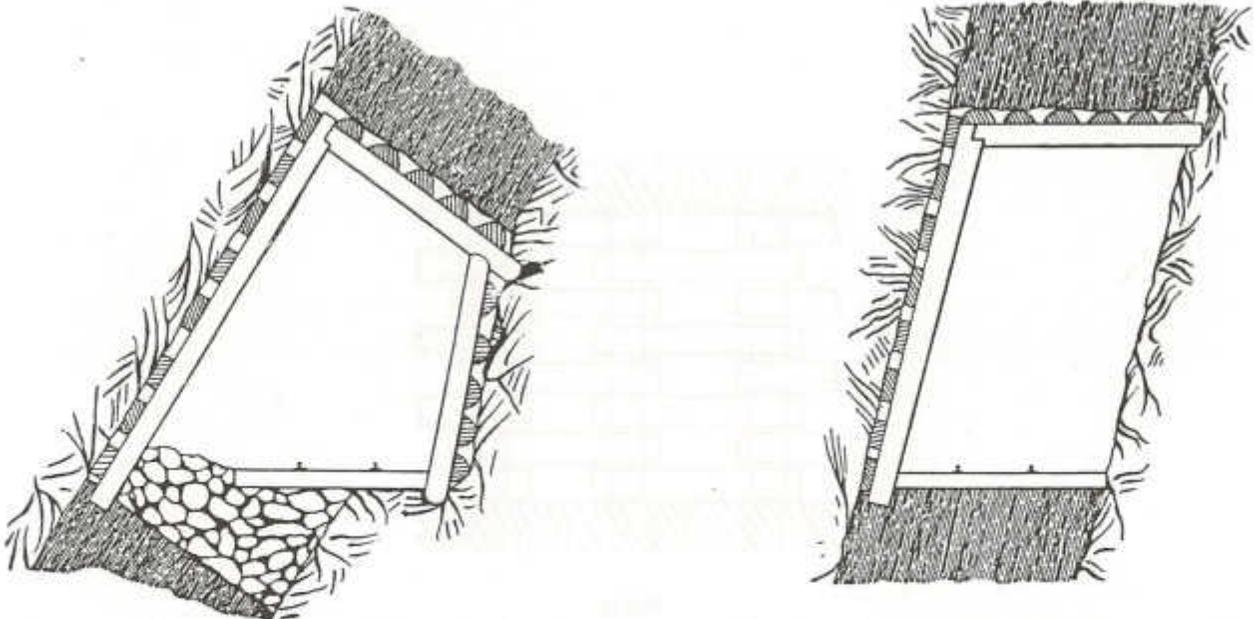
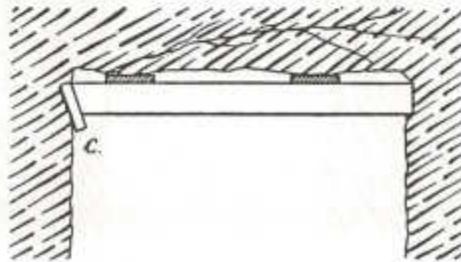
## 5.1 ENTIBACION RIGIDA EN GALERIA Y EXPLOTACION

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Entibación



Dib.: Conjunto, unión entre poste y cabezal en la portada polaca (izquierda) y empalme de poste y cabezal en la portada alemana (derecha), de Treptow

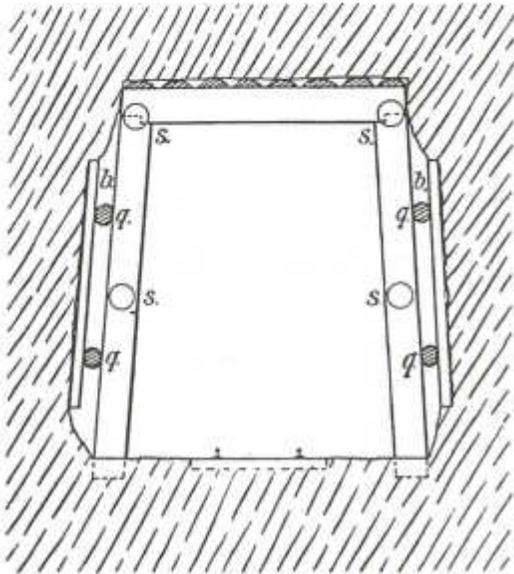


Dib.: Diferentes formas de entibación sencilla de madera para distintas condiciones de estratificación, de Treptow

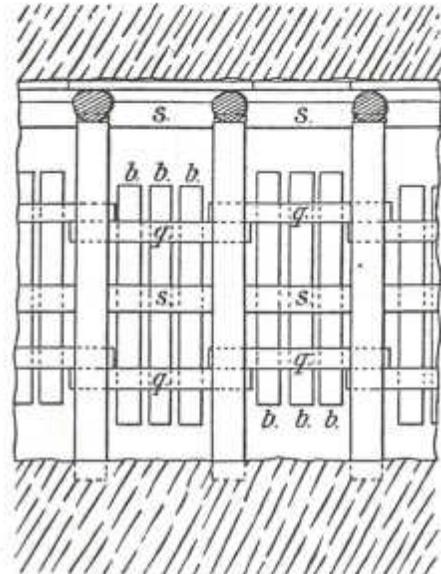
**5.1 ENTIBACION RIGIDA EN GALERIA Y EXPLOTACION**

Trabajos subterráneos en general

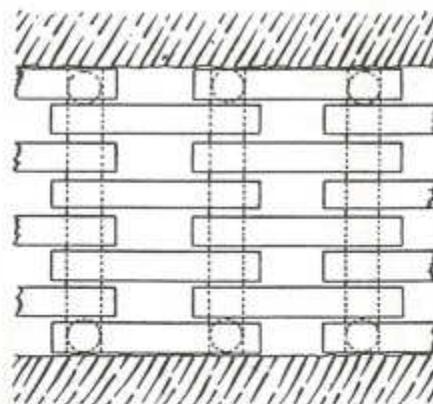
Minería subterránea  
Entibación



Corte transversal



Corte longitudinal



Planta

Entibación de portada alemana con refuerzos, revestimiento corriente del techo y revestimiento jaula a los costados

Dib.: Revestimiento de la portada alemana en la galería, de Treptow

## 5.2 ESTEMPLE INDIVIDUAL/MECANICO

Trabajos subterráneos en general  
(Carbón)

Minería subterránea  
Entibación

Español: estemple individual mecánico  
Aleman: Einzelstempelausbau/mechanisch

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: desde 0.63 m - 3.15 m de longitud  
Peso: 10 - 50 kg  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Tipo de energía motriz: manual  
Forma de trabajo: intermitente

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: según el material usado  
Costos de operación: bajos  
Costos derivados: ninguno, para la instalación sólo son necesarios combos y cabezales de madera o de rieles de acero

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	■ -----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■ -----	altos
Exigencias al personal:	bajas		
Exigencias al lugar de operación:	apto para lugares pobres en madera		
Aparato que puede reemplazar:	entibación de madera, etc.		
Experiencia del operador:	muy buena	■ -----	mala
Contaminación ambiental:	baja	■ -----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	■ -----	mala
Bajo qué condiciones:	taller metal-mecánico		
Tiempo de vida:	muy largo	■ -----	muy corto

Literatura, Fuente: Bansen, Fritzsche, Woodruff

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En la entibación mecánica con estemples individuales, las partes de éste se deslizan mecánicamente en forma telescópica una dentro de otra y se apuntalan entre el piso y el techo, generalmente entre el piso y un cabezal. Respecto a su principio de trabajo se diferencian entre estemples rígidos y estemples elásticos. Los primeros, por ejemplo estemples a rosca y estemples de nonio, pueden reaccionar al aumento de presiones de roca solamente si el cabezal de madera permite deformaciones, se destrozan si se sobrepasa la carga de rotura. En el caso de los estemples elásticos si se sobrepasa la carga nominal sus partes se deslizan una dentro de otra. Esto se puede lograr mediante sistemas de fricción (estemples a fricción) o por la introducción de elementos compresibles (por ejemplo: estemples con turba).

### **OBSERVACIONES:**

Flexible, debido a las posibilidades ilimitadas de reutilización.

Diferentes formas de construcción: - Estemple de nonio / Estemple de avance  
- Estemple a fricción  
- Estemple a rosca / Estemple de avance

## 5.2 ESTEMPLE INDIVIDUAL/MECANICO

Trabajos subterráneos en general  
(Carbón)

Minería subterránea  
Entibación

Construibles eventualmente de partes de chatarra, por ejemplo de rieles de ferrocarril.

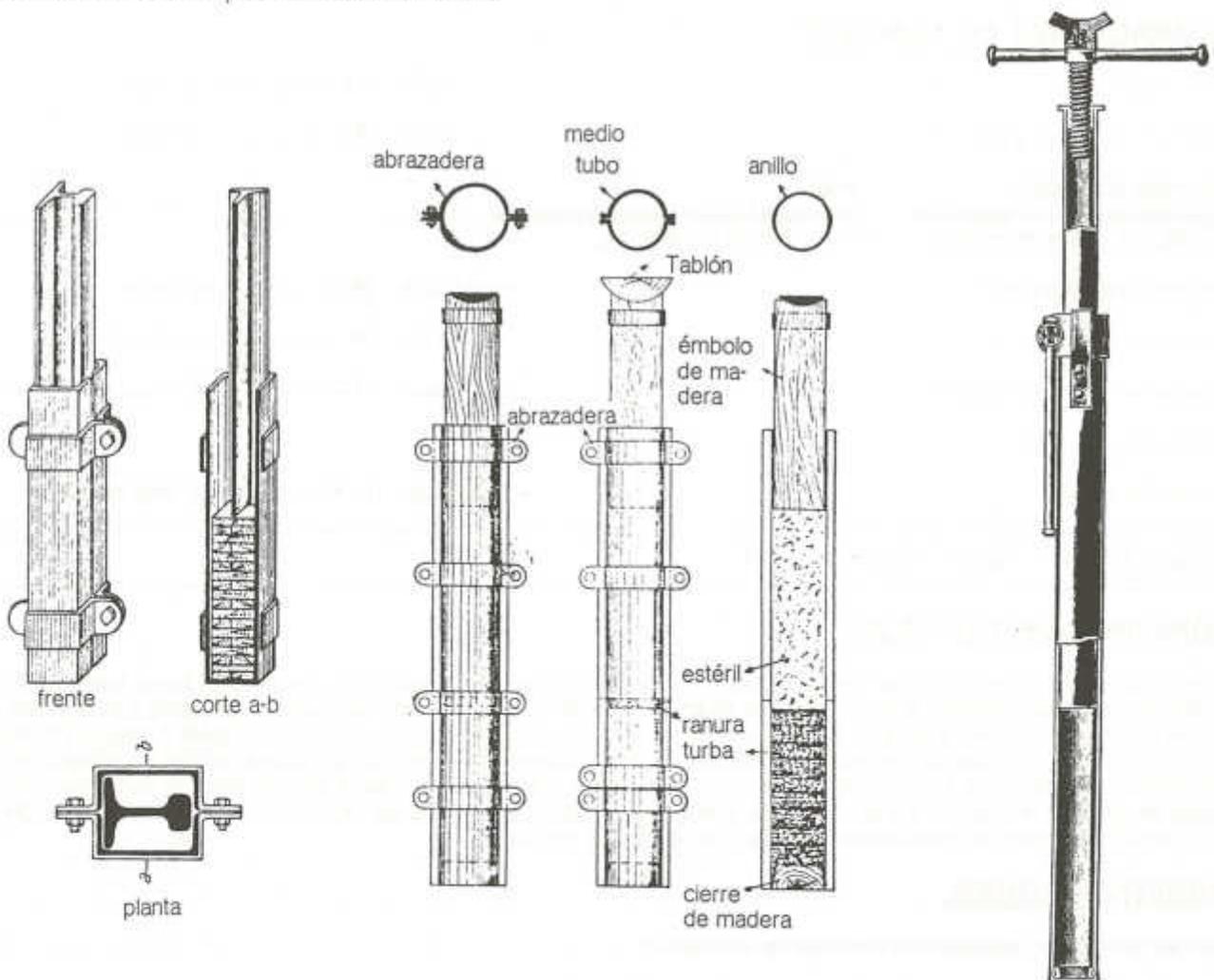
A menudo es un problema que los estemples mecánicos individuales sean colocados con poca tensión de emplazamiento debido a que no pueden ser colocados como los de madera, golpeando su cabeza hasta encajarlos en su sitio. Diferentes dispositivos de instalación mecánica facilitan el proceso de emplazamiento.

Mientras más pequeño sea el tubo telescópico del estemple menor será el sometimiento al esfuerzo de flexión de éste y mayor será su tiempo de vida.

El empleo de la entibación con estemples individuales mecánicos tiene problemas en los yacimientos de espesores fuertemente variables; es necesaria una aclaración previa exacta para poder determinar la longitud apropiada del estemple a usar a largo plazo. Esto limita bastante su aplicación en la Pequeña Minería.

### APLICACION PARA LA PEQUEÑA MINERIA:

El uso de la entibación con estemples mecánicos individuales, como entibación reutilizable, es práctico en el arranque cuando partes del yacimiento deben ser aseguradas contra una presión de roca comparativamente baja. Las escasas tensiones de emplazamiento son una marcada deficiencia de la técnica, la cual es inferior especialmente si se compara con el uso del mismo número de estemples hidráulicos individuales.



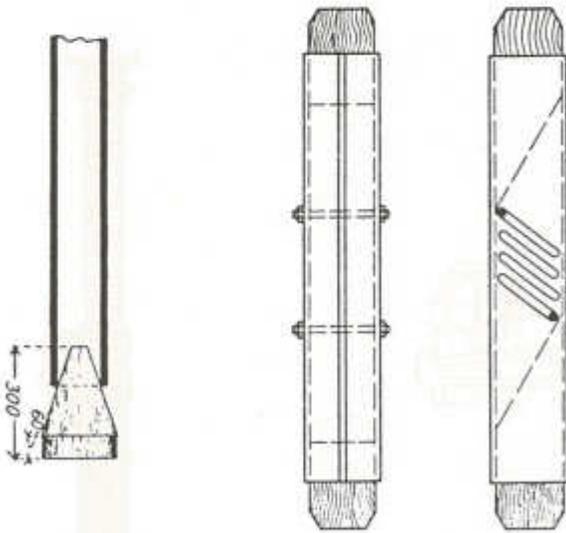
Dib.: (arriba): Estemple flexible sencillo con rellenos compresibles (derecha: de turba, izquierda: de madera), Fuente : Bansen

Dib.: (derecha): Estemple a rosca con elementos de fricción, Fuente: Bansen

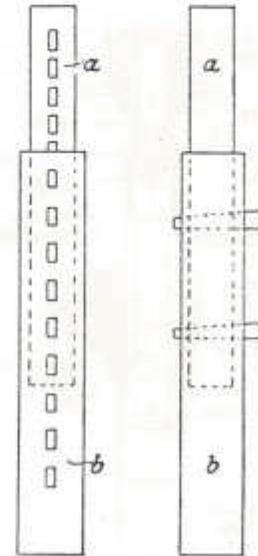
5.2 ESTEMPLE INDIVIDUAL/MECANICO

Trabajos subterráneos en general (Carbón)

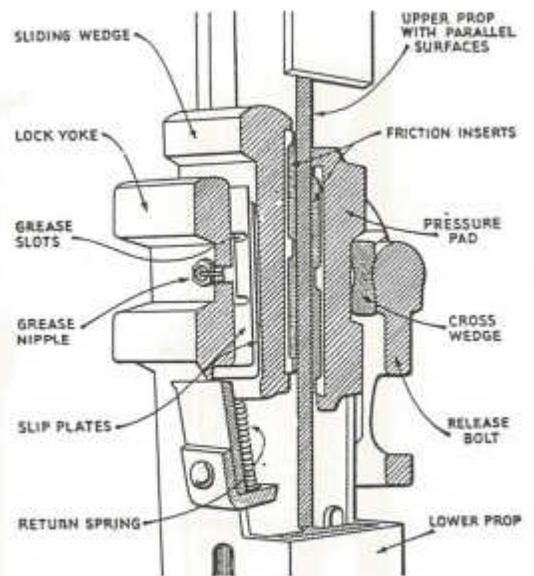
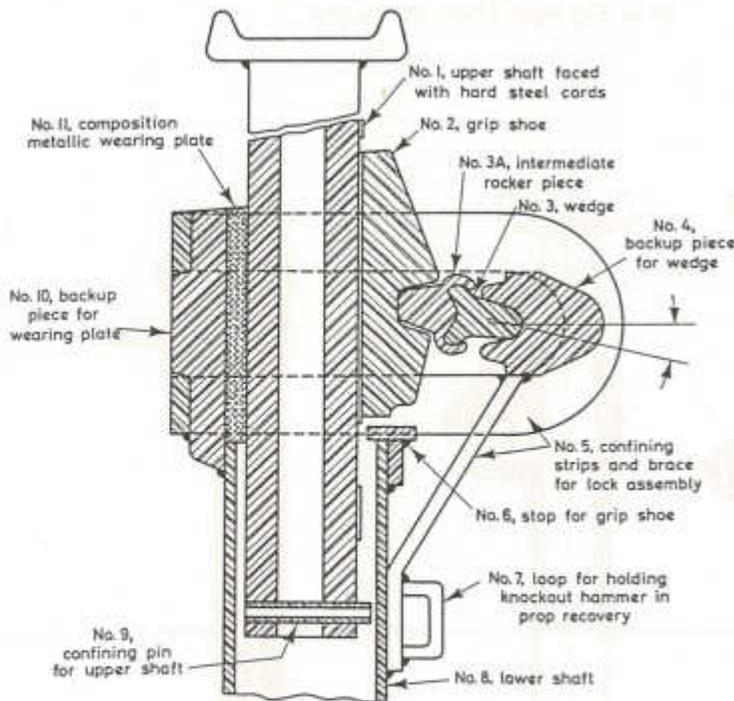
Minería subterránea Entibación



Dib.: Modelo de estempe con elementos compresibles de madera, según Bansen



Dib.: Estempe de nonio, en el cual el nonio sirve para aumentar la tensión de emplazamiento del, en otro caso, estempe rígido.

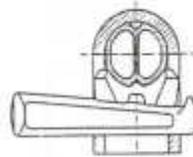
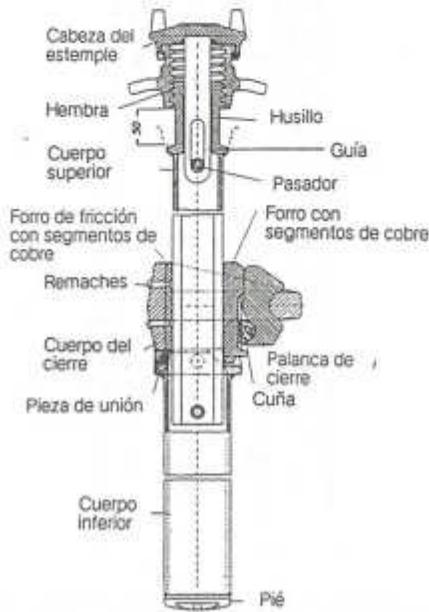


Dibs.: Elementos de fricción de estempes modernos a fricción, de Woodruff

**5.2 ESTEMPLE INDIVIDUAL/MECANICO**

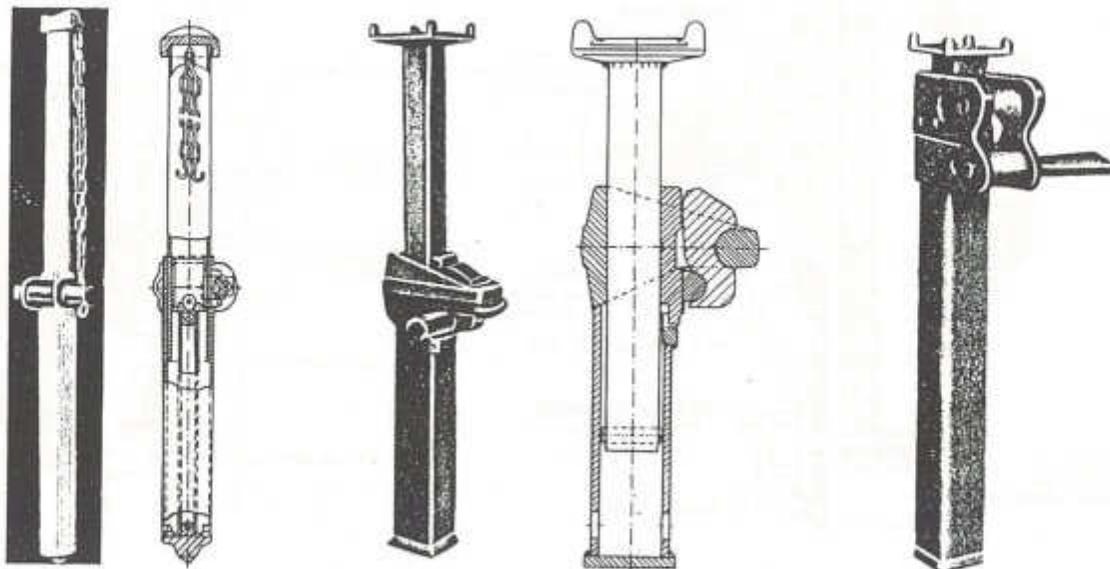
Trabajos subterráneos en general  
(Carbón)

Minería subterránea  
Entibación



Dib.: Corte de un Estempe Duplex, arriba con cabeza a tornillo y abajo con segmentos de fricción, de Reuther

Dib.: Corte (izquierda) y vista perspectiva (derecha) de un Estempe a cuña, de Reuther



Dib.: Diferentes formas de Estempes a fricción de construcción alemana, de Woodruff

### 5.3 ESTEMPLE INDIVIDUAL/HIDRAULICO

Trabajos subterráneos en general  
(Carbón)

Minería subterránea  
Entibación

Español:	estemple hidráulico
Inglés:	hydraulic prop
Aleman:	Einzelstempelausbau/hydraulisch
Fabricante:	Salzgitter, DeBeSa

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	650 mm - 3.600 mm en forma introducida , 675 - 5.000 en forma telescópica
Peso:	de acero: 42 - 240 kg/estemple + 4 - 18 kg de las piezas de prolongación; de metal ligero: 25 - 65 kg
Grado de mecanización:	mecanizado totalmente en caso de existir un sistema central de distribución y bombeo del líquido hidráulico; no mecanizado en caso de existir un sistema de bombeo manual (interno o externo) para el estemple.
Clase de energía motriz:	para la obtención de la presión hidráulica: bomba eléctrica o neumática
Producción/Rendimiento:	tiempo de colocación: 10 - 15 seg
Materiales:	
Cuát:	aceite en emulsión de agua      agua pura (DeBeSa)
Cantidad:	2 - 4 % aceite en agua, pH 5 - 8, dH hasta 15

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	alrededor de 1,2 - 4 veces el valor de los estemples a fricción (ver 5.2)
Costos de operación:	alrededor del 50 % de los costos de la entibación tradicional de madera
Costos derivados:	bomba hidráulica de alta presión (aprox. 200 bar) con pistolas para el asentamiento, cabezales.

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:      bajos |■|————| altos

Gastos de mantenimiento:      bajos |■|————| altos

Exigencias al sistema de explotación: Los estemples hidráulicos se emplean principalmente en la minería del carbón escasamente mecanizada o parcialmente mecanizada, sin embargo también se emplean en la minería metálica, en la minería de rocas y suelos, etc. Incluso en las minas totalmente mecanizadas todavía se emplean debido a su flexibilidad y variado uso para la entibación especial, por ejemplo en las zonas de fallas geológicas, extremos de los tajos, etc.

Aparato que puede reemplazar: entibación de madera, estemple de fricción  
Divulgación regional: mundialmente, sobre todo en la minería del carbón

Experiencia del operador:      muy buena |■|————| mala

Contaminación ambiental:      baja |■|■|■|————| muy alta

Los estemples convencionales contaminan fuertemente las aguas de mina y de los cauces debido al aceite en emulsión de agua como líquido hidráulico. Los estemples de tubos de acero adheridos, de la empresa DeBeSa, utilizan agua pura como líquido hidráulico y por lo tanto contribuyen a la protección del medio ambiente.

Bajo qué condiciones: El montaje y la reparación de los estemples hidráulicos adheribles DeBeSa es posible en talleres relativamente sencillos.

Tiempo de vida:      muy largo |■|————| muy corto

La larga duración y la reutilización, unidos a la posibilidad de cambio de los elementos dañados, posibilitan largos tiempos de uso.

Literatura, Fuente: Información de la firma Salzgitter, Información de la firma DeBeSa, Fritzsche, Woodruff

### 5.3 ESTEMPLE INDIVIDUAL/HIDRAULICO

Trabajos subterráneos en general  
(Carbón)

Minería subterránea  
Entibación

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Los estemples hidráulicos individuales consisten en un cilindro de trabajo hermético con dos válvulas, una para la admisión (válvula para el asentamiento) y otra para el escape (válvula de desentibación, válvula de trabajo) del líquido hidráulico. Para un mejor sostén la parte superior está provista de garras y la inferior de un pie. La tarea de los estemples individuales hidráulicos es de entibar el techo inestable. El estempe instalado se fija al techo haciendo subir su cuerpo interno mediante el líquido hidráulico sometido a presión por medio de una pistola y apuntalado con cierta tensión de emplazamiento que puede ser ajustada a las condiciones correspondientes a la presión de roca. Al alcanzar la fuerza nominal en el emplazamiento o luego de movimientos de roca, la válvula de trabajo reacciona y abre el cilindro. Esta flexibilidad evita la destrucción de la entibación debida a altas presiones de roca. La entibación óptima se alcanza con una combinación de cabezales articulados, los cuales distribuyen las fuerzas sobre una mayor superficie del techo. Para rescatar la entibación se abre la válvula de rescate con una llave, el líquido hidráulico se vacía y el estempe se achata mediante un resorte instalado. De esta manera queda listo para ser nuevamente utilizado.

#### **FORMAS DE EMPLEO:**

La entibación con estemples hidráulicos individuales se aplica de manera práctica y económica solamente en aquellos lugares donde el sostén del techo quebradizo o inestable se debe ajustar a las condiciones rápidamente cambiables de la explotación. Los tiempos cortos de emplazamiento y a menudo cambiables, debido a avances rápidos de frentes de trabajo como también a presiones de asentamiento, hacen que la entibación con estemples individuales hidráulicos sea práctica. Estas condiciones extremas impuestas se dan en la minería del carbón en la explotación por hundimiento y con relleno, en la explotación de frentes largos (tajo largo) en huecos y en cámaras, como también en la minería metálica en la explotación por testeros. Además los estemples hidráulicos individuales se emplean en forma práctica en todos los casos de trabajos especiales de la entibación, por ejemplo en la entibación de fallas, salones para instalaciones de máquinas, transiciones de tajos a galerías.

#### **OBSERVACIONES:**

La entibación con estemples hidráulicos individuales puede aportar decisivamente, en los casos arriba mencionados, al cuidado de valiosos recursos, reemplazando la entibación tradicional de madera. La sustitución de la entibación de madera, por regla no reutilizable (por ejemplo en Turquía, más de 1 m<sup>3</sup>/20 t de carga aprovechable), puede conducir a una disminución en los costos de operación mediante el uso de estemples reutilizables.

La desventaja en su empleo en minas de espesores fuertemente variables es, al igual que en los estemples mecánicos a fricción, la limitación de la longitud de trabajo hacia arriba y hacia abajo.

Debido a la gran fuerza de emplazamiento de los sistemas de entibación hidráulico se puede rebajar de cinco a diez veces la densidad de los estemples colocados debido al aumento de la separación entre los estemples.

La empresa DeBeSa se preocupa por satisfacer las necesidades de la minería en los países en desarrollo con sus productos (estemples individuales y cabezales articulados):

- El montaje y la reparación pueden ser realizados por fuerzas laborales locales. Los costos de instalación de un taller de montaje y reparación ascienden solamente al 10 % de los componentes usuales a construir.
- El valor alcanzado por la fabricación local de aprox. 30 % protege el presupuesto de divisas del país.
- En comparación con la entibación de madera ampliamente divulgada se pueden economizar costos en más del 50 %.
- El capital para un sistema de entibación altamente desarrollado y complejo ya no es necesario.
- Mediante el empleo de uniones de adhesión, el modo de construcción modular permite el cambio de partes dañadas y por medio de ello un aumento del tiempo de vida de los demás elementos.
- Los costos de almacenamiento se reducen aproximadamente en un 70 % debido a la limitación de almacenar pocos elementos estandarizados en sus componentes de construcción.

La desventaja de los estemples hidráulicos son los altos costos derivados de la preparación y la distribución de los líquidos de alta presión (bomba de alta presión neumática o eléctrica, tanque para el líquido, mangueras de alta presión, pistola de presión, etc.).

Esta desventaja no la tienen los estemples instalados mediante una bomba manual móvil. Estos estemples se utilizaban antes en Alemania y aún están en uso en los países anglosajones. El líquido hidráulico se comprime desde el cilindro superior (cilindro depósito) hacia el cilindro inferior (cilindro de trabajo) mediante la bomba manual. De esta manera el estempe se parece al gato hidráulico de un automóvil.

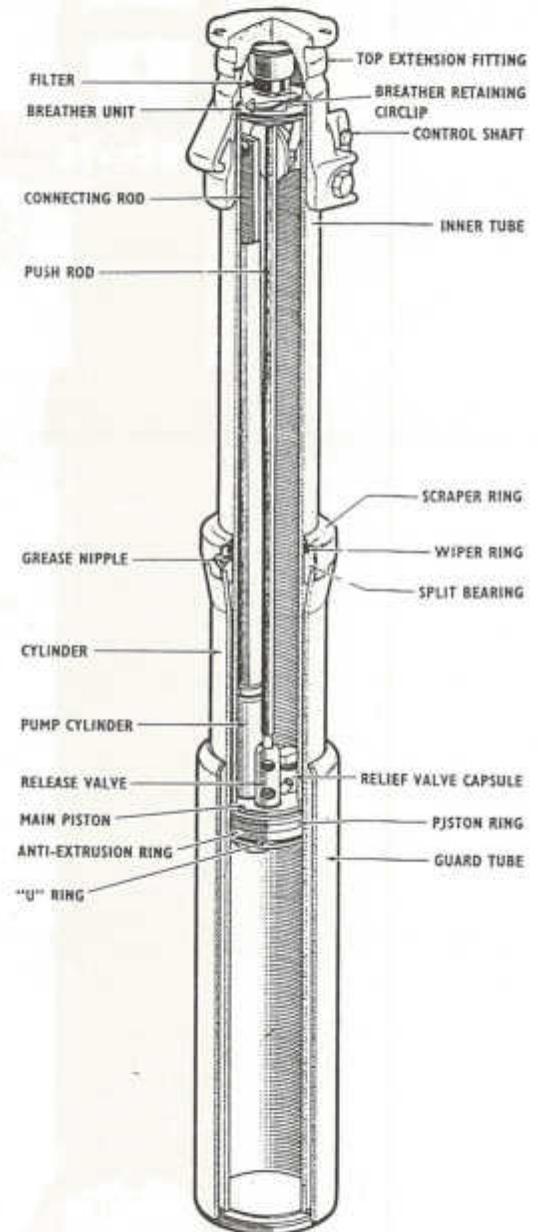
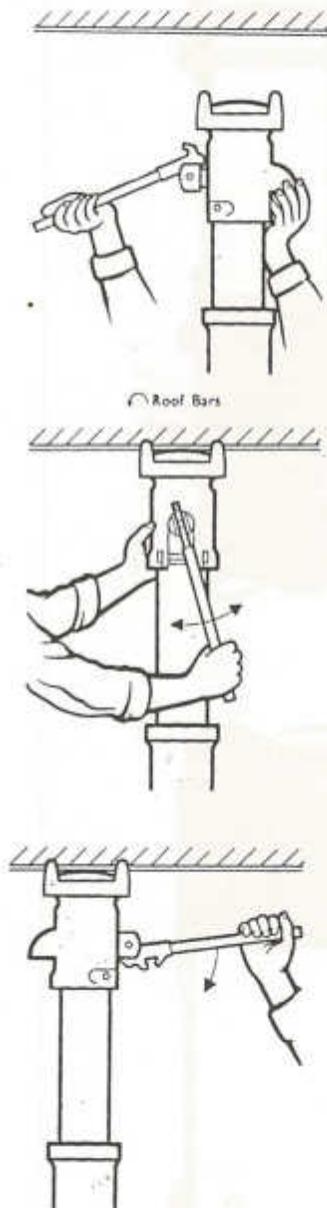
### 5.3 ESTEMPLE INDIVIDUAL/HIDRAULICO

Trabajos subterráneos en general  
(Carbón)

Minería subterránea  
Entibación

#### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERIA:

El tipo de sistema de estemples influye en los costos derivados. Los estemples sencillos, fáciles de manejar manualmente representan una alternativa a la entibación con madera. Los estemples individuales hidráulicos con un sistema de bombeo externo se amortizan solo si se utilizan en grandes cantidades debido a los altos costos derivados del equipo auxiliar necesario.

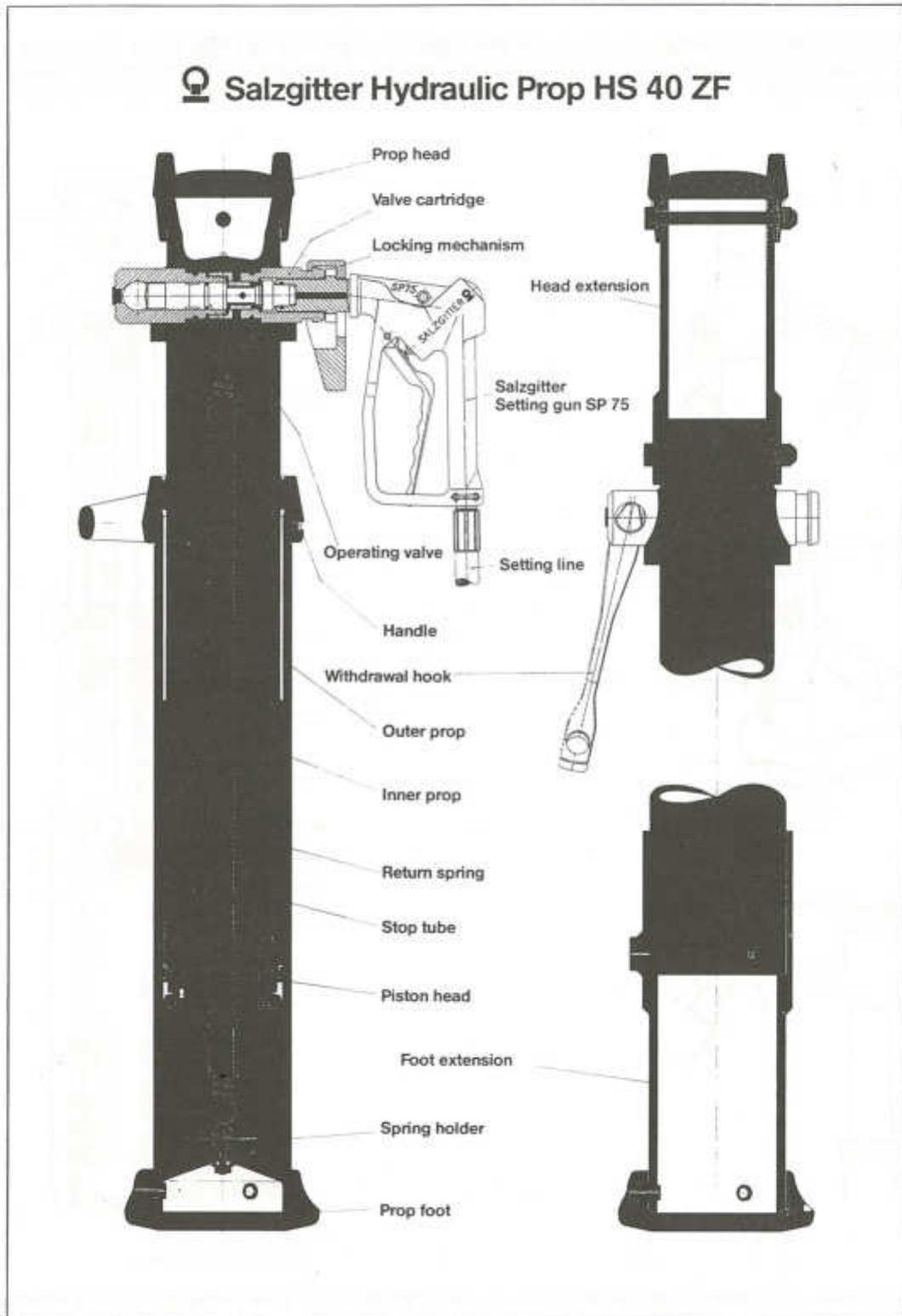


Dib.: Procesos de elevación del cilindro superior, de emplazamiento y de extracción de un estempe hidráulico individual mediante la bomba manual (izquierda de arriba para abajo) y construcción de un estempe hidráulico en corte, según Woodruff.

### 5.3 ESTEMPLE INDIVIDUAL/HIDRAULICO

Trabajos subterráneos en general  
(Carbón)

Minería subterránea  
Entibación



Dib.:

Construcción de un estempe hidráulico individual, el cual necesita de un abastecimiento externo de líquido hidráulico, información de la Empresa Salzgitter.

## 5.4 ANCLAJE, BULON

Trabajos subterrá-  
neos en roca firme

Minería subterránea  
Fortificación

Español:	barras, pernos de anclaje, pernos para hormigón
Inglés:	rock bolts, rods, rock stabilizer
Aleman:	Felsanker
Fabricante:	Atlas Copco, Grauvogel, Lenoir et mernier, GHH, Becorit, Gebr. Windgassen, Ingersoll-Rand

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	800 mm - 4000 mm longitud, 16 - 42 mm Ø para perforación de Ø 32 - 76 mm
Peso:	1 - 25 kg
Grado de mecanización:	no/parcialmente mecanizado
Forma de trabajo:	intermitente
Producción/Rendimiento:	5 - 100 t fuerza de tracción
Grado de rendimiento técnico:	30 - 40 min/bulón, tiempo de instalación en operaciones poco mecanizadas, densidad de bulones hasta 1 unidad por m <sup>2</sup>

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	aprox. 20 DM/unidad
Costos derivados:	perforadora con barrenos del largo del bulón y llave de boca fija o bien carro de perforación y de instalación de bulones

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos	
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos	
Exigencias al sistema de explotación:	El bulón al ser instalado debe tener una tensión previa que es difícil de apreciar manualmente. Por eso se prefiere usar entornilladores a percusión neumáticos o tornos de enrosque neumáticos.			
Aparato que puede reemplazar:	otras formas de fortificación para espacios abiertos subterráneos en roca firme.			
Divulgación regional:	mundial			
Experiencia del operador:	muy buena		mala	
Contaminación ambiental:	baja		muy alta	
	Disminución de la demanda de madera en las minas.			
Facilidad de fabricación local:	bulón de barra	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller metal mecánico			
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto	

Literatura, Fuente: Fritzsche, Información de empresas, Woodruff, Ruther

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

La fortificación mediante bulones tiene la tarea de fijar las capas de roca que se sueltan por la reducción de la presión de roca en los alrededores de los espacios abiertos por las labores mineras, a la estructura indemne de la roca fija. El bulón es introducido dentro de una perforación y si no es acuñado de una manera mecánica es enmasillado o pegado a la roca firme en toda su extensión o en parte de ella. La barra del bulón traspasa la tensión a su cabeza atornillada.

## 5.4 ANCLAJE, BULON

Trabajos subterráneos en roca firme

Minería subterránea  
Fortificación

### **FORMAS DE EMPLEO:**

Fortificación en salones y galerías en la minería subterránea. La fortificación por medio de bulones se puede utilizar como alternativa a la acostumbrada fortificación con madera en los países en desarrollo.

En la minería de roca dura, los bulones se utilizan en lugares donde los espacios amplios en roca dura deben permanecer abiertos por largo tiempo, por ejemplo: buzones, salones para la trituración, cámaras, lugares de carga.

Existen varias formas de buloneo:

- |                            |   |
|----------------------------|---|
| <u>Bulones mecánicos:</u>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bulón ranurado con cuña*</li> <li>- Bulón expansible como bulón de casquillo expansible*</li> <li>- Bulón expansible a cuña y bulón con cuña en casquillo*</li> <li>- Bulón a fricción como bulón de tubo con ranura (split set) y bulón de tubo plegable</li> </ul> |
| <u>Bulón de mortero:</u>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bulón de mortero de cemento</li> <li>- Bulón de mortero de resina sintética</li> </ul>   |
| <u>Bulones combinados:</u> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Bulón expansible con mortero al extremo o bulón de tubo con ranura</li> <li>- Bulón de tubo a presión totalmente amortorado</li> </ul>   |

\* estas formas de anclaje necesitan el menor grado de equipamiento mecánico y por ello son aptos para la Pequeña Minería.

### **OBSERVACIONES:**

Los bulones tienen sentido solo en los lugares donde la roca no relajada es firme. No tiene sentido usar bulones en las zonas de falla.

Las ventajas que ofrece la fortificación mediante bulones son sobre todo su fácil instalación y la poca necesidad de espacio. Las vibraciones de las explosiones pueden afectar el tensado de los bulones mecánicos.

Se pueden adquirir diferentes tipos de bulones para el tensado mecánico para su empleo en rocas firmes y medianamente firmes. Para las rocas medianamente firmes y sueltas son necesarios los bulones de pegar o de cementar. Los bulones expansibles generalmente se tensan hasta la mitad de su límite elástico de tracción.

La fortificación por medio de bulones se reviste con tejidos metálicos, con chapas de acero, etc., además de arandelas y placas de bulón con y sin compensación angular. El revestimiento ayuda a sostener las rocas sueltas y a transmitir los esfuerzos al bulón.

Para una óptima función de la fortificación con bulones es necesario colocar el bulón en dirección de las fuerzas de tracción esperadas. Para esto es necesario conocer exactamente la geología (estratificación, esquistocidad).

Fuera de los bulones metálicos en USA se emplearon sobre todo en lugares con techos de roca suave, por ejemplo en esquistos arcillosos y cuarcíferos, bulones de madera con ranuras. Sus medidas eran: diámetro 5 cm, longitud 125 cm, cabeza 6 x 6 cm, torneados de madera húmeda de pino o de abeto rojo, dos cuñas 1 7/8 x 1 x 16" y una placa de bulón de 30". Los costos eran de aprox. 0.5 US\$ por unidad. Las ventajas de su empleo eran las altas fuerzas de retención en la roca suave, el hecho de poder fabricarlos localmente y la alta resistencia a la corrosión. Los bulones se fabricaron en el mismo lugar de trabajo con rendimientos de aprox. 500 unidades/hombre-retorno en la fabricación y de 100 unidades/hombre-retorno en la colocación.

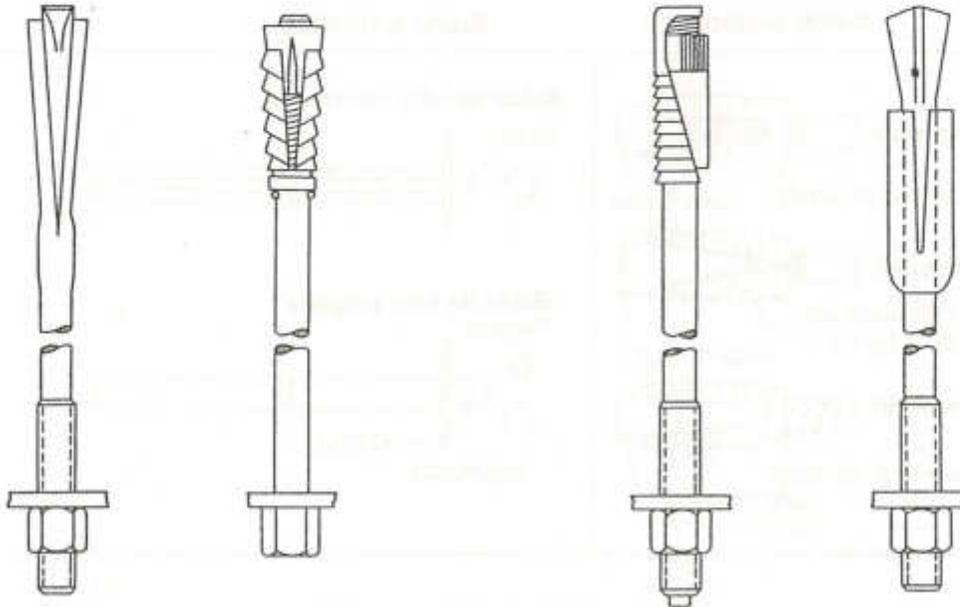
### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

La fortificación con bulones es recomendable solamente para operaciones neumáticas mecanizadas en roca encajonante limitadamente estable para asegurar el techo.

## 5.4 ANCLAJE, BULON

Trabajos subterrá-  
neos en roca firme

Minería subterránea  
Fortificación



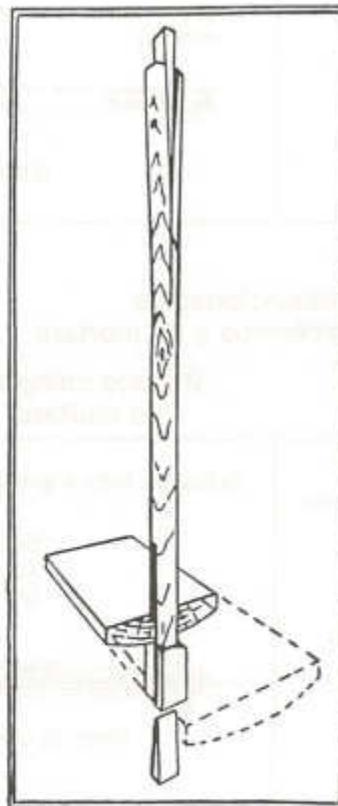
bulón ranurado  
con cuña

bulón de casquillo  
expansible

bulón de doble cuña

bulón con cuña en casquillo  
expansible

Dibs: Diferentes clases de construcción de bulones expansibles, de Reuther.



Dib.: Elemento de madera de la fortificación por bulones de la Mina Dayrock, USA, según Woodruff.

## 5.4 ANCLAJE, BULON

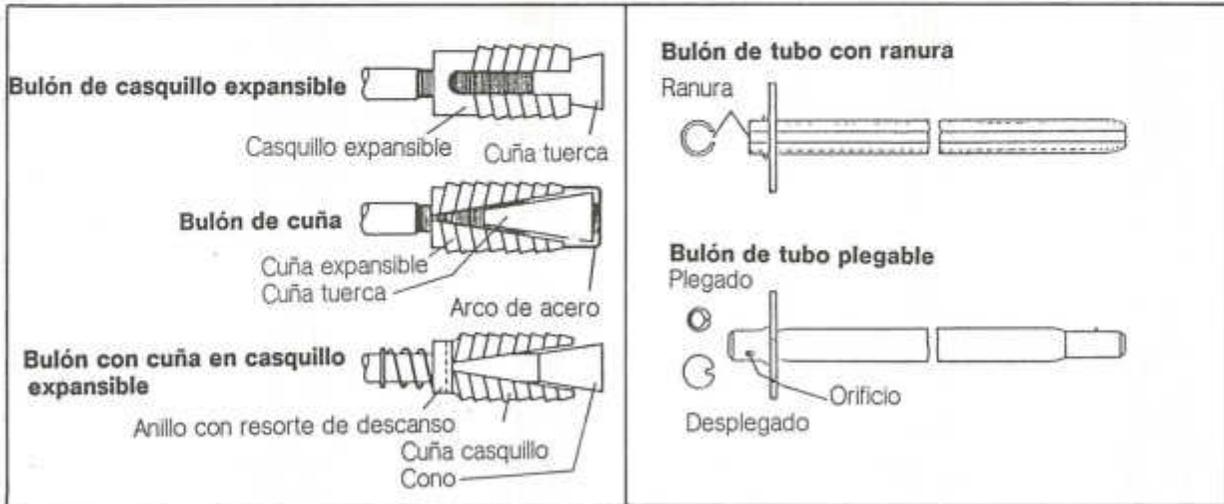
Trabajos subterrá-  
neos en roca firme

Minería subterránea  
Fortificación

### Bulones mecánicos

#### Bulón expansible

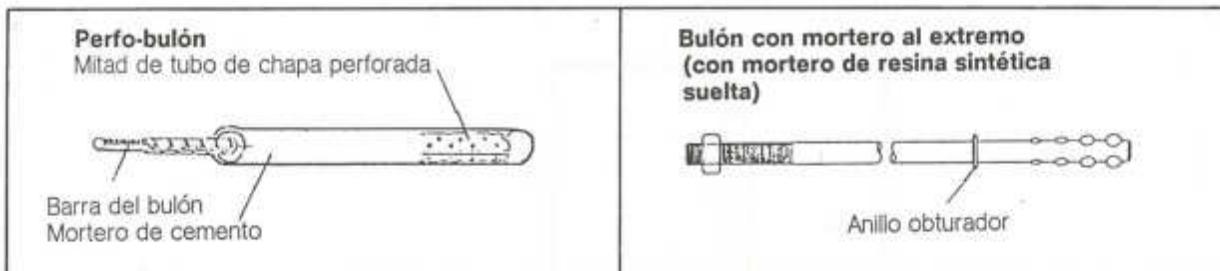
#### Bulón a fricción



### Bulón de mortero

#### Bulón de mortero de cemento

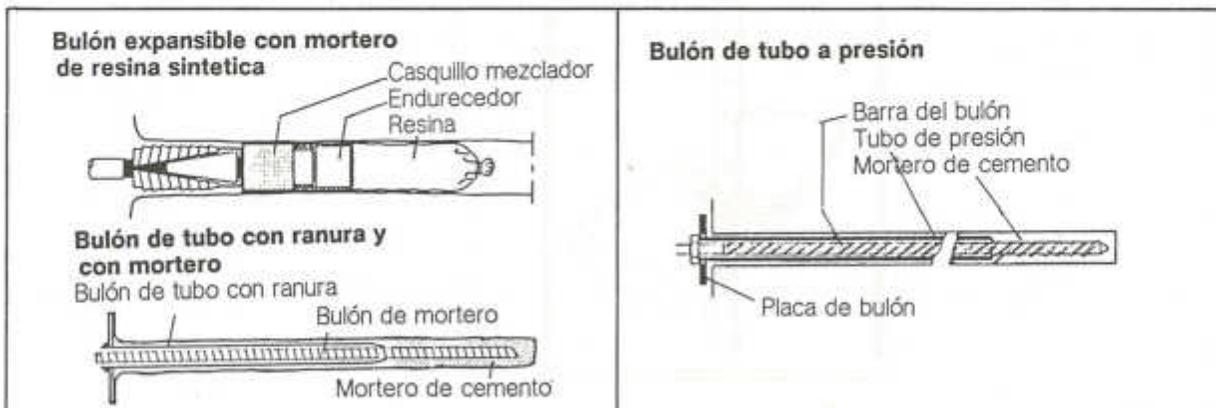
#### Bulón de mortero de resina sintética



### Combinaciones de bulones mecánicos y de mortero

#### Con mortero al extremo

#### Relleno completo de mortero



## Capítulo técnico 6: Iluminación

### 6.1 ILUMINACION PARA INTERIOR MINA

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
iluminación

Aleman: Geleucht für unter Tage  
Fabricante: Northern Light, CEAG, Friemann + Wolf

#### **DATOS TECNICOS:**

Forma de trabajo:	continuo		
Producción/Rendimiento:	aprox. 260 - 300 lt Acetileno/kg $\text{CaC}_2$ en las lámparas a carburo		
Grado de rendimiento técnico:	0.7 - 1.1 lt $\text{C}_2\text{H}_2$ /cd. en las lámparas a carburo, 10 - 17.5 W/cd. en las lámparas eléctricas		
Materia:			
Cuál:	Carburo + agua	Bencina	eventualmente ácido para batería
Cantidad:	aprox. 250 g + 250 g/HT		aprox. 100 g/HT

#### **DATOS ECONOMICOS:**

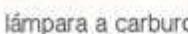
Costos de inversión:	1. Lámpara a carburo: 50 a 80 DM; 2. Lámpara de seguridad a bencina: 200 DM; 3. Lámpara para casco: 350 a 400 DM
Costos de operación:	costos de combustible en 1. y 2., costos de energía en 3.
Costos derivados:	instalación de carga y suministro de energía para las lámparas eléctricas

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:

bajos  altos

Gastos de mantenimiento:

 bajos  altos  
lámpara a carburo  
lámpara eléctrica

Exigencias al lugar de operación:

Todas las lámparas con llama abierta se deben utilizar solo en lugares sin atmósfera explosiva. Con las lámparas a carburo no se puede constatar el peligro de una atmósfera rara, en la cual el contenido de oxígeno del aire disminuye poniendo en peligro la vida. otras formas de iluminación, por ejemplo velas y lámparas abiertas a aceite o a grasa mundialmente las lámparas a carburo, en latinoamérica las lámparas de seguridad mundialmente, lámparas eléctricas para el casco

Aparato que puede reemplazar:

Divulgación regional:

Contaminación ambiental:

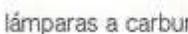
baja  muy alta

Facilidad de fabricación local:

muy buena  mala

De componentes disponibles en el mercado se puede construir una instalación de carga para las lámparas eléctricas en base a energía solar

Tiempo de vida:

muy largo  muy corto  
lámparas a carburo  
lámparas eléctricas para el casco

Literatura, Fuente: Fritzsche, Información de empresas, Hütte

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Como fuentes de iluminación para interior mina se pueden diferenciar varios tipos de lámparas:

##### **Lámparas a carburo**

Se trata de un recipiente doble, del cual el recipiente superior es llenado con agua que gotea a través de un grifo de control hacia el recipiente inferior que está lleno de carburo de calcio ( $\text{CaC}_2$ ). Por la acción del agua se produce el gas combustible acetileno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) que sale a presión por la válvula de combustión. En la boca de la válvula se enciende el gas, detrás de la llama se encuentra un reflector. La lámpara a carburo se caracteriza por su luz clara y uniforme. El consumo de carburo y de agua es de alrededor de 250 g por 8 horas. El peso total de una lámpara llena es de 1 - 1,2 kg. Las lámparas a carburo están hechas de metal (hierro, acero o latón) o de material sintético. Además de lámparas de mano también se usan lámparas para la

## 6.1 ILUMINACION PARA INTERIOR MINA

### Trabajos subterráneos en general

### Minería subterránea iluminación

cabeza en las cuales, entre la parte donde se produce el gas y la válvula, está montada una manguera de cerca 1 m de longitud. Debido a esto, el cuerpo donde se produce el gas puede ser llevado en el cinturón, la válvula y el reflector, en el casco. Además existen pequeñas lámparas a carburo que se pueden colocar directamente en el casco.

#### Lámparas de seguridad a bencina

En la minería latinoamericana las lámparas de seguridad a bencina aún se utilizan ampliamente. Constan de un tanque para bencina, un sistema de mecha y la cámara de combustión que está separada hacia afuera por un vidrio y un canastillo abierto de rejilla metálica. En gases explosivos esta rejilla, mediante el enfriamiento de la temperatura de la llama, evita que se apague la llama en la atmósfera explosiva. Al mismo tiempo se puede apreciar la concentración del grisú de la atmósfera comparando la aureola de la llama con valores conocidos. El peso es de aproximadamente 1 kg.

#### Lámparas eléctricas

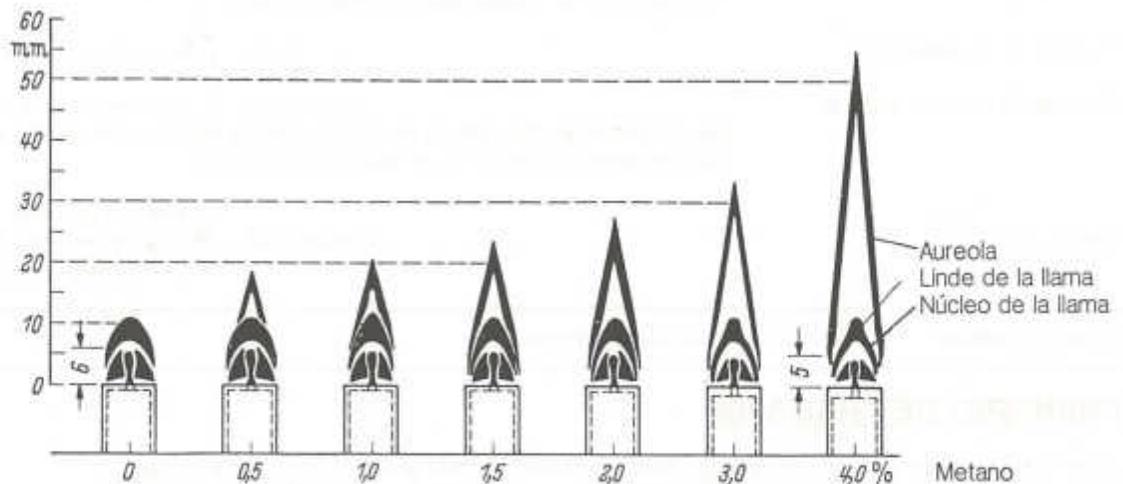
Las lámparas eléctricas para la cabeza, provistas de un acumulador que se lleva en el cinturón, un cable de unión y una lámpara para la cabeza, pesan entre 1,4 y 2 kg y tienen un tiempo de duración de alumbrado de aproximadamente 10,5 a 12 horas. La lámpara de cabeza está provista de un filamento doble que permite diferentes intensidades de luz y tiempos de vida.

El uso de lámparas eléctricas es problemático en lugares donde no existe energía eléctrica.

Para lugares en regiones con alta intensidad de irradiación y larga duración de luz de sol existe la posibilidad de cargar los acumuladores de las lámparas mediante estaciones de carga alimentadas por energía solar. Al respecto, se puede pensar en dos modelos. Por un lado, la carga directa de los acumuladores durante el día por medio de las celdas solares o la carga de los acumuladores a través de baterías acumuladoras interconectadas. El control de la tensión de carga es problemático. Si baja un poco del valor límite de 5 voltios, baja el tiempo de funcionamiento de la lámpara y el número de posibles ciclos de carga. Normalmente, una lámpara eléctrica puede ser cargada y recargada hasta 1000 veces. La empresa Northern Light ofrece estaciones de carga sencillas que funcionan mediante baterías de auto, las cuales pueden ser cargadas por celdas solares.

El precio de un aparato recargador con conexión de corriente continua de 12 voltios se encuentra entre 100 y 120 US\$. Los precios de las lámparas eléctricas para la cabeza con capacidad de 7 - 14 hrs de trabajo son de aproximadamente 350 a 400 DM.

Para el alumbrado estacionario es posible el uso de lámparas a aire comprimido. En este caso se hace funcionar un generador de corriente alterna por medio de aire comprimido con una presión de trabajo entre 3 y 6 bar y con un consumo de aire comprimido entre 5 y 20 m<sup>3</sup>/hora. Como fuente de iluminación sirven tanto lámparas de mercurio a alta presión (de aprox. 80 W), lámparas halógenas (50 - 70 W) como lámparas fluorescentes (20 - 40 W). El peso de estas lámparas estacionarias a aire comprimido está entre 10 y 15 kg.

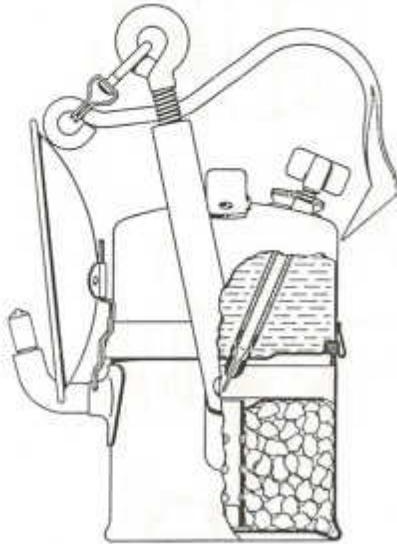


Dib.: Forma y tamaño de una lámpara de seguridad a bencina en función del contenido de gas de mina en la atmósfera. Fuente: Fritzsche

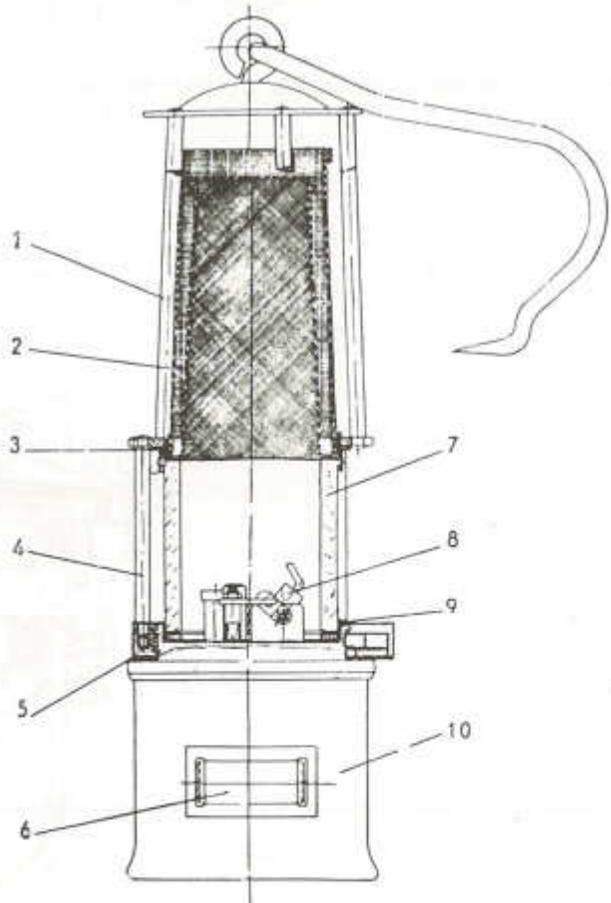
## 6.1 ILUMINACION PARA INTERIOR MINA

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
iluminación



Dib.: Lámpara a carburo como lámpara de mano. Arriba, el tanque de agua; abajo, el recipiente para el carburo, de Fritzsche

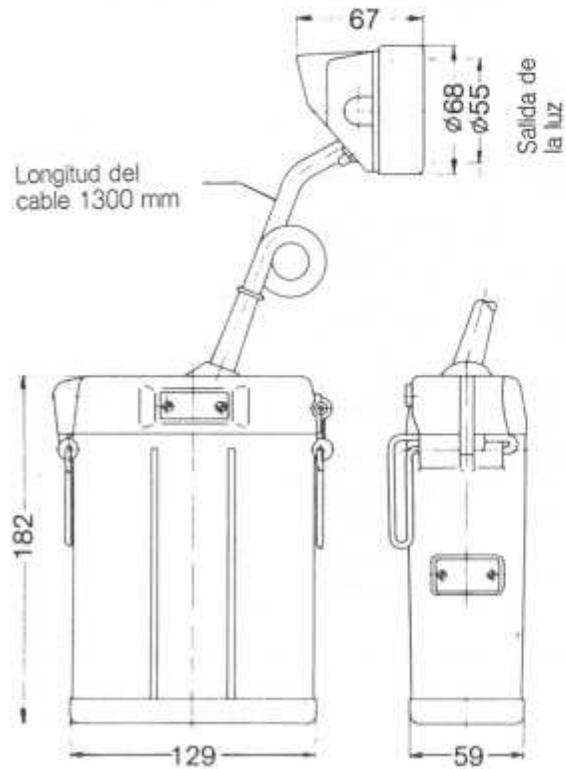


Dib.: Lámpara de seguridad a bencina, 1) Varilla de la armadura, 2) Rejilla de tela metálica, 3) Anillo intermedio, 4) Varillas inferiores de la armadura, 5) Anillo de cierre magnético, 6) Placa de identificación, 7) Cilindro de vidrio duro, 8) Encendedor, 9) Anillo intermedio, 10) Depósito de la lámpara, de Fritzsche.

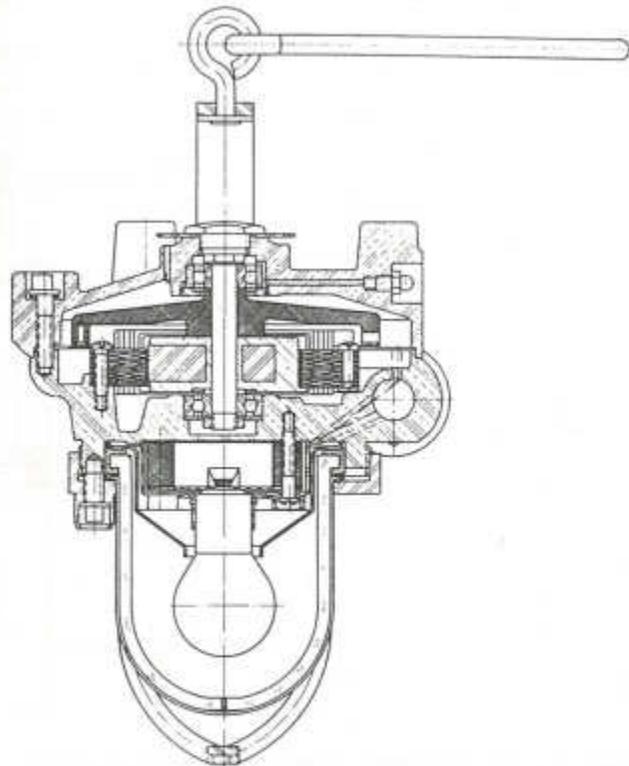
## 6.1 ILUMINACION PARA INTERIOR MINA

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
iluminación



Dib.: Lámpara eléctrica para la cabeza de la empresa Friemann y Wolf, información de la empresa



Dib.: Corte a través de una lámpara electromagnética a aire comprimido de CEAG, de Fritzsche



## 7.1 PERFORADORA NEUMÁTICA

Trabajos subterráneos y a cielo abierto  
Minería subterránea  
Explotación en roca consistente

Facilidad de fabricación local:	muy buena	————— —————■	mala
Tiempo de vida:	muy largo	■————— —————	muy corto

Literatura, Fuente: Manual de AC, Stout, Fritzsche, Reuther, Roschlau

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

La perforadora neumática trabaja con un pistón libre que se mueve de un lado a otro por medio del aire a presión controlado por una válvula vibratoria con un número de golpes entre 1.800 y 3.500  $\text{min}^{-1}$ . Al final del movimiento hacia adelante, durante el cual la cámara más grande del cilindro es impulsada en la parte trasera, el pistón libre golpea sobre la culata del barreno. Durante la carrera de retroceso la culata rota mediante estrías de torsión en el pistón libre. El dispositivo para la rotación permite la rotación mediante un trinquete solo en una dirección. Por la rotación el filo del barreno choca siempre sobre un nuevo sector del piso de la perforación. La conexión central de agua para el lavado pasa a través del pistón libre y de la culata. En este caso el lavado tiene la función de enfriar la perforadora, extraer el polvo de roca perforada y eventualmente aglutinar el polvo de la perforación, el cual produce silicosis.

La tarea de los pies de apoyo es de conducir el barreno exactamente en dirección del hueco de perforación y otorgar la fuerza de empuje necesaria a la perforadora. Estos pies de apoyo que consisten en cilindros neumáticos telescópicos, son impulsados con aire a presión y colocados en un ángulo inclinado en relación al piso de la perforación. La presión del aire y con ello la fuerza de empuje se puede controlar según la construcción, ya sea directamente en la máquina o en el pie de apoyo. La retirada de la máquina perforadora se hace igualmente de manera neumática.

Para perforar chimeneas y huecos verticales en arranques llevados hacia arriba, por ejemplo en yacimientos filonianos metálicos verticales, se usa la llamada perforadora Stoper, la cual está unida al pie de apoyo.

Para el avance en la perforación y para lograr un largo tiempo de vida es muy importante el afilado repetido de los barrenos romos. Para esto sirven pequeñas máquinas afiladoras accionadas por aire a presión sobre trípodes con prensas para sujeción de los barrenos. Los valores más importantes de la pastilla de metal duro, ángulo de filo, curvatura del filo y la fase de desgaste como también el ángulo de despulso, se controlan con una plantilla calibradora. Los tiempos de duración de los barrenos hasta el próximo afilado dependen ampliamente de la dureza abrasiva de la roca perforada.

La siguiente tabla muestra la cantidad de metros después de la cual generalmente es necesario un nuevo afilado:

Clase de roca	Metros perforados	
Arenisca	8	- 16
Esquisto arenoso	20	- 30
Esquisto	50	- 100
Gneis, granito	3	- 6
Sal de roca antigua	30	- 36
Carnalita	40	- 50
Sal dura	22	- 100

### OBSERVACIONES:

Las perforadoras a percusión y a rotopercusión necesitan alta presión.

Eventualmente es práctico conformarse con pequeños tipos de máquinas perforadoras sobre apoyos, por ejemplo la TII de Montabert con 9,5 kg de peso y consumo de aire comprimido de 1,4  $\text{m}^3/\text{min}$ . El bajo rendimiento se podría compensar con explosivos de mayor potencia. Los gastos adicionales para ello deberían ponerse en relación a los pequeños costos de instalación de aire comprimido.

En vez de un abastecimiento costoso de agua en la mina con una red de conexiones se puede disponer de agua por medio de carros tanques donde el espacio de aire del tanque deberá estar lleno de aire a presión.

Costos de la perforación a percusión:	Máquina perforadora	aprox. 50 %
	Aire a presión	aprox. 10 %
	Barrenos	aprox. 40 %

## 7.1 PERFORADORA NEUMÁTICA

### Trabajos subterráneos y a cielo abierto en roca consistente

### Minería subterránea

### Explotación

El grado de rendimiento de la energía empleada en la perforación neumática, considerando las pérdidas en la producción del aire comprimido, es bastante pequeño y se encuentra, según los parámetros empleados, entre 1 y 10 %. Fuera de las pérdidas en la producción de aire comprimido y en las conexiones se deben tomar en cuenta las pérdidas en la transformación de energía en el trabajo de percusión, en la amortiguación del ruido, en la fricción en las paredes del hueco a perforarse y en la reflexión de la energía sonora en el barreno.

Otra fuente de pérdidas se encuentra en las uniones de los barrenos, en las coronas y eventualmente en los barrenos de prolongación. Las pérdidas de energía son de aproximadamente 5 % por cada unión. Los barrenos integrales y la abstención del empleo de barrenos de prolongación evitan estas pérdidas.

Normalmente se ofrecen máquinas perforadoras con rotación hacia la izquierda, pero deberían solicitarse perforadoras con rotación hacia la derecha para que la tuerca del anclaje, con un aparato especial antepuesto, pudiera ser apretada por la máquina perforadora.

Las fuerzas de avance que necesita una perforadora mediana manualmente controlada son de 60 a 120 kg. De éstos, la máquina perforadora puede cubrir manualmente, sin ayuda mecánica, en promedio solo 5 kg. En las perforadoras manualmente sostenidas se reduce el golpe de repulsión mediante grandes pesos propios.

Para poder obtener las grandes fuerzas de avance necesarias se tiene que elegir óptimamente el ángulo de colocación del pie de apoyo. Este debe ser siempre menor a 40 grados.

Recién se perfora con una fuerza de avance total después de que se haya perforado 5 a 10 cm con una pequeña fuerza.

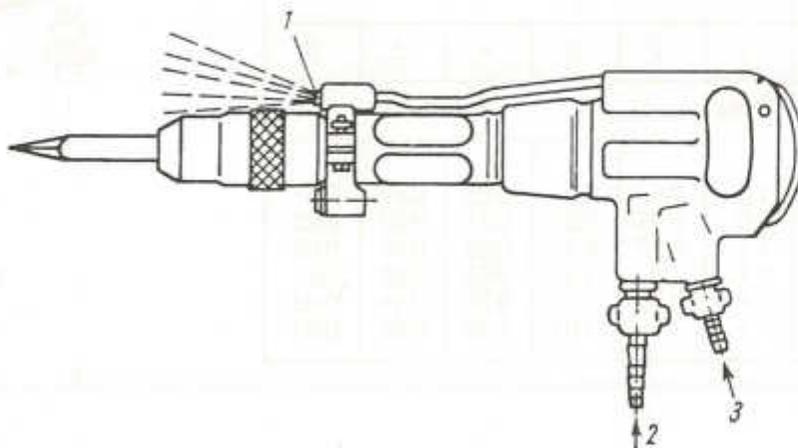
En vez de una columna de perforación neumática se puede emplear para perforadoras de tipo liviano la disposición mexicana y un sistema de dos escaleras y una tabla de deslizamiento.

Antes del montaje definitivo de la instalación de perforación se deben vaciar necesariamente las mangueras. Así se evita que la perforadora se destruya por los golpes de agua.

Para materias primas, cuya explotación no requiere de perforación ni voladura debido a su baja dureza, se utilizan martillos picadores. Ellos transmiten solamente un movimiento hacia adelante y hacia atrás sobre la culata del barreno a través del pistón libre de la máquina. El movimiento de rotación y el lavado con agua no existen.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Las máquinas perforadoras neumáticas, debido a su pequeño peso por unidad de potencia y a su gran robustez, son excelentemente aptas para todos los fines de perforación tanto en interior mina como en superficie, pero condicionan un costoso suministro de energía.



Dib.: Martillo picador con tobera de rocío. 1) Tobera de rocío, 2) Conexión para aire comprimido. 3) Conexión para agua, de Roschlaui.

# 7.1 PERFORADORA NEUMÁTICA

Trabajos subterráneos y a cielo abierto en roca consistente

Minería subterránea  
Explotación

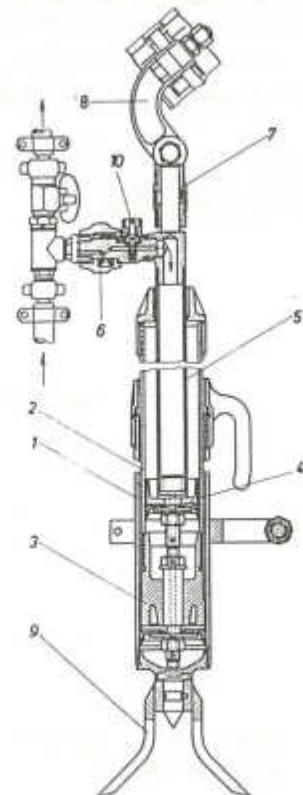


Perforadora neumática sobre pie de apoyo en un socavón en la mina de estaño Otilia, Cordillera Tres Cruces, Bolivia.

Tabla: De factores para el cálculo del consumo de aire comprimido en función de la altura topográfica (en pies) y la cantidad de perforadoras conectadas

MULTIPLIERS TO DETERMINE THE AIR CONSUMPTION OF ROCK AND DRILLS AT VARIOUS ALTITUDES

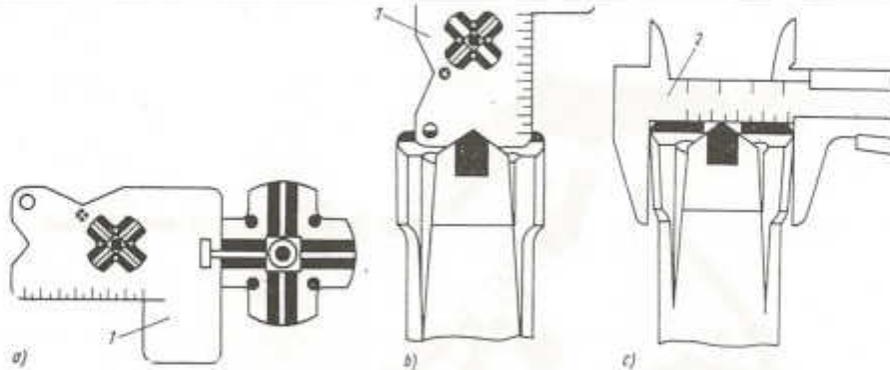
Altitude	Number of drills					
	1	2	3	4	5	6
	Multipliers					
ft.						
0	1.0	0.9	0.9	0.85	0.82	0.8
1.000	1.0	0.95	0.93	0.87	0.84	0.83
2.000	1.1	0.97	0.95	0.92	0.88	0.86
3.000	1.1	1.0	1.0	0.95	0.92	0.9
4.000	1.1	1.05	1.03	0.97	0.94	0.93
5.000	1.2	1.1	1.07	1.02	0.98	0.96



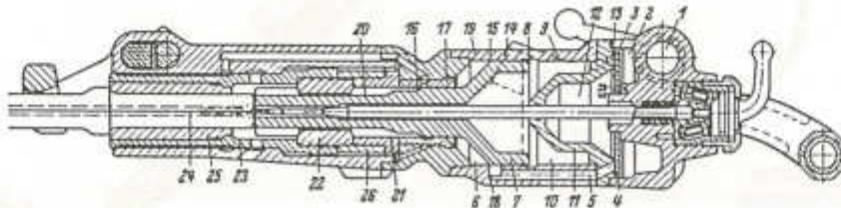
Dib.: Pie neumático, de Fritzsche

## 7.1 PERFORADORA NEUMÁTICA

Trabajos subterráneos y a cielo abierto  
Minería subterránea  
Explotación en roca consistente

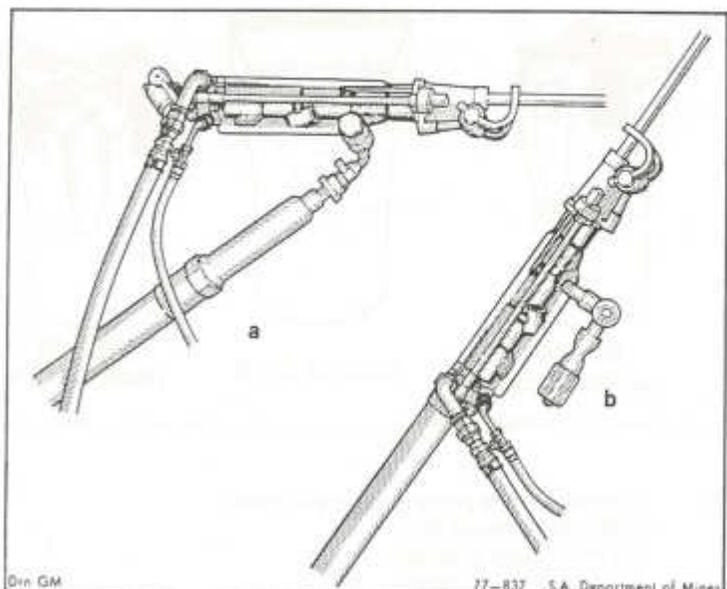


Dib.: Control de la calidad del afilado de la corona a) Control del desgaste, b) Control del ángulo de filo, c) Control de la redondez y del ángulo de despuyo, de Roschläu



- |   |                                  |                       |
|---|----------------------------------|-----------------------|
| 1. Conexión al aire comprimido            | 10. Espacio trasero del cilindro | 18. Canal             |
| 2. Cámara libre en la cabeza del cilindro | 11. Tapa                         | 19. Cilindro          |
| 3. Válvula de vibración                   | 12. Espacio de la tapa           | 20. Culata            |
| 4, 5. Canal                               | 13. Canal                        | 21. Tuerca de torsión |
| 6. Espacio delantero del cilindro         | 14. Borde de escape barreno      | 22. Tuerca guía       |
| 7. Pistón de golpe                        | 15. Borde delantero del pistón   | 23. Casquillo para el |
| 8. Borde trasero del pistón               | 16. Borde de la culata barreno   | 24. Culata            |
| 9. Borde del escape                       | 17. Casquillo de desgaste        | 25. Cápsula para el   |
|   |                                  | 26. Rueda de bloqueo  |

Dib.: Corte a través de un martillo perforador, de Reuther.

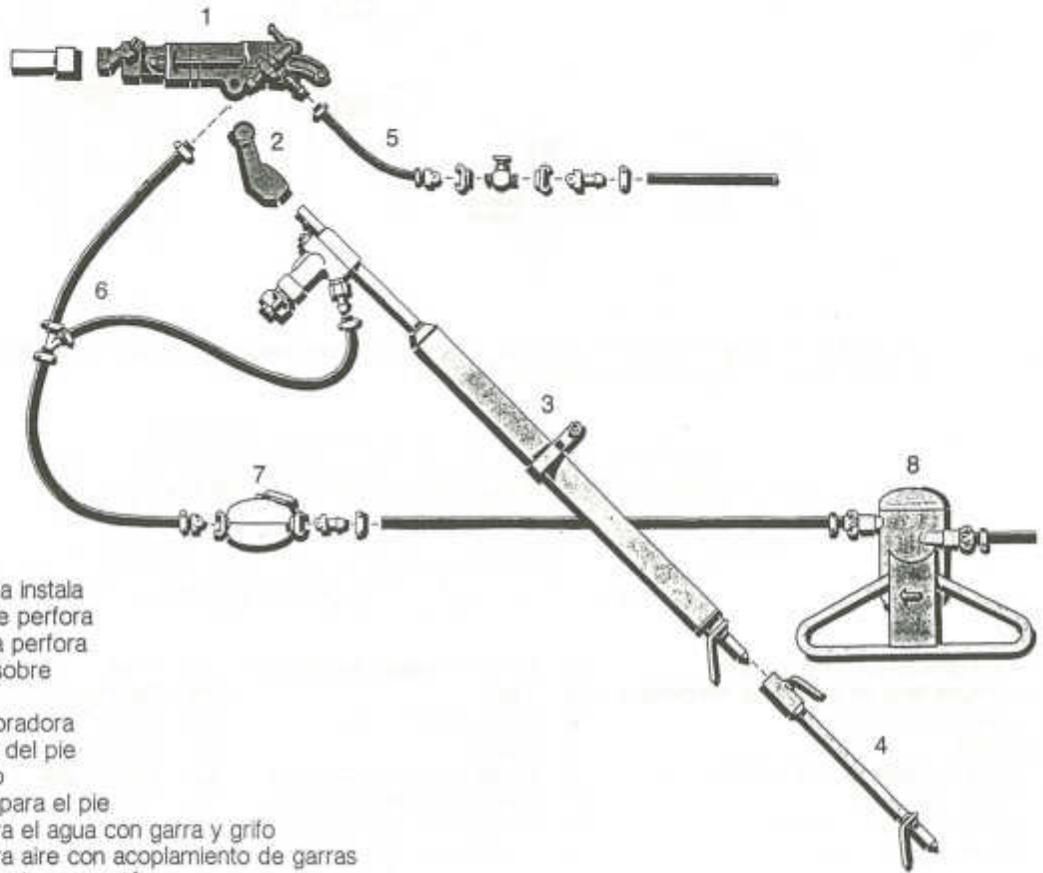


Dib.: Montaje de perforadoras sobre apoyos a) para avance b) perforadora Stoper. Fuente: Armstrong

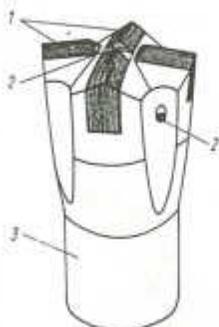
## 7.1 PERFORADORA NEUMÁTICA

Trabajos subterráneos y a cielo abierto  
en roca consistente

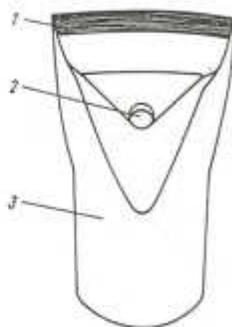
Minería subterránea  
Explotación



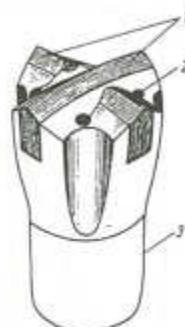
- Dib.: Estructura de una instalación completa de perforación para la perforación neumática sobre apoyo:
- 1) Máquina perforadora
  - 2) Acoplamiento del pie
  - 3) Pie neumático
  - 4) Prolongación para el pie
  - 5) Manguera para el agua con garra y grifo
  - 6) Manguera para aire con acoplamiento de garras
  - 7) Lubricador de aire a presión
  - 8) Condensador de agua, de Atlas Copco, información de la empresa



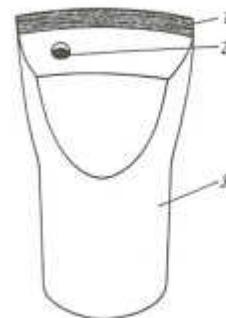
boca con pastillas en cruz



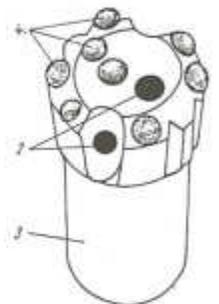
boca con cincel



boca con pastillas en cruz



boca con cincel



boca con botones autoafilantes

- Dib.: Coronas para la perforación a percusión.
- 1) Pastilla de metal duro
  - 2) Orificio para el lavado
  - 3) Vástago de la corona
  - 4) Botones de metal duro, de Roschlau

## 7.2 MOTOPERFORADORA Trabajos subterrá- neos y a cielo abierto Minería subterránea Perforación en roca consistente

Español: cámara de combustión  
 Aleman: Benzingetriebener Bohrhammer, "Cobra", "Pionjär", Brennkrafthammer  
 Fabricante: Atlas Copco

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	75 x 50 x 35 cm; alto, ancho, profundidad		
Peso:	25 o bien 23 kg/26 kg		
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado		
Tipo de energía motriz:	motor a combustión 185 cm <sup>3</sup> /2.500 - 2.700 rpm		
Forma de trabajo:	semicontinuo		
Producción/Rendimiento:	250 - 300 mm/min en avance en la perforación en granito		
Material:	90/100 pionjär		
Cuál:	Bencina	80/100 Octanos, también libre de plomo	Acete/SAE 40
Cantidad:	aprox. 1.5 l/h	1 : 12 (8 %) pionjär	1 : 20 (5 %)

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	aprox. 5000 DM
Costos de operación:	altos costos de combustible
Costos derivados:	en interior mina es necesario ventilación especial aspirante

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al sistema de explotación: Con las motoperforadoras solo se puede perforar horizontalmente o hacia abajo, en forma excepcional hacia arriba con un ángulo de 45°. Los motivos son el motor, acoplado directamente, y el carburador. En este caso, los sistemas de explotación cuya operación sea llevada hacia abajo y que posibiliten una perforación en bancos son ventajosos.

Aparato que puede reemplazar: perforadoras neumáticas  
 Disponibilidad de la técnica: necesariamente importada  
 Divulgación regional: hasta ahora desconocido en la Pequeña Minería latinoamericana

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta  
 contaminación del lugar de empleo por los gases de escape, acete usado

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Manual de Atlas Copco

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Las perforadoras con fuerza motriz a combustión tienen un motor a combustión de dos tacts con pistón dividido en dos. Uno es el pistón suelto y corresponde al pistón de percusión, mientras que el otro pistón sirve para accionar la rotación del barreno y para la compresión del aire para soplar el hueco de la perforación.

### **FORMAS DE USO:**

Perforación de agujeros para voladura inclinados hacia abajo y eventualmente horizontales, en minería subterránea y a cielo abierto en roca consistente.

## 7.2 MOTOPERFORADORA

Trabajos subterrá-  
neos y a cielo abierto  
en roca consistente

Minería subterránea  
Perforación

### **OBSERVACIONES:**

Como aparatos adicionales a las motoperforadoras se pueden adquirir máquinas afiladoras con árbol flexible como también una bomba centrífuga.

Muy problemáticos son:

- el excesivo peso relativo, sobre todo en trabajos en o cerca del techo
- el gas de escape con alto contenido de CO. La ventilación especial es inevitable. Una manguera larga para los gases de escape reduce notoriamente el rendimiento en forma inmediata
- reducción hasta de un 50 % de los rendimientos debido a la altura de los lugares de operación en la Pequeña Minería latinoamericana
- la extracción del barreno a menudo es difícil hasta imposible sin la ayuda de herramienta adicional
- se perfora en seco, lo que significa una enorme formación de polvo

En principio, los motores a bencina debido al alto contenido de CO en los gases de escape, son peligrosos en interior mina y demandan una ventilación especial. Debido a sus deficiencias en la ventilación se debe aconsejar necesariamente evitar esta clase de aparatos justamente en la Pequeña Minería. La ventaja de la independencia de una red de abastecimiento de energía en interior mina se ve anulada ante la necesidad de una costosa ventilación (aspirante) especial.

En la perforación de roca dura, donde hay componentes cuarceños, existe gran peligro de silicosis.

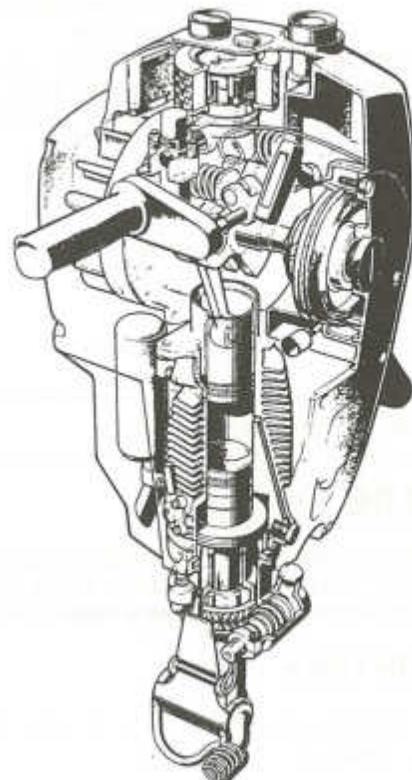
La motoperforadora Pionjär es más apta que la Cobra para la altura y en los países en desarrollo. Por un lado, el carburador de aguja es regulable para la altura y por otro, está construido de manera más sencilla que el carburador a membrana de la motoperforadora Cobra.

Fue usada ya en Afganistán en la voladura de pequeños socavones empleados como almacenes. Allí se las usa sobre trípodes en patines.

Análogamente a las perforadoras neumáticas, para la explotación de materias primas de fácil arranque (por ejemplo, carbón) se pueden obtener también martillos picadores accionados con motores a bencina.

### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

No apta para el empleo en interior mina durante la producción en marcha debido a problemas del medio ambiente y de seguridad. El empleo parece tener sentido sólo para trabajos especiales, para los cuales no existe una infraestructura de aire comprimido y en minería a cielo abierto, para sedimentos solidificados.



Dib.: Corte a través de una motoperforadora Cobra de Atlas Copco, información de la Empresa.

## 7.3 CUÑA MARTINETE

**Trabajos subterráneos  
y a cielo abierto  
en roca quebradiza**

**Minería  
subterránea  
Explotación**

Español: rompedor de rocas, según François  
Aleman: Rammkeil, Gesteinsbrecher nach François

### **DATOS TÉCNICOS:**

Medidas: longitud aprox. 4 m  
Peso: aprox. 30 kg + 45 kg por la maza del martinete  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Tipo de energía motriz: manual  
Forma de trabajo: intermitente  
Material: ninguno

### **DATOS ECONÓMICOS:**

Costos de inversión: construcción propia: 250 - 500 DM  
Costos de operación: solo costos para personal

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	----- ■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■----- -----	altos
Exigencias al sistema de explotación:	No se pueden realizar arranques de excavación, es decir solo con la cuña martinete no son posibles trabajos en frentes llanos.		
Aparato que puede reemplazar:	explosivos		
Divulgación regional:	Reemplazado ampliamente por los explosivos. Empleo sobre todo en lugares donde se necesita el efecto dirigido de cuña o de explosivo, por ejemplo en canteras de rocas naturales, canteras de mármol, etc.		
Contaminación ambiental:	baja	■----- -----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- ■-----	mala
Bajo qué condiciones:	buen taller metal mecánico que domine la técnica de soldadura y trabajos con aceros duros		
Tiempo de vida:	muy largo	■----- -----	muy corto

Literatura, Fuente: Lengemann

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Se introducen 4 resortes en el hueco. En el espacio sobrante se introduce la cuña que en la parte trasera tiene una guía cuadrada para la maza. La maza tiene en su interior 4 rodillos que evitan la fricción. La maza se jala por medio de un cable que pasa por una polea de retorno y de esta manera la maza realiza el golpe en la cuña.

### **FORMAS DE USO:**

Explotación de carga gruesa en trabajos de avance de galerías con posterior arrastre.  
Se emplea en minería de rocas naturales.

### **OBSERVACIONES:**

Debido a la trituración deficiente existen problemas de transporte para la carga gruesa. Su empleo tiene sentido en roca quebradiza o en roca in situ a quebrarse o bien en minería a cielo abierto donde eventualmente es necesaria la explotación de bloques grandes (canteras de mármol).

## 7.3 CUÑA MARTINETE

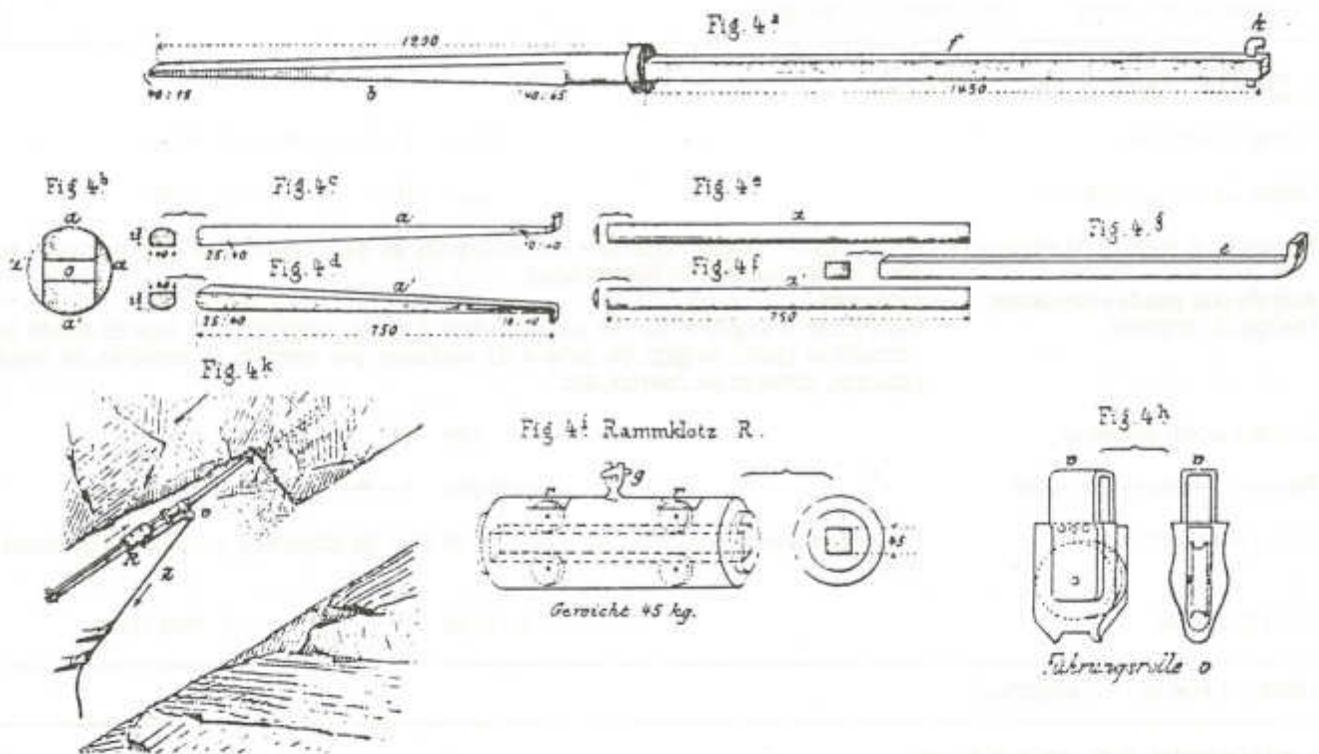
Trabajos subterráneos  
y a cielo abierto  
en roca quebradiza

Minería  
subterránea  
Explotación

El mármol quebrado o cortado alcanza mejores precios para fines de escultura que el mármol arrancado por medio de voladura. Este último tiene microrrajaduras finísimas que pueden motivar repentinos quiebres durante la elaboración de la escultura.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Para la minería metálica en interior mina esta técnica es apta bajo condiciones. Es más apta para operaciones sobre la superficie.



Dib.: Esquema de construcción y principio de trabajo de una cuña martinete de Lengemann.

Fig. 4: Cuña martinete (rompedor de rocas) de A. y J. Francois. En el hueco se introducen los cuatro resortes a a' y en caso necesario entre a y a' también el resorte e. En el espacio restante o (ver fig. 4b) se introduce la cuña b, la cual en la parte trasera tiene una guía cuadrada f para el mazo R que tiene un orificio cuadrado de 45 mm de ancho. El mazo tiene en su interior 4 rodillos r que evitan la fricción. La horquilla g sirve para sujetar el cable z (ver fig. 4b) que es conducido por la polea v. El mazo también puede moverse por medio de una barra delgada con empuñadura, la cual se sujeta en la horquilla g. K es la cuña para limitar la elevación del mazo.

## 7.4 PERFORADORA ELECTRICA SOBRE APOYO

Trabajos subterrá-  
neos y a cielo abierto  
en roca consistente

Minería subterránea  
Explotación

Aleman: Elektrischer Bohrhämmer auf Stütze  
Fabricante: China Mining Technology Consultant Centre

### DATOS TECNICOS:

Medidas: 610 x 335 x 220 mm + apoyo  
Peso: 30 kg + barrenos, cable, manguera para agua  
Grado de mecanización: totalmente mecanizado  
Potencia motriz: 2 kW  
Tipo de energía motriz: eléctrica: 3 Fases, 127 V, 15.7 A, 50 Hz  
Forma de trabajo: semicontinuo  
Producción/Rendimiento: > 3 kg x m impulso del martillo, > 150 kg x cm impulso rotatorio, 2640 min<sup>-1</sup>, huecos hasta 4 m, Ø 34 - 43 mm, barrenos 22 o 25 mm, hexagonal con limpieza interna  
Grado de rendimiento técnico: 65 %

### DATOS ECONOMICOS:

Costos derivados: abastecimiento de energía eléctrica

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos altos

Gastos de mantenimiento: bajos altos

Exigencias al lugar de operación: ninguna, la máquina está asegurada contra peligros de la atmósfera con grisú  
Exigencias al sistema de explotación: el abastecimiento de energía eléctrica debe llegar hasta el lugar de operación  
Aparato que puede reemplazar: perforadoras neumáticas  
Divulgación regional: China

Contaminación ambiental: baja muy alta  
poco consumo de aceite en comparación con el aire comprimido

Facilidad de fabricación local: muy buena mala

Tiempo de vida: muy largo muy corto

Literatura, Fuente: Información de la empresa

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Perforadora a percusión accionada por corriente alterna trifásica sobre apoyo con enfriamiento externo con agua y dispositivo de limpieza.

### FORMAS DE USO:

Trabajos de perforación en avance de galería y en arranque para pequeñas operaciones mecanizadas con abastecimiento de energía eléctrica en toda clase de rocas.

### OBSERVACIONES:

El grado de rendimiento de los sistemas eléctricos es muy superior al grado de rendimiento de las máquinas accionadas a aire comprimido, o sea sería necesario menor uso de energía primaria.

El rendimiento de sistemas eléctricos es independiente del aire externo o sea que también se puede trabajar bien en grandes alturas.

## 7.4 PERFORADORA ELECTRICA SOBRE APOYO

## Trabajos subterrá- neos y a cielo abierto      Minería subterránea en roca consistente      Explotación

Las contaminaciones ambientales (suspensiones de aceite, ruido, etc.) en las máquinas accionadas a energía eléctrica son menores o no existen.

Respecto al tiempo de vida y a la predisposición a averías existe escepticismo debido a que no existen valores experimentales. Para la Pequeña Minería es especialmente importante la robustez y el tiempo de vida de la maquinaria de perforación. En relación a estos criterios, hasta ahora los sistemas neumáticos han demostrado ser superiores.

Además de las perforadoras eléctricas, existen también en el mercado martillos picadores eléctricos (sin movimiento de rotación ni limpieza) con barreno de cincel. Estos se emplean principalmente en la minería del carbón.

Los sistemas eléctricos pueden ser recomendados solamente cuando existe conexión a la red pública. Las desventajas de la mecanización eléctrica en interior mina resultan de:

- ser una técnica sensible a averías, especialmente en los mecanismos de percusión de las perforadoras
- presentar problemas de seguridad y
- ser poco común en el mercado

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERIA:

La perforadora eléctrica se debe considerar como alternativa al sistema neumático para pequeñas minas con pocos lugares de operación. La caracterizan fuertemente el pequeño uso de energía primaria y la poca contaminación ambiental, pero se deben considerar los altos costos del abastecimiento de energía eléctrica, si ella no existe.

## 7.5 TECNICAS DE EXPLOTACION MANUAL

### Trabajos subterráneos en roca suave

### Minería subterránea Explotación

Aleman: Manuelle Gewinnungstechniken

#### **DATOS TECNICOS:**

Grado de mecanización: no mecanizado  
 Tipo de energía motriz: manual  
 Forma de trabajo: intermitente  
 Producción/Rendimiento: El rendimiento, comparado con el de explotación mecanizada, es muy bajo  
 Material: ninguno

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: bajos  
 Costos de operación: principalmente costos de personal, adicionalmente costos por desgaste (coronas de perforación, barrenos)  
 Costos derivados: ninguno

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	----- -----■	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	-----■-----	altos
Exigencias al mineral:	roca blanda		
Exigencias a la roca caja:	son favorables los yacimientos con roca caja consistente y roca a arrancar comparativamente suave o suelta, por ejemplo algunas zonas de oxidación, mantos de carbón, etc..		
Aparato que puede reemplazar:	explotación minera mecanizada		
Divulgación regional:	mundial		
Experiencia del operador:	muy buena	----- -----■	mala
esfuerzo físico extremo donde es necesaria la explotación de materias primas duras			
Contaminación ambiental:	baja	-----■-----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- -----■	mala
Bajo qué condiciones:	Los combos, picos mineros, puntas, eventualmente los barrenos se pueden fabricar localmente en escala industrial pequeña. Eventualmente también se pueden fabricar máquinas perforadoras manuales rotatorias simples en talleres metal mecánicos.		

Literatura, Fuente: Fritzsche, Roschlau

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Las técnicas de explotación manual se emplean principalmente en interior mina y a cielo abierto en roca blanda. Se diferencia:

1. Arranque manual con punta y pala. Principalmente en la minería del carbón pero también en la explotación de minerales de zonas erosionadas y rocas sueltas ligeramente endurecidas, por ejemplo en la minería del oro se arranca el mineral con punta (picota).

A menudo, el minero utiliza aquí la técnica de arrancar primeramente la parte inferior, en la cual hace una rajadura en el frente cerca del piso y luego arranca hacia arriba aprovechando la fuerza de gravedad.

Esta técnica está bastante divulgada sobre todo en la minería artesanal del carbón.

2. Rotoperforación manual y voladura. En la pequeña minería las rocas algo duras también se pueden explotar manualmente con la ayuda de máquinas rotoperforadoras manuales (por ejemplo, máquina perforadora manual de Lisbeth) y voladura. A éstas pertenecen carbón, sal, azufre, esquisto, yeso, etc. Las máquinas perforadoras son máquinas cuya rotación y empuje se realizan manualmente. Estas máquinas están guiadas por un pilar apuntalado y perforan con barreno de percusión,

## 7.5 TECNICAS DE EXPLOTACION MANUAL

### Trabajos subterráneos en roca suave

### Minería subterránea Explotación

generalmente sin lavado. La evacuación del polvo de perforación del hueco se realiza por medio del tornillo sin fin del barreno. El objetivo del proceso de perforación es ajustar la fuerza de avance de tal manera que la viruta producida en el tope del hueco de la perforación sea lo más grande posible, de tal forma que el trabajo de trituración sea el mínimo. De esta manera el tiempo de vida de los barrenos es largo y por lo menos de 3000 m de perforación. En la punta de los barrenos se encuentran las brocas cambiables simétricas o asimétricas con pastillas de metal duro. La durabilidad de corte entre los afilados es de alrededor de 30 - 150 m de perforación, el tiempo de vida total después de 15 - 25 afilados es de 2000 m de perforación. Las columnas de las máquinas rotoperforadoras manuales constan de un bastidor de tubo doble telescópico que se puede apuntalar al techo con su punta de empuje por medio de un tornillo regulador.

3. Las rocas duras se pueden explotar manualmente por medio de la perforación manual a percusión de huecos para voladura y voladura. Esta es una técnica que hasta ahora está ampliamente divulgada en la Pequeña Minería en la explotación de minerales valiosos, por ejemplo: minerales de oro, wolfram, estaño y piedras preciosas. Las longitudes de avance son mucho más pequeñas que en la explotación mecanizada y son en promedio de 30 cm. La extracción del polvo de perforación del hueco causa dificultades. Para esto sirven pequeñas barritas con la punta doblada y aplanada. Estas barras se introducen en el hueco y el polvo de perforación es raspado hacia afuera.

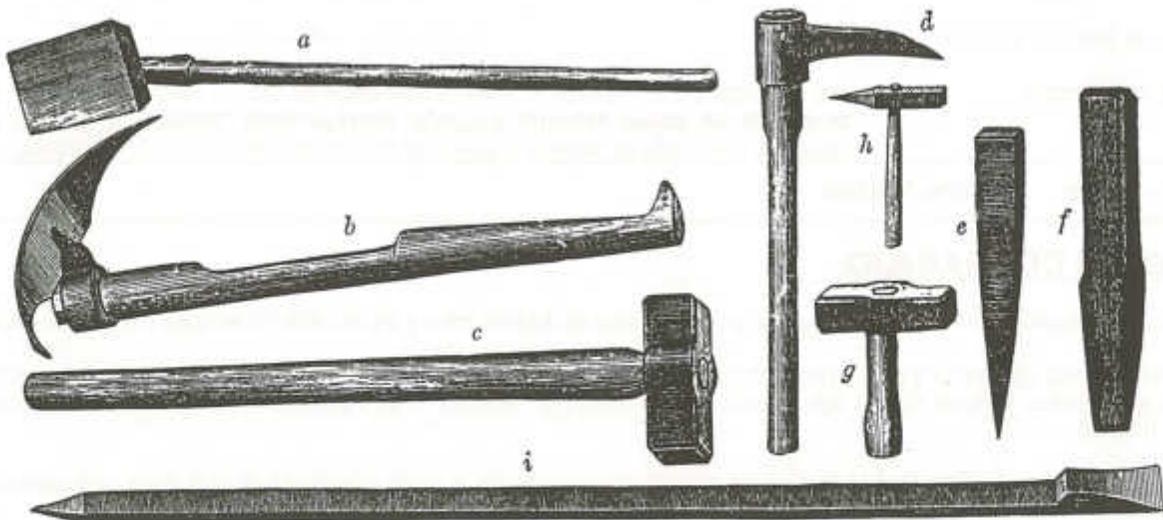
La productividad, medida en cantidad de roca arrancada por turno en la perforación manual, es de aproximadamente 3 - 5 veces mayor que el trabajo de mazo y punta o bien del arranque manual sin voladura.

### FORMAS DE USO:

Explotación manual de materias primas tanto en minería subterránea como a cielo abierto, principalmente en rocas suaves y medianamente duras.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERIA:

La explotación manual en la Pequeña Minería en países en desarrollo tiene gran significado en los lugares donde no se prevee una mecanización de operaciones en interior mina.



Dib.: Herramientas mineras, de Treptow

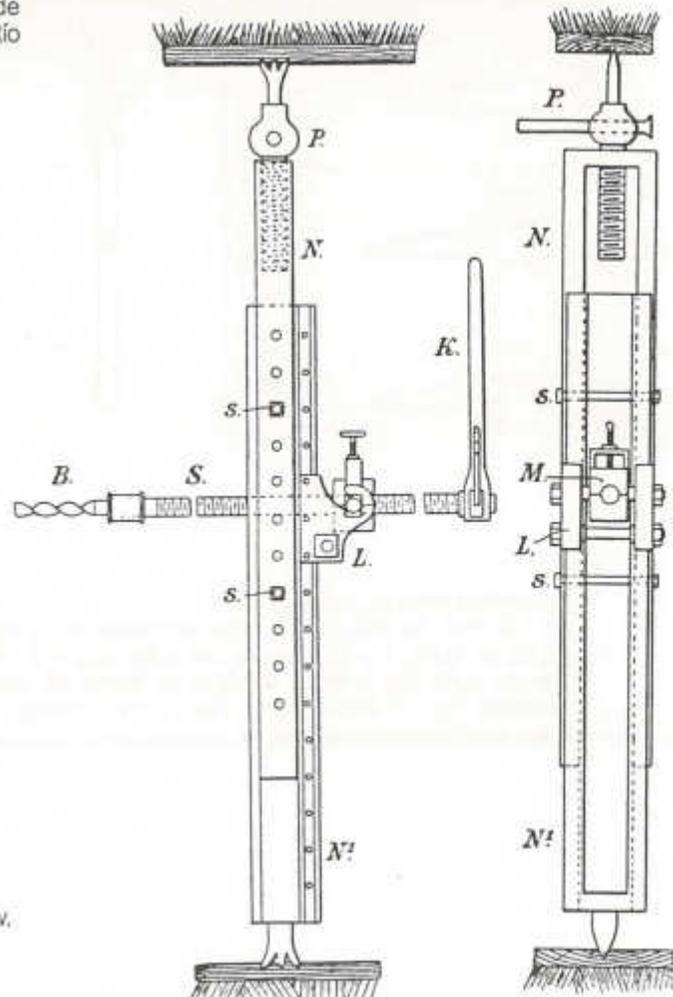
## 7.5 TECNICAS DE EXPLOTACION MANUAL

Trabajos subterráneos en roca suave

Minería subterránea  
Explotación



Explotación manual de carbón con pico en el avance de parte de un piso. Minería del carbón en la región de Río Checua, Cundinamarca, Colombia.

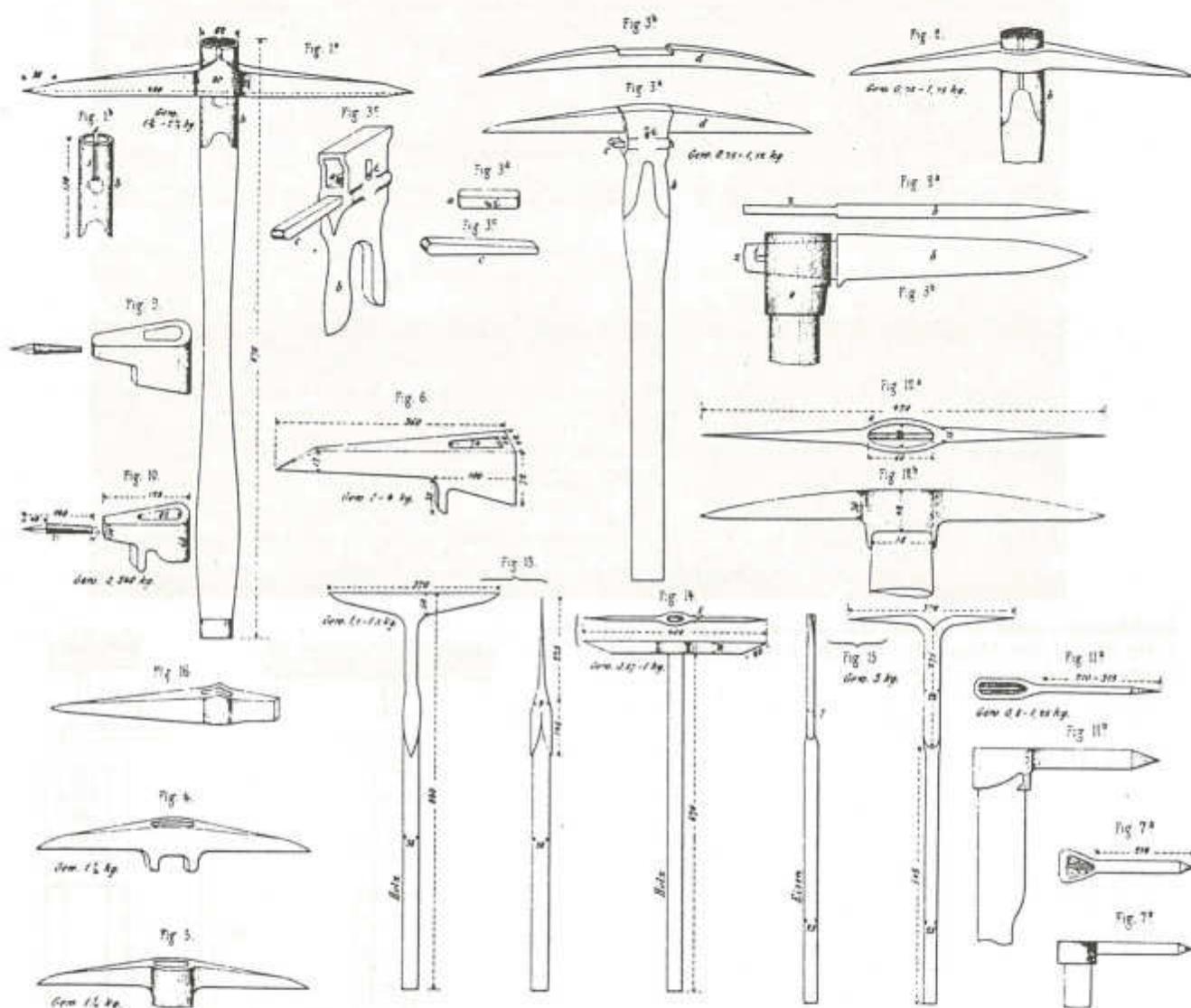


Dib.: Máquina perforadora de Lisbeth, de Treptow.

## 7.5 TECNICAS DE EXPLOTACION MANUAL

Trabajos subterráneos en roca suave

Minería subterránea  
Explotación



Dib.:

Herramientas mineras, de Lengemann:

Fig. 1 - 5: Pico de dos puntas. Hoja cambiable en la Fig. 1 - 3; fijación de la misma al astil por medio de un casquillo en la Fig. 1 y 2; mediante una cuña, según el método de Acme en la Fig. 3; Fig. 6 y 7: Picos sencillos en forma de cuña; Fig. 8: Picos sencillos en forma de cuña con hoja cambiable; Fig. 9 y 10: Picotas con puntas cambiables; Fig. 11: Pico rozador; Fig. 12: Pico rozador doble; Fig. 13 - 15: Pico rozador belga; Fig. 16: Martillo rozador (martillo minero, punta)

## 7.6 BOMBA NEUMÁTICA PARA EXPLOSIVOS

Trabajos subterráneos en general  
Trabajos a cielo abierto en general

Minería subterránea  
Explotación

Español: bomba inyectora  
Aleman: Pneumatische Sprengstoffpumpe, Injektorpumpe

### **DATOS TÉCNICOS:**

Medidas: 70 x 70 x 100 cm; largo, ancho, alto, inclusive tanque de explosivos  
Peso: aprox. 50 kg  
Grado de mecanización: parcialmente mecanizado  
Tipo de energía motriz: neumática  
Forma de trabajo: semi continuo  
Producción/Rendimiento: varios 100 kg de explosivo por hora

### **DATOS ECONÓMICOS:**

Costos de inversión: desconocido  
Costos de operación: costos de aire comprimido y costos de personal  
Costos derivados: costos para la disposición de aire comprimido

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al yacimiento: En yacimientos de carbón con emanaciones de metano y en todos los casos donde se utilizan detonantes eléctricos se tiene que usar mangueras antiestáticas

Divulgación regional: Difundido en todos los lugares donde se usa explosivo granulado

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta  
Contaminación de la atmósfera en la mina con gases y polvos que emanan del explosivo

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: buen taller metal mecánico con tornería

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Roschlau

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Las bombas neumáticas para explosivo sirven para introducir el explosivo en el hueco de la perforación. En ellas corre aire comprimido de una conexión o de un tanque de aire comprimido a través de una tobera Venturi. En la sección más delgada su velocidad es la más alta. En el adelgazamiento de la sección o poco antes de él se surte a la corriente de aire con el explosivo granulado. El explosivo es así transportado a través de la manguera hacia el hueco de la perforación.

Alternativamente un recipiente cerrado con aire comprimido y con el explosivo en su parte inferior puede transportar a éste en forma neumática. Este sistema de transporte tiene un tratamiento más cuidadoso del explosivo, no lo desgasta ni produce polvo que vuele en el aire.

En operaciones no mecanizadas se pueden cargar los cartuchos de explosivos con ayuda de un bastón para cargar.

### **FORMAS DE USO:**

Introducción del explosivo granulado con ayuda de aire comprimido para el avance en galería y en explotación.

## 7.6 BOMBA NEUMÁTICA PARA EXPLOSIVOS

Trabajos subterráneos en general      Minería subterránea  
Trabajos a cielo abierto en general      Explotación

### OBSERVACIONES:

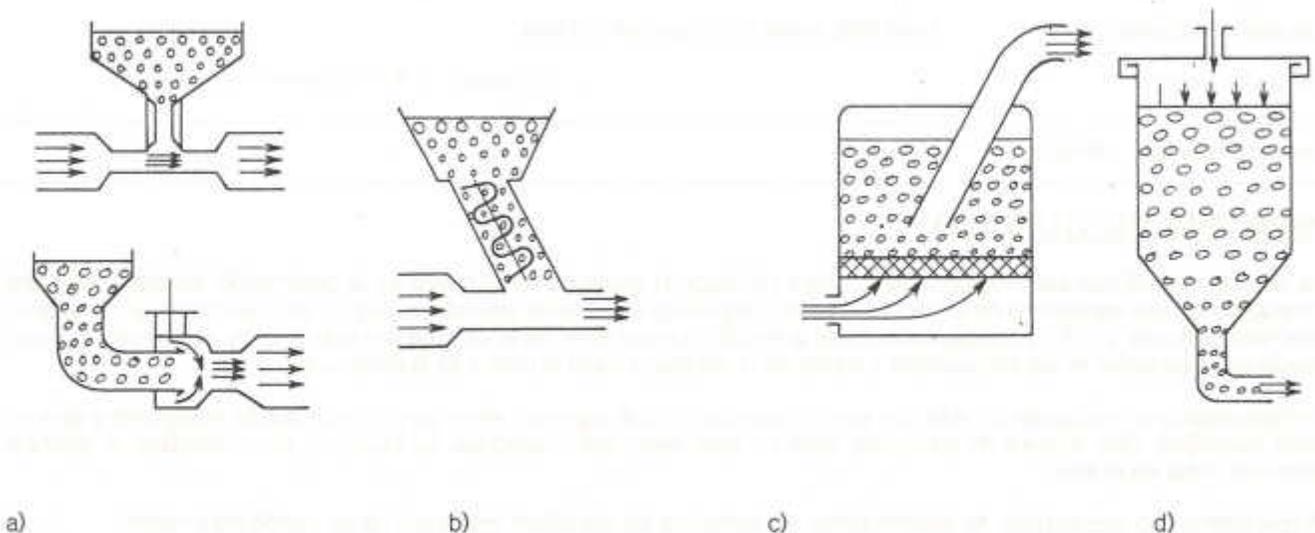
La carga de los huecos de las perforaciones con explosivos se realiza siguiendo los siguientes pasos:

1. Soplado del hueco de la perforación para alejar restos de agua que quedan del lavado durante la perforación o de agua de filtración. El explosivo mojado no enciende bien y conduce a veces a tiros fallidos. Las consecuencias son carga arrancada en bloques muy grandes o interrupciones del tiro. Para el soplado se introduce la manguera de aire comprimido hasta el fondo de la perforación y se deja salir el aire puro a presión, el cual saca el agua. El dispositivo de control debe estar dispuesto de tal manera que pueda regular a elección la mezcla de aire y explosivo, y aire puro a presión.
2. La carga del hueco de la perforación con un cartucho de explosivo brisante y un detonante con sistema de encendido eléctrico o una mecha se realiza con la ayuda de un bastón para cargar o de la manguera de soplar. Esta carga del explosivo en cartucho sirve para la iniciación. Durante la carga del cartucho con el detonante se deben colocar cuidadosamente los cables del detonante eléctrico en el piso de la perforación para que no se dañen.
3. El explosivo de seguridad preparado (ANC, ANO, ANFO, ANDEX), que es una mezcla de nitrato de amonio granulado (94 %) y diesel (6 %), se carga mediante la bomba para explosivos arriba mencionada a través de la manguera de soplado.
4. El retaqueo de la boca de la perforación se hace con greda, pequeñas piedras o tacos de madera.

Lo principal para la calidad del tiro es una buena utilización de la energía que es liberada durante la reacción química del explosivo. Esto se consigue sobre todo llenando completamente el hueco de la perforación con el explosivo o con los elementos mezclados para su dilución.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Las bombas neumáticas para explosivos son aparatos que se pueden fabricar local, fácil y económicamente, y que permiten el empleo de explosivos económicos ANO.



Dib.: Principios de los métodos del transporte por aire comprimido en una vista esquemática, de Roschlau. a) Transportador de tobera; b) Transportador con dispositivo de dosificación; c) Transportador con piso poroso; d) Transportador de recipiente bajo presión.

## Capítulo técnico 8: Carga

### 8.1 PISO DE PLANCHA COMO AYUDA PARA LA CARGA

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Carga

Inglés: mucking sheet  
Aleman: Blechboden als Ladehilfe

#### DATOS TECNICOS:

Medidas: aprox. de 2 x 1 m (varias unidades), 5 mm de espesor  
Peso: aprox. 50 kg  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Forma de trabajo: intermitente  
Producción/Rendimiento: para incremento del rendimiento en el proceso de carga manual

#### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión: si se trata de chatarra, muy pequeños, aprox. 100 DM  
Costos de operación: ninguno

#### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al lugar de operación: debe haber espacio suficiente o bien las planchas tendrán que ser recortadas según la disposición de espacio.

Exigencias al sistema de explotación: en caso de cargar manualmente, o sea cuando no se dispone ni de cucharas de arrastre ni de pala cargadora u otra ayuda mecánica para la carga, se deberán usar las planchas para el piso. Además, éstas son independientes del lugar ya que se emplean también sobre el relleno, sobre cargas minadas, etc., y reducen la dilución o pérdidas de la carga. En Latinoamérica, en uso en algunos lugares

Divulgación regional:

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: utilización de chatarra o simples recortes de acero

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Stout, Treptow

#### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Antes del avance se cubre el piso casi en su totalidad con planchas de metal. Se arroja la carga sobre las planchas de metal ya sea por la voladura o por el arranque manual. La carga manual se ve muy facilitada por estas planchas, especialmente cuando se trata de carga gruesa, debido a que estas planchas permiten un buen deslizamiento de la pala sobre ellas y debajo de la carga, por lo cual la resistencia a la introducción de la pala bajo la carga se ve reducida. Después del proceso de carga estas planchas son colocadas en posición vertical.

#### FORMAS DE USO:

Ayuda en el proceso de carga en los lugares donde se tenga que cargar manualmente, en el avance de galerías, en la explotación, en la profundización de pozos y en lugares de transbordo de carga.

## 8.1 PISO DE PLANCHA COMO AYUDA PARA LA CARGA

Trabajos subterrá-  
neos en general

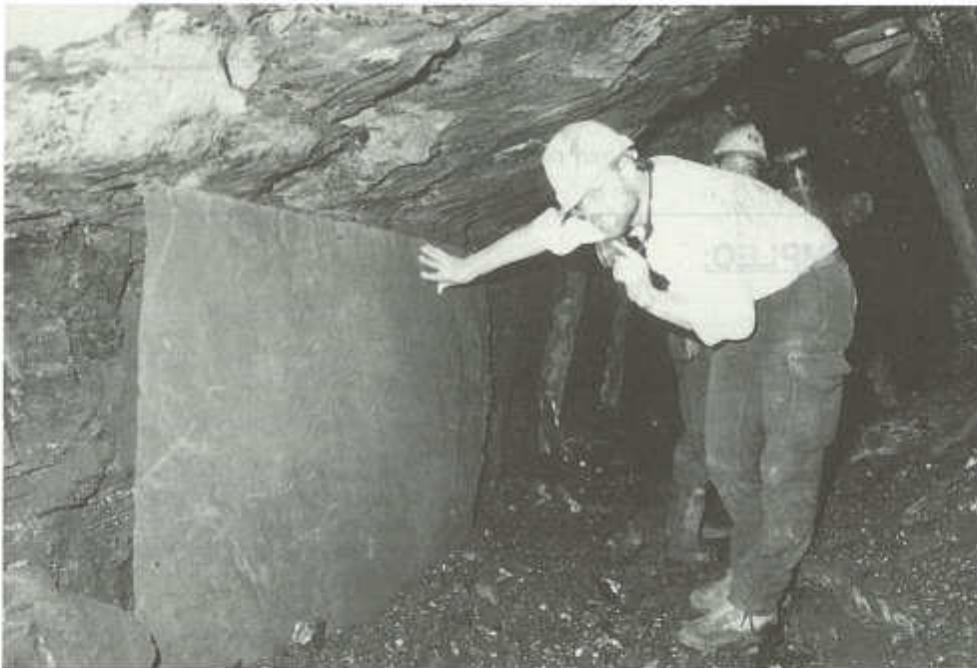
Minería subterránea  
Carga

### OBSERVACIONES:

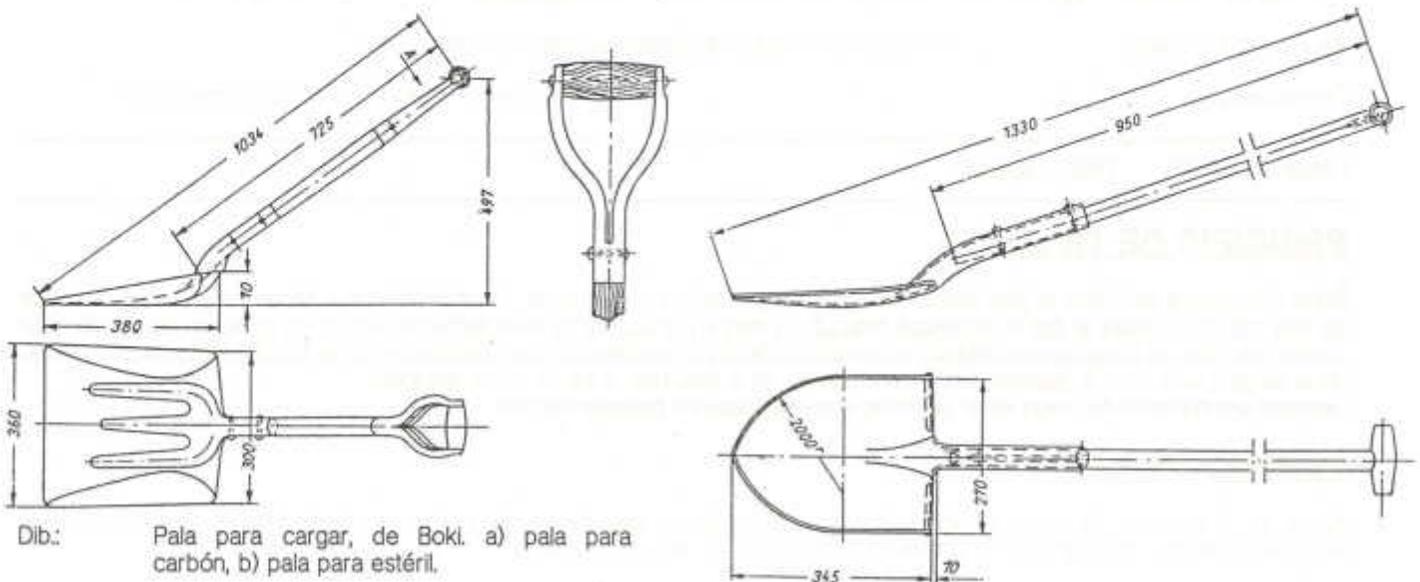
Los pisos de plancha se caracterizan por su largo tiempo de vida, son sencillos y efectivos. Antes de la voladura las planchas colocadas en el piso deben ser cargadas con un poco de material.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Los pisos de plancha son una ayuda ideal para el proceso de carga en la Pequeña Minería no mecanizada. Con muy pocos costos de inversión se pueden alcanzar grandes incrementos del rendimiento, sin modificaciones técnicas ni cambios en el sistema de explotación.



El minero Priester con un piso de plancha, puesto en posición vertical y volteado contra el frente, como ayuda para el proceso de carga. Minería del Carbón en la Región Río Checua, Cundinamarca, Colombia.



## 8.2 RASTRILLO Y PALA PEQUEÑA

Trabajos subterráneos (Minería filoniana) Minería subterránea  
Carga

Aleman: Kratze und Trog

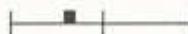
### DATOS TECNICOS:

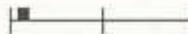
Medidas: rastrillo: 1 m mango, pico de tres puntas; recipiente: aprox. 70 x 50 x 20 cm  
 Peso: todo junto aprox. 15 kg  
 Grado de mecanización: no mecanizado  
 Tipo de energía motriz: manual  
 Producción/Rendimiento: 10 t/HT en operación conjunta  
 Grado de rendimiento técnico: mejora el rendimiento de carga en la carga manual

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión: < 100 DM  
 Costos de operación: ninguno

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos  altos

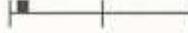
Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al lugar de operación: La carga manual con el rastrillo y la pala pequeña es práctica solamente en la carga de los carros metaleros o al recipiente de transporte del pozo

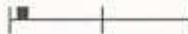
Divulgación regional: desconocido en Latinoamérica

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller metal mecánico simple

Tiempo de vida: muy largo  muy corto  
 aprox. 300 turnos de 8 horas

Literatura, Fuente: Gerth, Salzmann, Gaetzschmann, Treptow, Freiberg Grube Alte Elisabeth

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

El rastrillo y la pala pequeña deben facilitar y efectivizar el proceso de carga. En vez de cargar cada vez con la pala directamente al carro metalero y en ello hacer mucho movimiento para pequeñas cantidades de carga, se carga el material del montón con el rastrillo a la pala pequeña. Cuando ésta está llena se la vacía en el carro metalero.

### FORMAS DE USO:

Carga manual en la Pequeña Minería, los incrementos del rendimiento son posibles con los medios más sencillos.

### OBSERVACIONES:

Antes de la invención de los procesos mecánicos de carga, el rastrillo y la pala pequeña tenían gran divulgación en la minería metálica europea en la Edad Media y hasta en este siglo se siguen empleando sobre todo en la minería de la zona del Harz.

Gaetzschmann diferencia entre los rastrillos de muleta con cabeza forjada cóncava de un ancho de 6 - 8" en forma de media luna y los triangulares.

## 8.2 RASTRILLO Y PALA PEQUEÑA

Trabajos subterrá-  
neos (Minería filoniana)

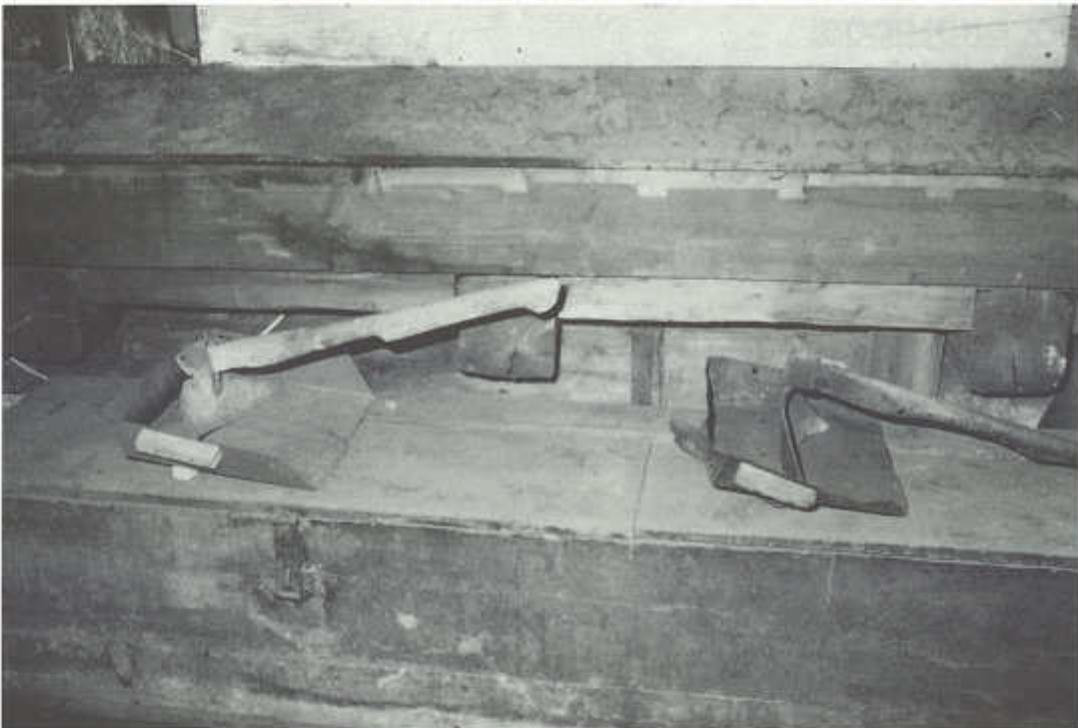
Minería subterránea  
Carga

A la altura de la mitad del mango debe sobresalir una especie de nariz para facilitar el trabajo de jalar.

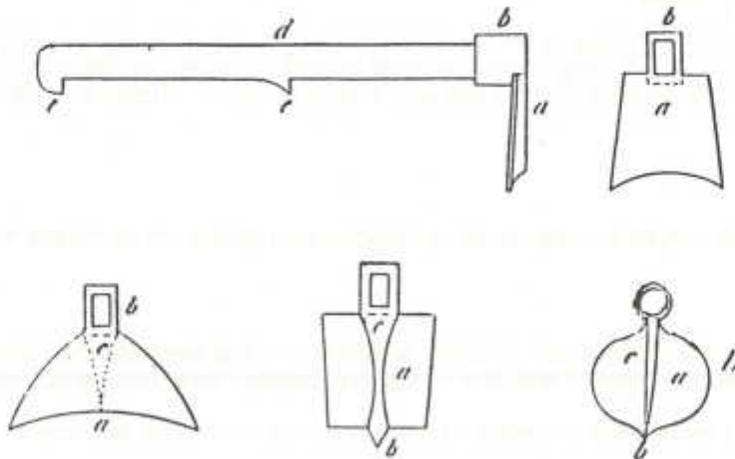
El trabajo con el rastrillo es muy práctico, especialmente en lugares de poco espacio, en los cuales de otra manera se tendría que trabajar con palas de mango muy corto.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Es un medio de ayuda muy apto que con pocos gastos e inversiones aumenta el rendimiento de carga y rebaja la fatiga en el trabajo en la Pequeña Minería con operaciones manuales en Latinoamérica.



Rastrillo y pala pequeña. Se ve claramente la nariz al medio del mango del rastrillo que facilita el jalado del material. Museo minero de Clausthal-Zellerfeld, Harz, Alemania.



Dib.: Diferentes formas de rastrillo, de Gaetzschmann.

## 8.3 TRAILLA CARGADORA

### Trabajos subterrá- neos en general

### Minería subterránea Carga

Español:	cuchara de arrastre
Inglés:	scraper loader
Aleman:	Schrapper, Schrapplader
Fabricante:	Wolff, MAD (de segunda mano)

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	Motor y plataforma de carga 7 m x 2.2 m; se pueden adquirir también de dimensiones más pequeñas
Peso:	varias toneladas
Grado de mecanización:	parcialmente mecanizado
Potencia motriz:	11 kW
Tipo de energía motriz:	eléctrica/solo motor neumático
Forma de trabajo:	intermitente
Producción/Rendimiento:	1350 kg de fuerza de tracción, aprox. 10 m <sup>3</sup> /h
Material:	
Cuál:	Lubricantes

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:

##### **Nuevo:**

Cabrestante (Tambor doble)	18.900 DM
Motor 11 kW	1.410 DM
Cable	680 DM
Cuchara 0,2 m <sup>3</sup>	3.400 DM
Polea de inversión	670 DM
Anclaje del cable + vástago	70 DM
Plataforma de carga	<u>15.000 DM</u>
	40.130 DM

##### **Usado:**

sin motor	7.000 DM hasta	8.000 DM
Motor		2.000 DM
Plataforma de carga		<u>5.000 DM</u>
aprox.		15.000 DM

Costos de operación: costos de personal, costos de energía y costos por desgaste, sobre todo del cable

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	— ■ —	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	— ■ —	altos
Exigencias al lugar de operación:	debido a la pequeña movilidad de la plataforma de carga grande y pesada, el sistema de explotación deberá ser seleccionado de tal manera que se pueda transportar mucho material desde un solo lugar		
Exigencias al yacimiento:	solo utilizable en lugares donde se tenga que transportar de vetas relativamente gruesas o de yacimientos horizontales o semihorizontales		
Aparato que puede reemplazar:	transporte intermedio a rieles, cargador Cavo, pala cargadora		
Divulgación regional:	mundial		
Experiencia del operador:	muy buena	— ■ —	mala
Contaminación ambiental:	baja	— ■ —	muy alta
	solo debido al abastecimiento de energía		
Facilidad de fabricación local:	muy buena	— — ■	mala
Bajo qué condiciones:	eventualmente se puede fabricar la plataforma de carga localmente		
Tiempo de vida:	muy largo	— ■ —	muy corto

Literatura, Fuente: J. Siegert, Stout, Fritsche

## 8.3 TRAILLA CARGADORA

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Carga

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

En el lugar de alimentación o de carga, un cabrestante doble mueve la cuchara por medio de un cable de tracción y otro de retroceso y una polea de retorno anclada en el frente. La cuchara con la boca en la misma dirección del transporte se llena sola, igual que un cepillo, con el material a transportar y es tirada hacia la plataforma de carga por el ramal de cable de tracción donde se vacía hacia abajo en el carro metalero. Por medio del ramal del cable de retroceso (cable loco) la cuchara es recogida otra vez hacia el frente.

### FORMAS DE USO:

La trilla cargadora se utiliza para el transporte sin rieles en galerías horizontales o semihorizontales sobre piso duro (no sobre relleno suelto ni sobre lugares minados antiguos, etc.), por ejemplo en el avance de galerías para el transporte hacia buzones, en explotación de filones de estratificación horizontal, etc.

### OBSERVACIONES:

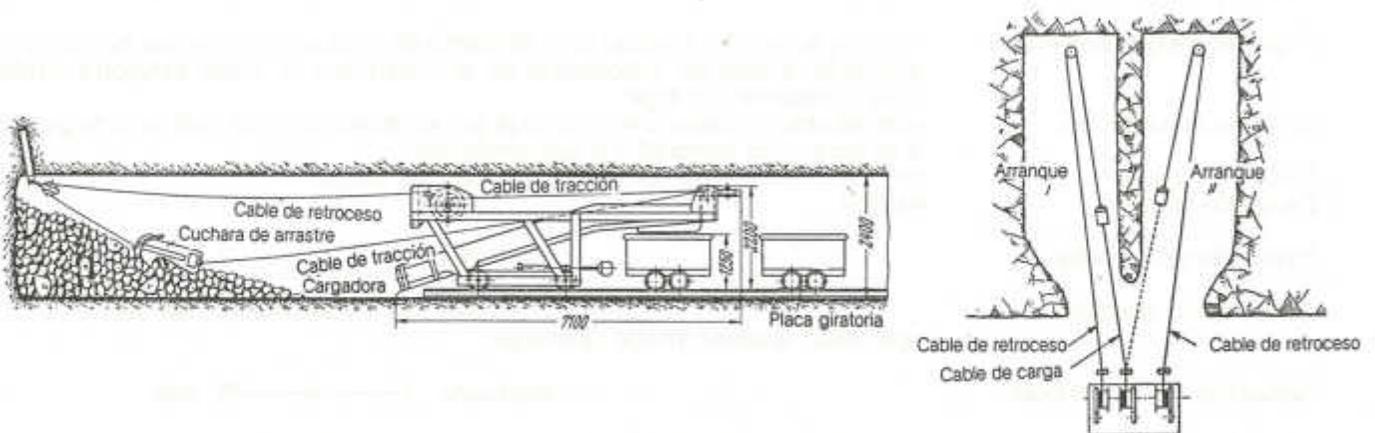
La trilla tuvo gran divulgación en Europa en todas las formas de la minería, pequeña, mediana y grande, hasta mediados de este siglo. La alta confiabilidad y robustez de la máquina ofrecían ventajas especiales. En el mercado de aparatos usados para minería siempre se ofrecen trillas.

La forma constructiva más simple de la trilla, sobre todo económica para el transporte de cargas pequeñas y a cortas distancias, es la trilla manual. En la trilla manual se renuncia totalmente a la instalación de retorno y de desvío; el retorno y la conducción de la cuchara se realizan manualmente. Un hombre atiende la cuchara, mientras que otro hombre atiende la conducción o bien el enganche y desenganche del torno al motor. Las potencias de los motores son de aproximadamente 1.5 a 5 kW, los rendimientos de las trillas son de 10 t/h para 15 a 20 m de distancias a transportar.

En caso de emplear la trilla desde la superficie, la cuchara puede ser movida también mediante otras máquinas motrices. Por ejemplo en Stulln/ Alemania, las pequeñas operaciones mineras de fluorita emplean un motor de auto para mover la trilla.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Para operaciones mayores de la Pequeña Minería, las cuales ya se encuentran trabajando mecanizadamente y muestran las condiciones geológicas del yacimiento correspondientes, la trilla representa un medio apto de mecanización para el proceso de carga a pesar de sus costos de inversión y de operación relativamente altos.



Dib.: Representación esquemática de una trilla cargadora a la izquierda con plataforma de carga sobre rieles, a la derecha una trilla cargadora con tres tambores, de Fritzsche.

**8.4 PALA CARGADORA****Trabajos subterráneos en general****Minería subterránea  
Carga**

Inglés: pneumatic loader  
 Aleman: Wurfschaufellader  
 Fabricante: Salzgitter, MAD (de segunda mano), Atlas Copco

**DATOS TECNICOS:**

SALZGITTER HL 221 T/TSL Typ N  
 Medidas: 1.56 x 1.05 x 2.44 m altura, ancho, profundidad; altura mínima de la galería 2.5 m  
 Peso: 3600 kg  
 Grado de mecanización: parcialmente mecanizada  
 Potencia motriz: 5 - 7 m<sup>3</sup>/min aire comprimido, 50 mm Ø conexión  
 Tipo de energía motriz: neumática  
 Forma de trabajo: intermitente/semicontinua  
 Producción/Rendimiento: 60 - 100 t/h con 160 lt de capacidad de cuchara  
 Material: lubricantes

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: usada 5000 hasta 10.000 DM  
 Costos de operación: bajos

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos altos  
 Gastos de mantenimiento: bajos altos  
 Exigencias al personal: poca  
 Exigencias al lugar de operación: trocha de 450 - 900 mm, aire comprimido  
 Exigencias al mineral: ninguna  
 Aparato que puede reemplazar: carga manual  
 Divulgación regional: mundial  
 Experiencia del operador: muy buena mala  
 Contaminación ambiental: baja muy alta  
 solo debido al abastecimiento de energía  
 Facilidad de fabricación local: muy buena mala  
 Tiempo de vida: muy largo muy corto

Literatura, Fuente: Siegert, Salzgitter, catálogos de empresas, manual de Atlas Copco

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Pala cargadora neumática manejada desde un costado o desde una plataforma. La cuchara se carga por el avance del aparato y se descarga por encima de él en el carro metálico que se encuentra detrás del aparato.

**FORMAS DE USO:**

Carga en el avance de galerías  
 Carga en galerías de transporte debajo de buzones  
 Carga en o desde recortes

Carga en rampas  
 Limpieza/carga en lugares de operación especiales,  
 debajo de buzones, etc.

## 8.4 PALA CARGADORA

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Carga

### **OBSERVACIONES:**

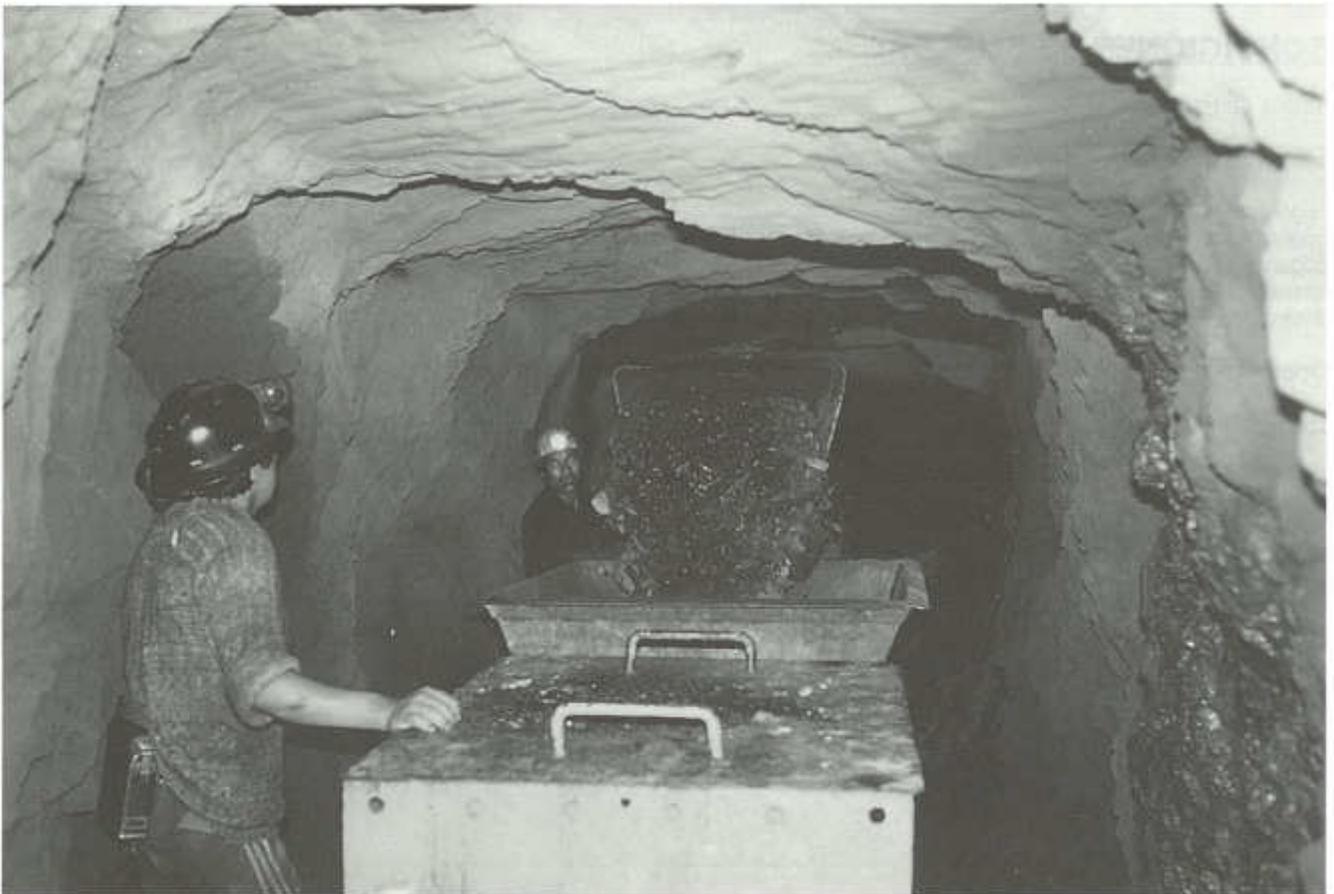
Este tipo de pala, divulgada ampliamente por decenios en las operaciones de la pequeña minería metálica tanto en Europa como también en Latinoamérica y en otros países mineros, se ha caracterizado por su robustez, sencillez y por su largo tiempo de vida.

Estas palas se pueden adquirir también para operaciones en rampas con ángulos de inclinación hasta de 25 grados.

Se emplean como aparatos sobre rieles como también sin rieles. Las palas sin rieles necesitan secciones más amplias de galería.

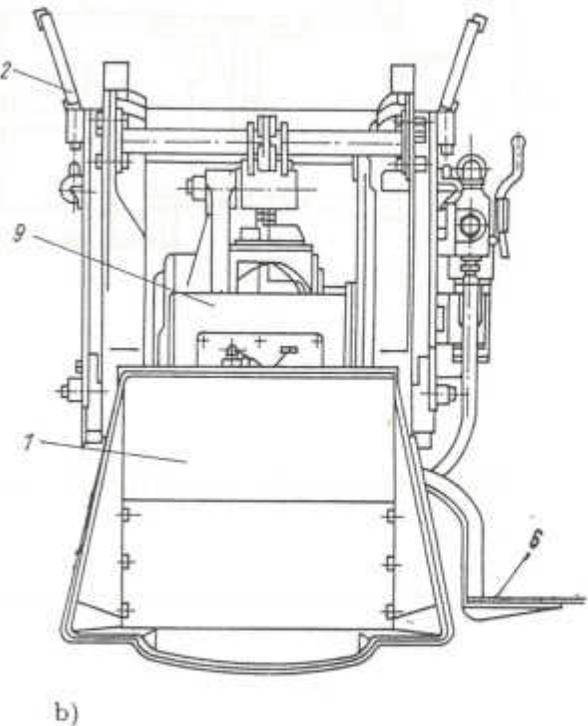
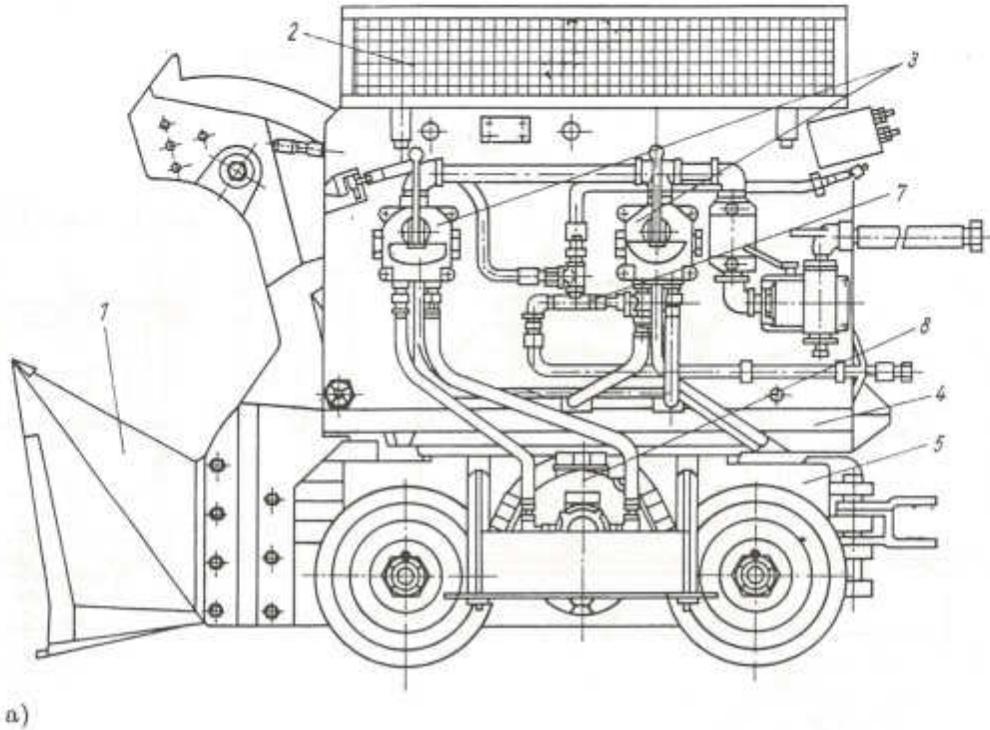
### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

El empleo de las palas cargadoras para la mecanización de labores de carga es razonable en lugares donde ya existe una instalación de perforación mecanizada con buen rendimiento y posibilidad de transporte. Además el sistema de aire comprimido existente debe ser adaptado para el consumo comparativamente alto de aire comprimido de la pala cargadora. Bajo estas condiciones las palas cargadoras están en condición de realizar un proceso de carga económico y con buen rendimiento.



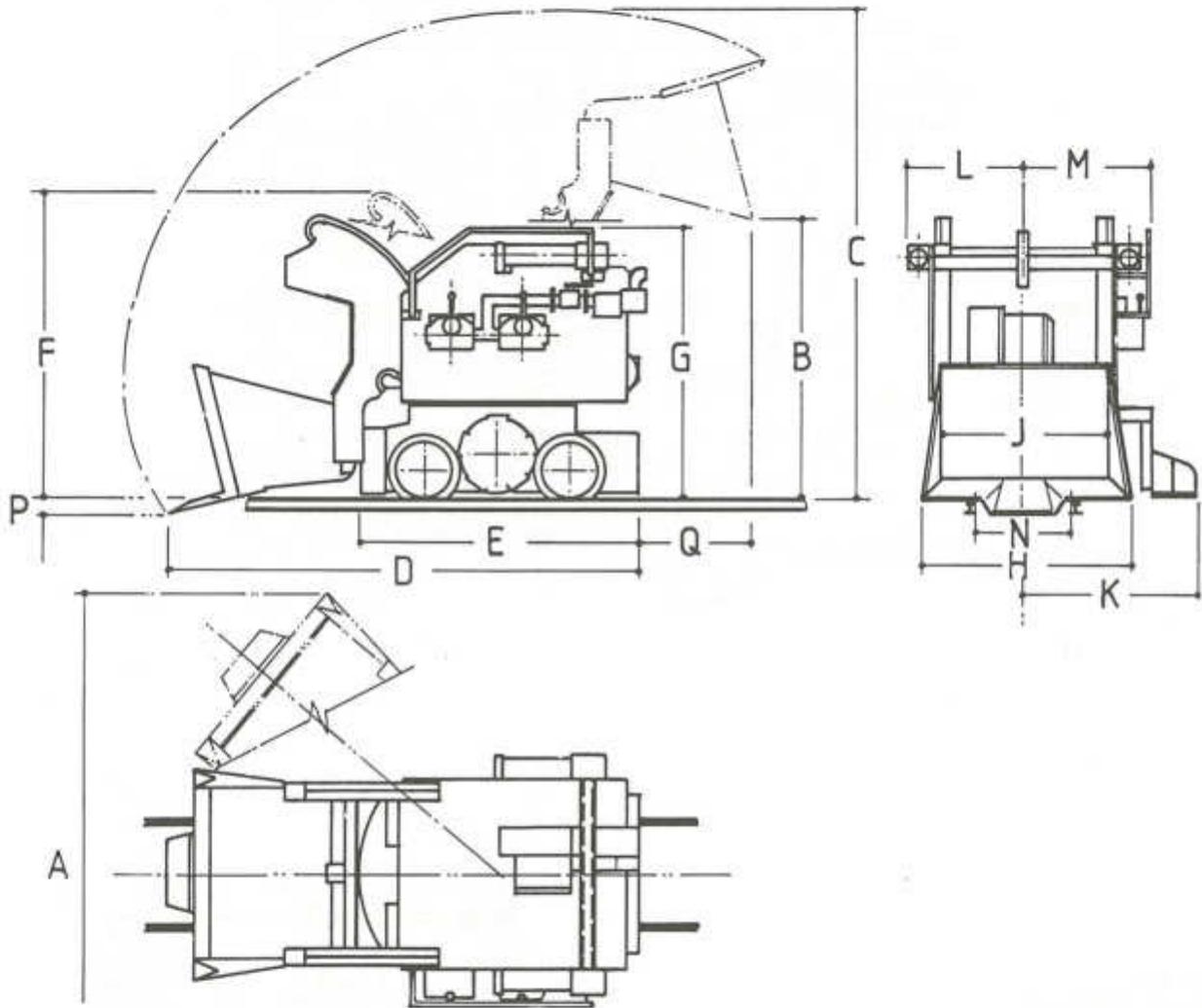
Pala cargadora neumática en proceso de carga a un carro metalero de descarga lateral que es jalado por una pequeña locomotora a batería. Minería de plomo y zinc en la mina San Lorenzo en Potosí, Bolivia.

## 8.4 PALA CARGADORA

Trabajos subterrá-  
neos en generalMinería subterránea  
Carga

- 1) Cuchara
- 2) Reja de protección
- 3) Comandos
- 4) Plataforma superior
- 5) Mecanismo de avance
- 6) Pisadera
- 7) Instalación de rocío
- 8) Motor de avance
- 9) Motor de elevación

Dib.: Pala cargadora PPN - 1s, de Roschlaui  
a) Vista lateral  
b) Vista frontal

**8.4 PALA CARGADORA**Trabajos subterrá-  
neos en generalMinería subterránea  
Carga

Dib.: Pala cargadora, de información de la Empresa Salzgitter

## 8.5 TOLVA DE BUZON

Trabajos subterrá-  
neos en general  
(estratificación  
empinada)

Minería subterránea  
Carga

Español:	cajon para cargar
Inglés:	chute, arcgate
Aleman:	Bunkerschurre, Ladekasten

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 2 x 2 x 2 m
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	ayuda para el proceso de carga aprovechando la fuerza de gravedad
Posibilidades alternativas:	para el proceso de apertura, cilindro neumático
Forma de trabajo:	intermitente
Materia:	ninguno

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	en caso de construcción con madera de la mina, muy bajos costos de material
Costos de operación:	ninguno

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al yacimiento:	empinado, especialmente yacimientos filonianos empinados, en los cuales la diferencia de altura puede ser aprovechada para el proceso de carga. Especialmente adecuada en operaciones mineras con socavones, en las cuales la galería de extracción a la superficie se encuentra por debajo de los lugares de explotación.		
Exigencias al sistema de explotación:	Todos los sistemas de explotación que tengan la dirección de arranque hacia arriba y permitan un almacenamiento parcial		
Aparato que puede reemplazar:	Cargadora, pala cargadora debajo de buzones		
Divulgación regional:	bastante divulgada en la minería mediana; desconocida en la pequeña minería		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	construcción sencilla con madera de mina (callapo)		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Stout, Fritsche, Armstrong

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Las tolvas de los buzones o los cajones para cargar que se encuentran debajo de los espacios abiertos por el arranque debajo de chimeneas o buzones retienen el material a transportar a la altura de carga de los carros metaleros. Una vez abierta la puerta del buzón el material a transportar cae al carro metalero por gravedad.

### **FORMAS DE USO:**

En almacenamientos intermedios y para la carga de carros metaleros en la galería de transporte.

## 8.5 TOLVA DE BUZON

Trabajos subterrá-  
neos en general  
(estratificación  
empinada)

Minería subterránea  
Carga

### **OBSERVACIONES:**

La carga que tiende a una formación de puente y de esta manera impide el desarrollo expedito del transporte por gravedad, puede ser problemática.

El almacén debería tener siempre cierta carga mínima que amortigüe los golpes directos sobre la puerta de carga para alargar su tiempo de vida.

### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Bajo condiciones apropiadas (geología del yacimiento, sistema de explotación), mediante las tolvas de los buzones se evitan transbordos frecuentes de carga y se aprovecha la gravedad para el proceso de carga. Debido a esto las tolvas para los buzones son muy aptas para la minería a pequeña escala poco mecanizada.

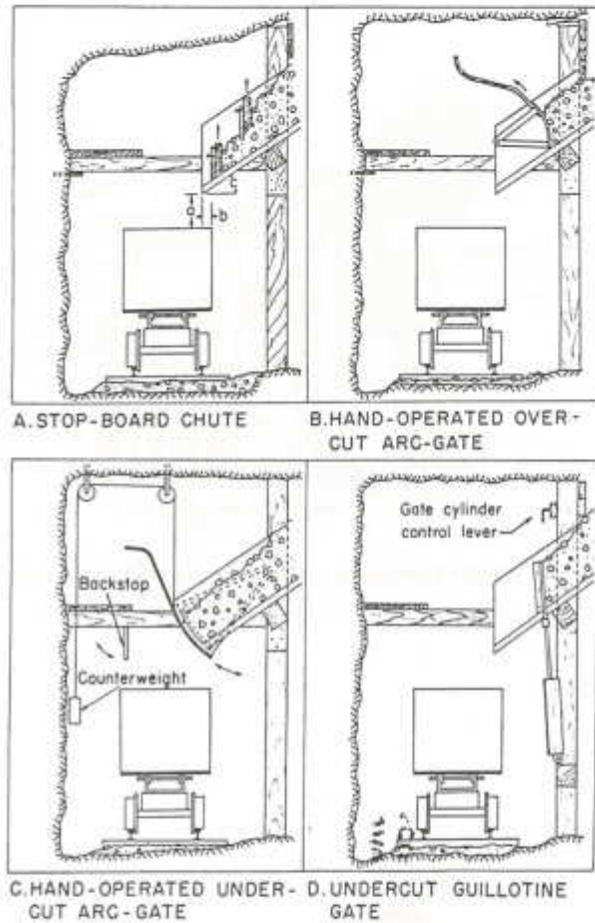


Tolva de buzón en el proceso de carga de un carro metálico. Mina de estaño Totoral, Oruro, Bolivia.

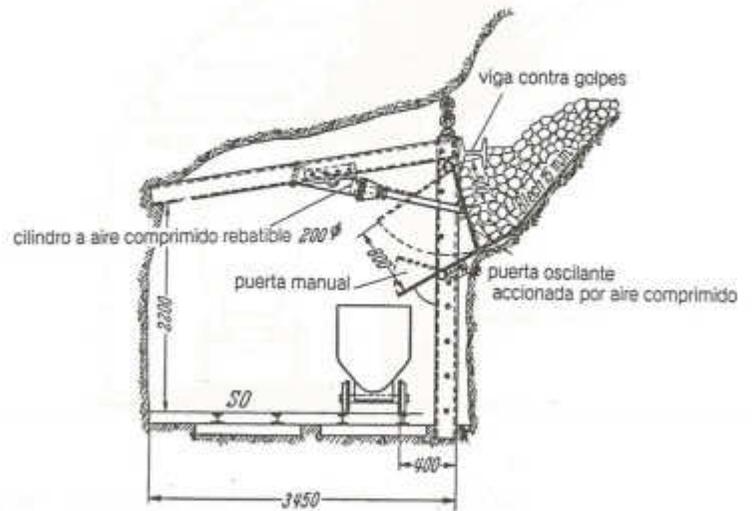
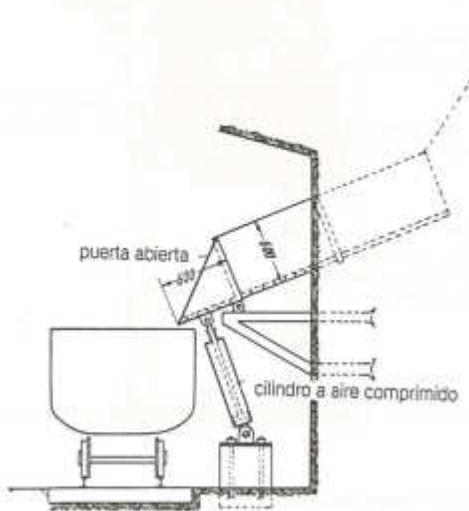
## 8.5 TOLVA DE BUZON

Trabajos subterrá-  
neos en general  
(estratificación  
empinada)

Minería subterránea  
Carga



Dib.: Tolva de buzón, de Stout

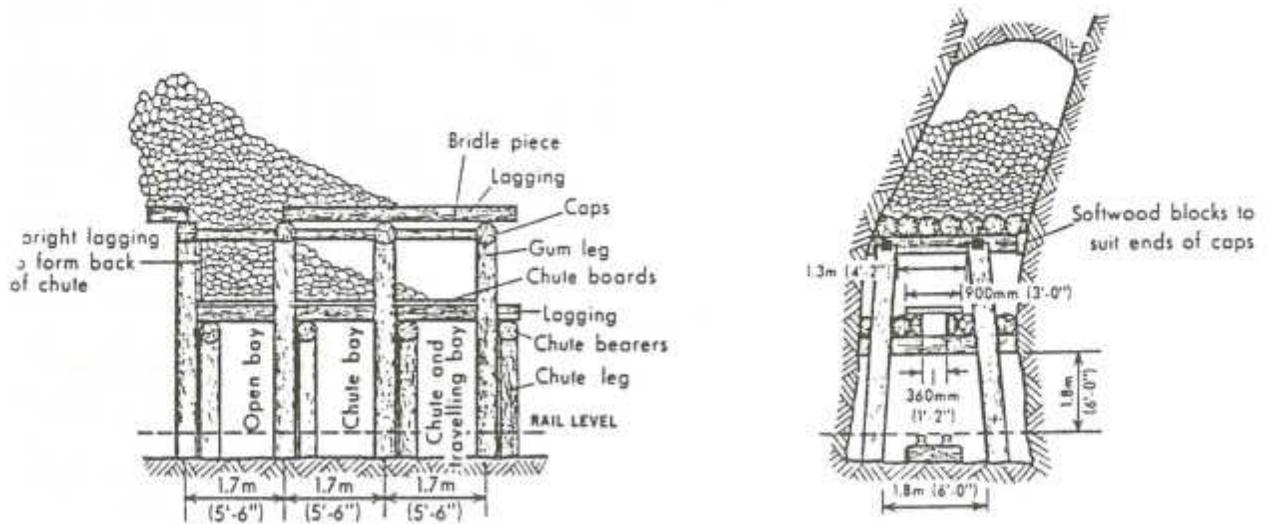


Dib.: Tolva de buzón con accionamiento a aire comprimido; a la izquierda, cierre de la chimenea desde abajo; a la derecha, cierre de la chimenea desde arriba, de Fritzsche.

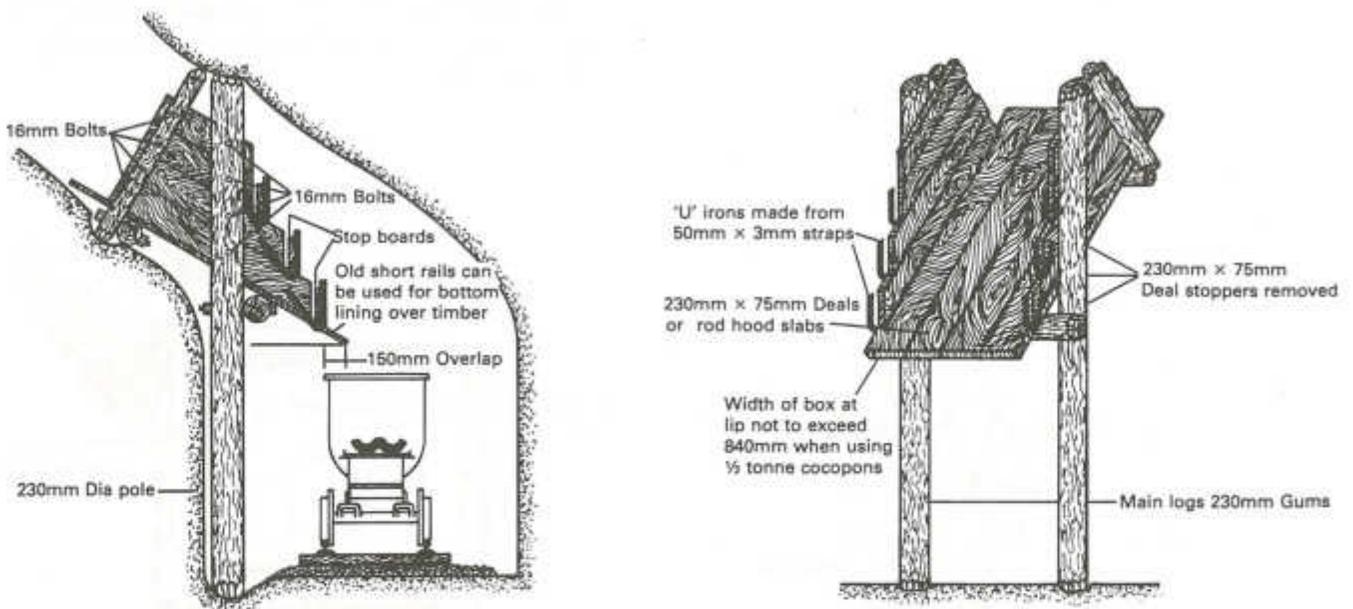
## 8.5 TOLVA DE BUZON

Trabajos subterráneos en general  
(estratificación empinada)

Minería subterránea  
Carga



Dib.: Cajón para cargar; a la izquierda, corte longitudinal; a la derecha, vista de frente, de Armstrong



Dib.: Cajón para cargar; a la izquierda, vista lateral; a la derecha, vista en perspectiva, de ITDG

## Capítulo técnico 9: Transporte

### 9.1 GÜINCHE MANUAL

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Transporte

Español:	malacate, torno
Inglés:	windlass, winch
Aleman:	Handhaspel, Winde
Fabricante:	INCOMAQ, COMESA, DERENA, FIMA; metal Callao, E.P.S.

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 2 x 1.5 x 1 m, ancho, profundidad, altura
Peso:	aprox. 100 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado
Potencia motriz:	0.3 - 0.6 kW en operación de 2 hombres
Tipo de energía motriz:	manual
Posibilidades alternativas:	malacate, hidromecánica con rueda hidráulica
Forma de trabajo:	intermitente
Producción/Rendimiento: de rendimiento técnico:	profundidad hasta aprox. 45 m, máximo 100 m con velocidad de extracción de 0.1 - 0.2 m/s muy alto si la fricción es pequeña

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	aprox. 200 DM, en fabricación local de madera
Costos de operación:	solo costos de personal
Costos derivados:	cable, recipiente de extracción con capacidad de 0.05 - 0.2 m <sup>3</sup>

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	----- ■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■----- -----	altos
Exigencias al lugar de operación:	pozo o bien pozo ciego con salón para el gúinche sobre la galería de transporte o sobre la galería		
Aparato que puede reemplazar:	transporte típico de la Pequeña Minería mediante el saco de cuero con cable tirado a mano		
Divulgación regional:	en Latinoamérica, también en la Pequeña Minería		
Experiencia del operador:	muy buena	■----- -----	mala
Contaminación ambiental:	baja	■----- -----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	■----- -----	mala
Bajo qué condiciones:	taller mecánico o de carpintería		
Tiempo de vida:	muy largo	----- ■-----	muy corto

Literatura, Fuente: Agrícola, Delius, Hartmann, Hentschel, Wagenbreth, Slotta

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El cable de extracción es enrollado a mano en un tambor acoplado directamente a una o dos manivelas.

#### **FORMAS DE USO:**

Transporte de mineral, material y agua como también de personal en la Pequeña Minería tradicional en pozos y galerías.

#### **OBSERVACIONES:**

Suspensión del gúinche manual con contrapeso y contracable para la reducción necesaria del momento de palanca. El tambor es construido en forma cónica para uniformar el momento de carga estático. Cuando el recipiente de extracción o canasto

## 9.1 GÜINCHE MANUAL

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Transporte

cuelga al fondo del pozo, el peso es correspondientemente mayor debido al peso del cable. El momento de carga del güinche se reduce para tal efecto debido al pequeño diámetro del tambor, mientras que durante el enrollado más pesado de la carga útil el peso del cable colgante se vuelve más pequeño y el diámetro del tambor crece. La fórmula para el caso de carga estática:

$$M_{\text{estát.}} = r_{\text{tambor}} \times (\text{Carga útil} + \text{Peso del recipiente} + \text{Peso del cable colgante})$$

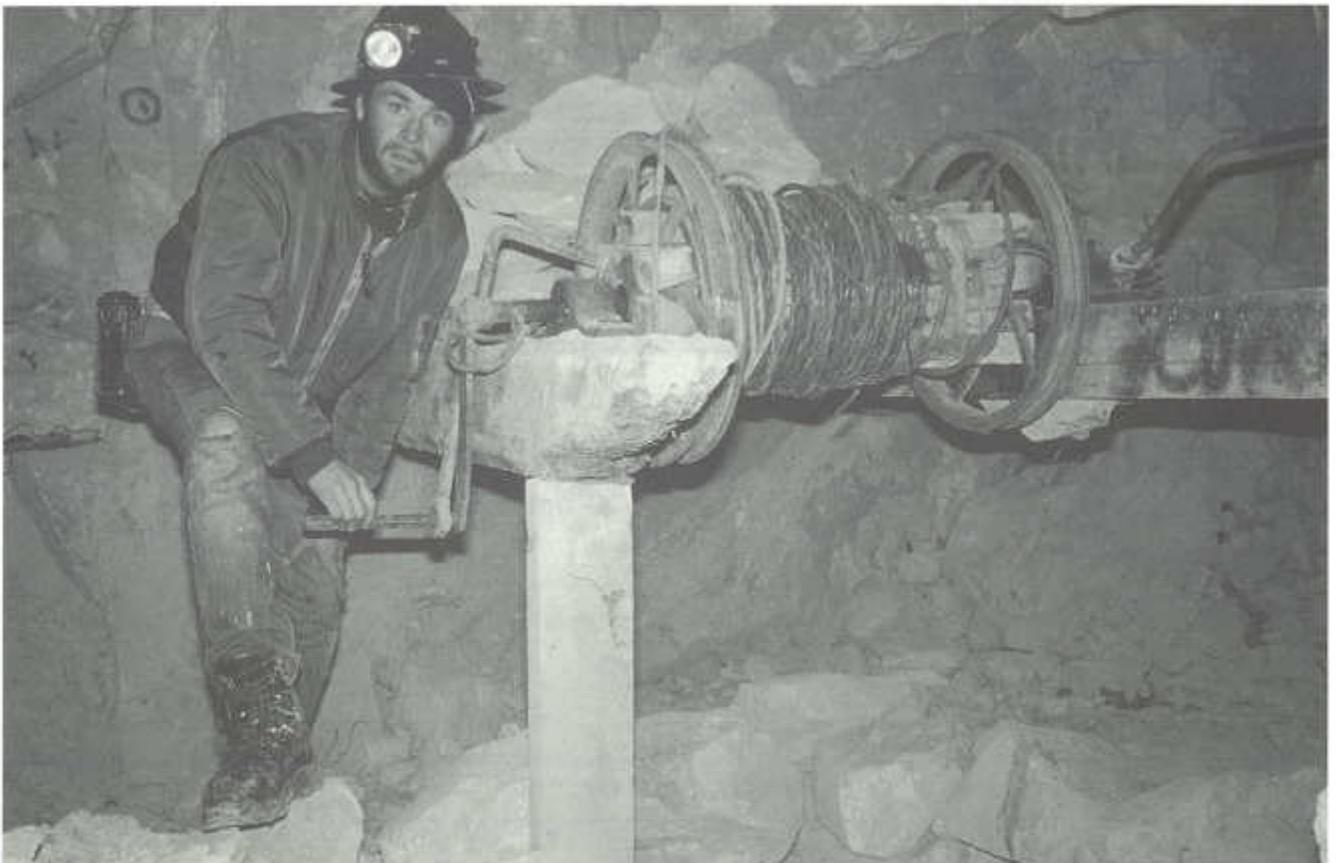
posibilita el cálculo del ángulo del cono del tambor.

Cuando se transporta personal necesariamente se deben emplear mecanismos de bloqueo y frenos.

Las pérdidas por fricción se reducen mediante la construcción de cojinetes de poca fricción.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

En comparación a la forma sencilla tradicional del transporte con sacos de cuero y cable, el güinche manual representa un importante alivio en el trabajo, especialmente cuando se trata de un güinche con doble tambor con buenos cojinetes. En la superficie se debe preferir la utilización de la fuerza de tracción animal.

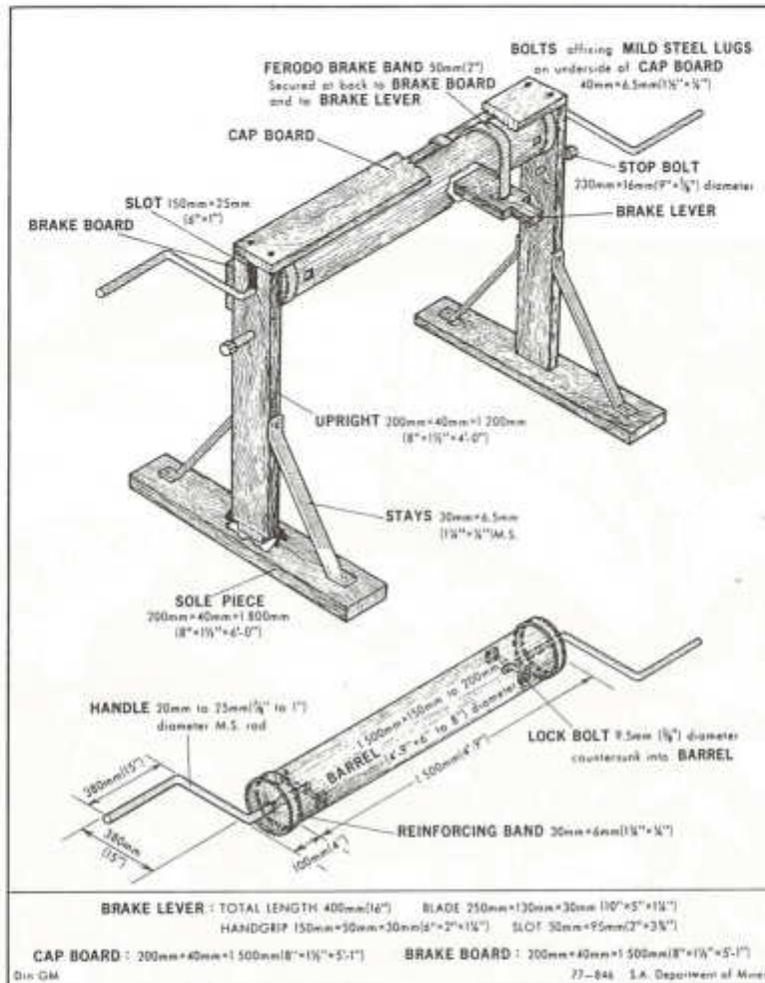


Güinche manual para el transporte en un pozo ciego con el minero Hentschel. Minería de Plomo-Plata-Estaño en Candelaria, Sud Lípez, Bolivia.

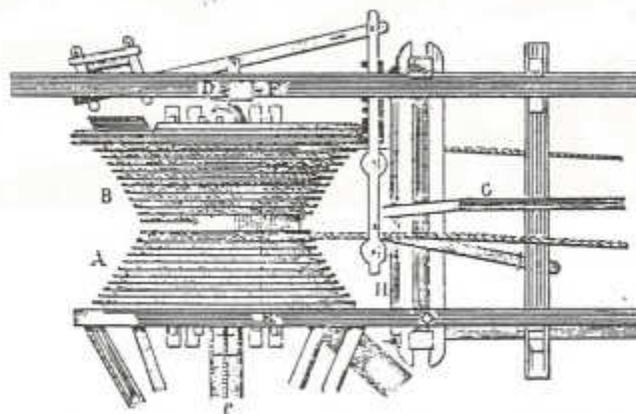
9.1 GÜINCHE MANUAL

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Transporte



Dib.: Güinche manual con freno, de Armstrong



Dib.: Forma del cabrestante del güinche para la compensación del peso del cable por medio de la construcción cónica, en operaciones de doble cable, de Ponsor.

## 9.1 GÜINCHE MANUAL

Trabajos subterrá-  
neos en general

Minería subterránea  
Transporte



Marco delante del pozo A. Marco detrás del pozo B. Estacas con punta C. Maderas transversales D. Soportes E. Fierros de los postes F. Arbol redondo G. Sus espigas H. Madera I. Manivela K. Cable L. Gancho del cable M. Recipiente N. Su arco O.

## 9.2 MAQUINA DE EXTRACCIÓN CON CHASIS DE AUTO

Trabajos subterráneos en general      Minería subterránea  
Transporte

Español: indicador de profundidad para el transporte en el pozo  
Aleman: Fördermaschinen mit PKW-Chassis, Teufenstandsanzeiger für Schachtförderung

### DATOS TECNICOS:

Peso:	aprox. 500 a 800 kg		
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado		
Potencia motriz:	30 - 100 kW		
Tipo de energía motriz:	motor a combustión		
Posibilidades alternativas:	ninguna		
Forma de trabajo:	intermitente		
Material:			
Cuál:	lubricantes	combustibles	agua para refrigeración
Cantidad:	aprox. 1 lt/10 hrs de trabajo	5 - 15 lt/hrs de trabajo	

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	para la adquisición de chasis usado aprox. 2000 DM
Costos de operación:	altos costos de combustibles
Costos derivados:	cable de extracción y recipiente para la carga

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al sistema de explotación:	la estructura de la mina debe permitir el transporte por el pozo, ya sea vertical o inclinado desde la superficie		
Aparato que puede reemplazar:	malacate, gúinche, etc.		
Divulgación regional:	divulgado en la minería colombiana, también en operación en el ascensor de ski en Chacaltaya, Bolivia		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
	contaminación por aceite usado y por gases de escape		
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	adaptación de partes viejas de auto mediante un mecánico de autos.		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Hentschel, Priester

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Como un sistema simple de extracción la Pequeña Minería usa chasis de auto o de tractor en los cuales todavía existe motor, embrague, transmisión, diferencial y eje de tracción. Un lado de la tracción está trancado y en el otro lado se enrolla el cable en el aro como tambor para el cable. El radiador es reemplazado por un turril grande abierto, del cual sale agua en circuito para la refrigeración. La extracción se maneja por medio de cambios para atrás o para adelante y por el freno.

Una ayuda importante para el manejo de una máquina de extracción, especialmente cuando por el excesivo ensuciado del cable o cosas similares es imposible colocar una señal en el cable, son los indicadores de profundidad, los cuales muestran sobre una pizarra bien visible el lugar en que se encuentra la jaula o el recipiente de transporte. Formas sencillas de construcción de indicadores de profundidad son:

## 9.2 MAQUINA DE EXTRACCIÓN CON CHASIS DE AUTO

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Transporte

- Indicadores de hilo, en los cuales un hilo se enrolla alrededor del filete en un perno roscado que está en el eje de la máquina de extracción o en el tambor para el cable. El hilo que corre sobre una rosca limpia y un tambor de retorno es de un material poco extensible. La punta del hilo, ligada a un peso, indica exactamente en una escala callbrada la posición del recipiente de transporte.
- Indicadores de rosca, en los cuales una vara con rosca está acoplada al eje del tambor para el cable o de la máquina de extracción y sobre la cual se desliza una tuerca trancada en su giro por una espiga.

Para el funcionamiento de los indicadores de profundidad es necesario un enrollado parejo del cable de extracción.

Fuera de los indicadores de profundidad el uso de sistemas de señales es práctico, por ejemplo, señales de campana (ver 1. Foto técnica 4.3). Incluso en pozos inclinados se pueden manejar señales de campana mecánica a varios cientos de metros de distancia. El martillo de la campana instalada en la boca mina se mueve por medio de un alambre suelto. Por razones de seguridad en pozos donde se transporta material y personal a la vez, el manejo de las señales de campana debe ser posible desde cada lugar de operación.

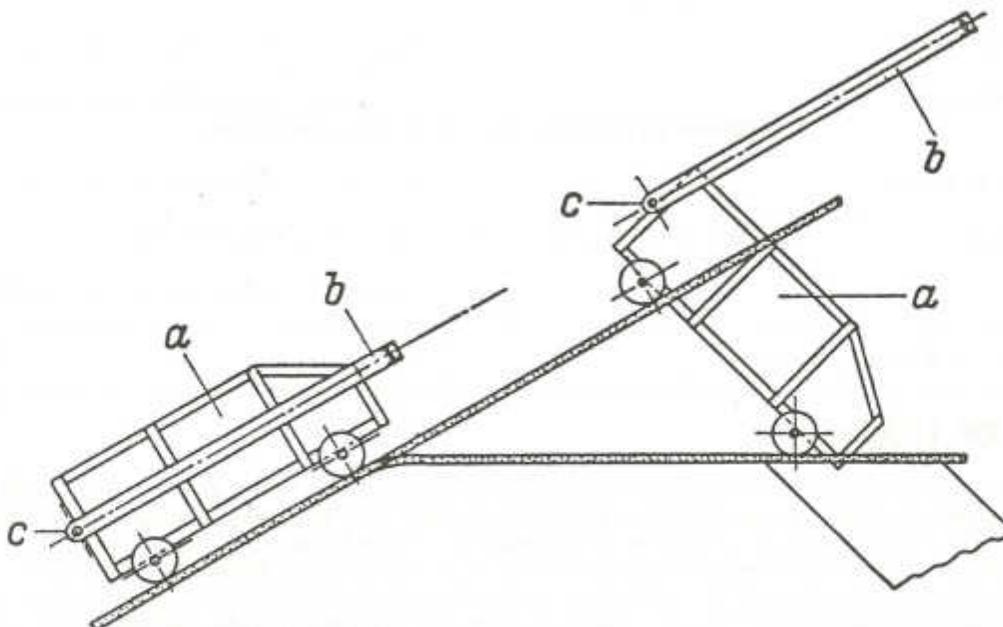
### OBSERVACIONES:

Las ventajas se encuentran en el alto grado de conocimiento de la técnica automotriz, por el cual generalmente las reparaciones son realizadas por personal local, la fácil adquisición de repuestos y los costos comparativamente bajos.

Para evitar el desgaste del cable en los pozos inclinados es necesario utilizar poleas sobre las cuales el cable corre libremente. De ninguna manera debe arrastrarse el cable sobre el suelo. Al mismo tiempo se debe engrasar el cable para evitar la corrosión. De esta forma se prolonga considerablemente el tiempo de vida del cable de extracción.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Los chasis de auto son de buen uso para fines de extracción sobre todo debido a que en todas partes se pueden conseguir a buen precio en el mercado de cosas usadas y en general existe un buen conocimiento de su mantenimiento y reparación.



Dib.: Carro de volteo para transporte inclinado, de Fritzsche

## 9.2 MAQUINA DE EXTRACCIÓN CON CHASIS DE AUTO

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Transporte



Chasis de tractor como máquina de extracción en una rampa y carro metalero rígido (de vaciado frontal). Minería del carbón en la región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia.

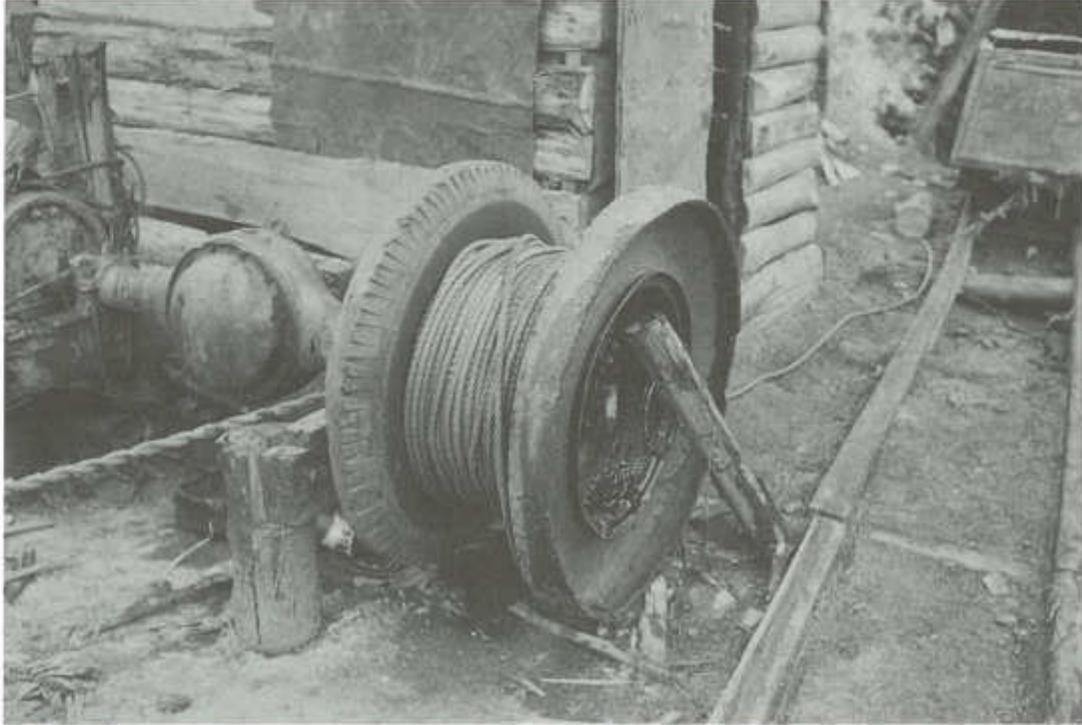


Chasis de camión para extracción en pozo inclinado. A la izquierda del cuadro el turril que sirve para la refrigeración. Minería del carbón en la región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia.

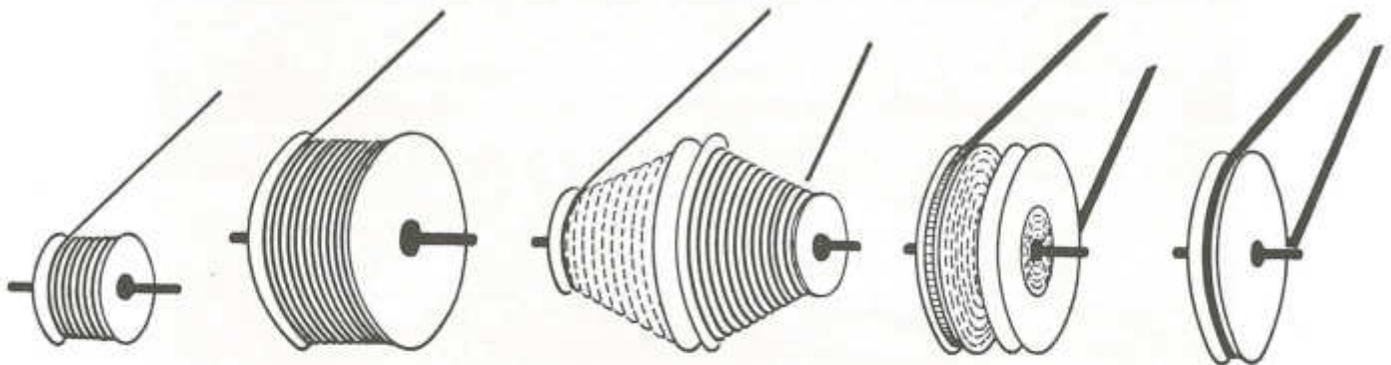
## 9.2 MAQUINA DE EXTRACCIÓN CON CHASIS DE AUTO

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Transporte



Detalle de un tambor de extracción de una máquina de extracción montada sobre un chasis de camión con llantas partidas para la protección contra el desgaste del cable de tracción. Al fondo las rieles de madera con el carro metalero y la boca mina de la rampa. Minería del carbón en la región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia.



pequeño tambor para el cable

grande

tambor en forma de espiral

bobina (con cable plano)

polea motriz (polea de Koepe)

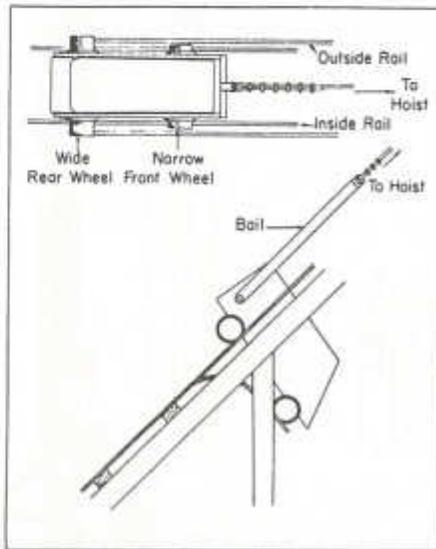
Desarrollo de las máquinas de extracción para pozos de grandes profundidades, con máquina a vapor o a motor eléctrico, respectivamente. Pequeño tambor para el cable para pozos de pequeñas profundidades - fue agrandado para pozos profundos se lo transformó en tambor con forma de espiral para obtener un pequeño brazo de palanca en carga grande (jaula de transporte en la profundidad + peso del cable) - fue de alguna manera aplanado en forma de bobina, donde se mantuvo el principio de acción del tambor en forma de espiral - reemplazado por el nuevo principio de acción de la polea de Koepe: ambas jaulas de transporte en un cable común (compensación del peso por medio del cable inferior en el pozo)

Dib.: Desarrollo del tambor para el cable, de Wagenbreth

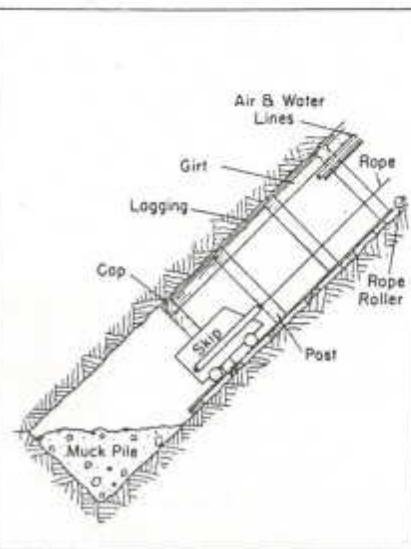
**9.2 MAQUINA DE EXTRACCIÓN CON CHASIS DE AUTO**

Trabajos subterráneos en general

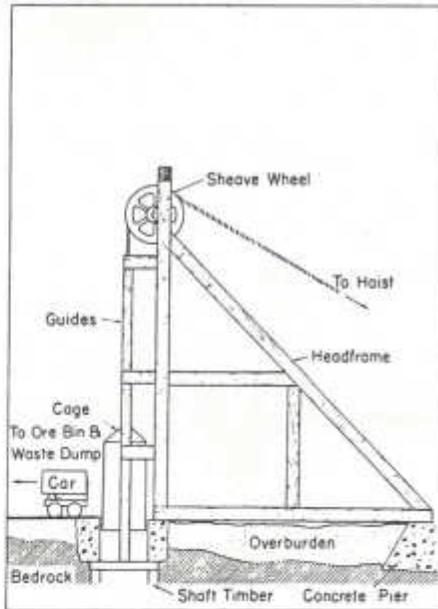
Minería subterránea  
Transporte



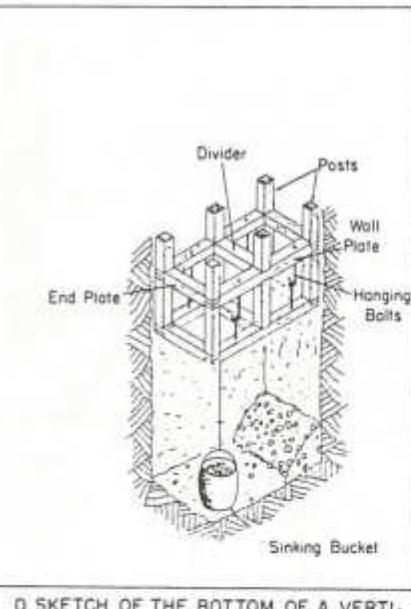
A. SKETCH OF THE DUMPING ARRANGEMENT FOR A SKIP USED IN AN INCLINED SHAFT



B. SKETCH OF THE BOTTOM OF AN INCLINED SHAFT SHOWING VARIOUS PARTS OF THE SHAFT



C. SKETCH OF A VERTICAL SHAFT HEADFRAME



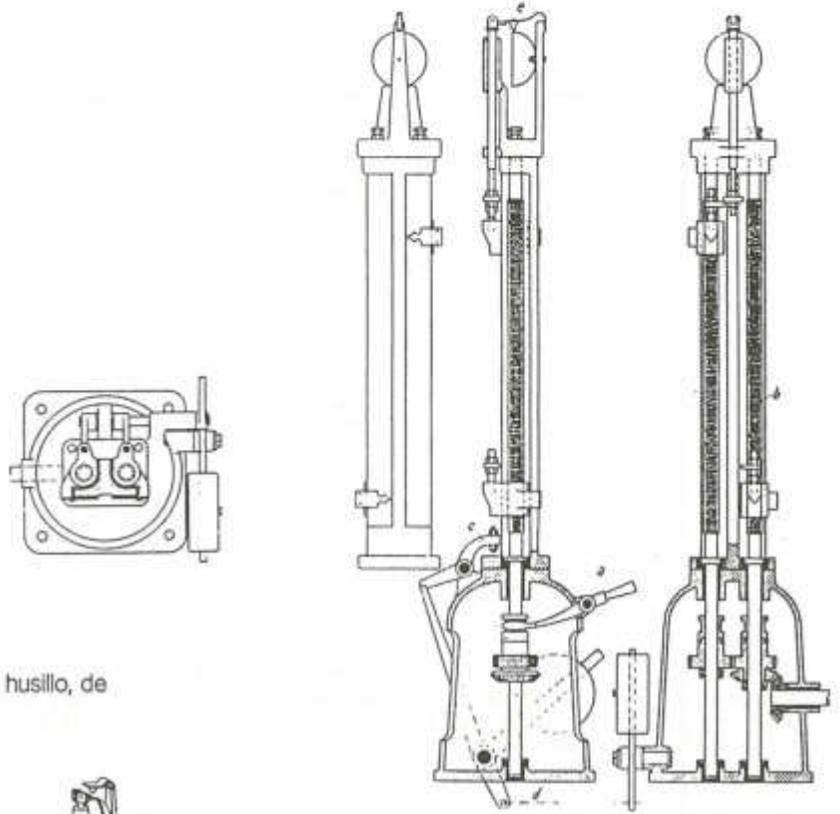
D. SKETCH OF THE BOTTOM OF A VERTICAL SHAFT AND THE TIMBER NOMENCLATURE

Dib: Sistema de extracción según Stout

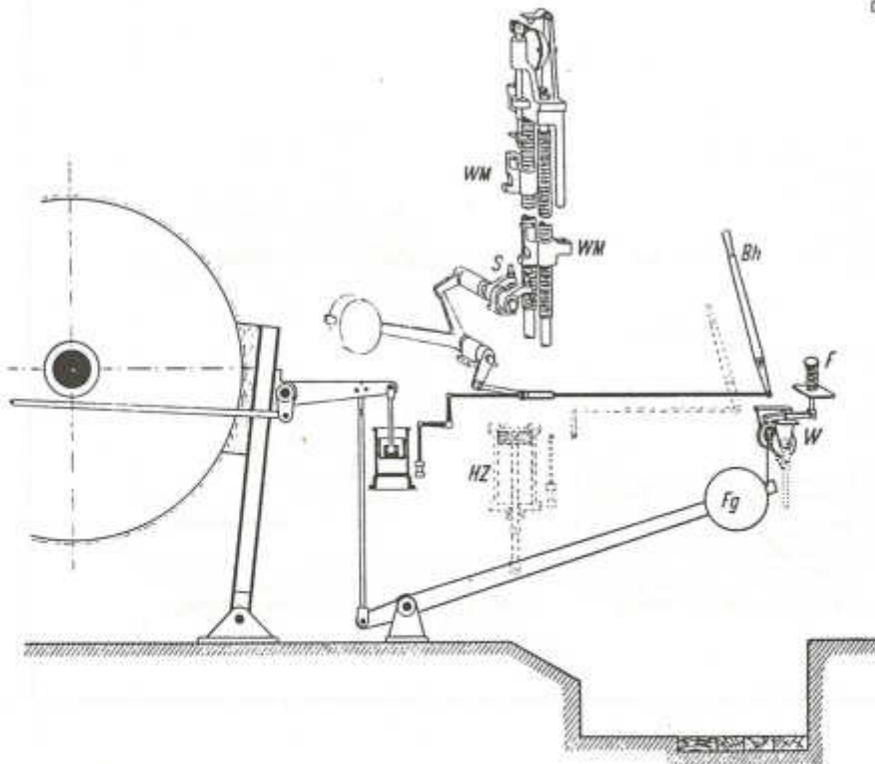
## 9.2 MAQUINA DE EXTRACCIÓN CON CHASIS DE AUTO

Trabajos subterráneos en general

Minería subterránea  
Transporte



Dib.: Indicador de profundidad de doble husillo, de Hoffmann



Dib.: Freno, indicador de profundidad, desconexión final, de Hoffmann

## 9.3 POLIPASTO

Trabajos subterrá-  
neos en general  
Minería a cielo abierto

Minería subterránea  
Transporte

Español:	aparejo
Inglés:	block and pulley, tackle
Aleman:	Flaschenzug

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	varias poleas de retorno, tamaños según el peso a transportar
Peso:	pocos kg
Tipo de energía motriz:	manual, tracción animal, eléctrica, hidromecánica, neumática
Posibilidades alternativas:	tracción a pedal
Forma de trabajo:	intermitente
Grado de rendimiento técnico:	ayuda mecánica para levantar pesos y para transporte

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	< 200 DM con poleas de retorno usuales en el comercio
Costos de operación:	ninguno
Costos derivados:	debe haber a disposición cable y medio de transporte

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	manejado manual	altos
		mecanizada	
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Divulgación regional:	en la Pequeña Minería no es empleado para el transporte		
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		malá
Bajo qué condiciones:	taller mecánico o de carpintería		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto
	El polipasto disminuye el tiempo de vida del cable		

Literatura, Fuente: Born

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Por medio de varias poleas de retorno el peso del recipiente de transporte es distribuido en varios ramales del cable.

$$F_{\text{tracción}} = \frac{F_{\text{total}}}{n_{\text{Roldanas}}} + \Sigma \text{Fricciones}$$

### **FORMAS DE USO:**

Alivio en el trabajo de transporte y en el movimiento de cargas.

### **OBSERVACIONES:**

Mediante el polipasto aumenta el costo debido a la longitud del cable. Reduciendo la fuerza de tracción a la mitad por medio de una polea de retorno en el recipiente de transporte se duplica la longitud del cable de tracción. Sin embargo el polipasto se puede emplear de modo práctico para ajustar el tiempo y la cantidad de carga a transportar al ritmo del trabajo durante el proceso de carga y descarga.

### 9.3 POLIPASTO

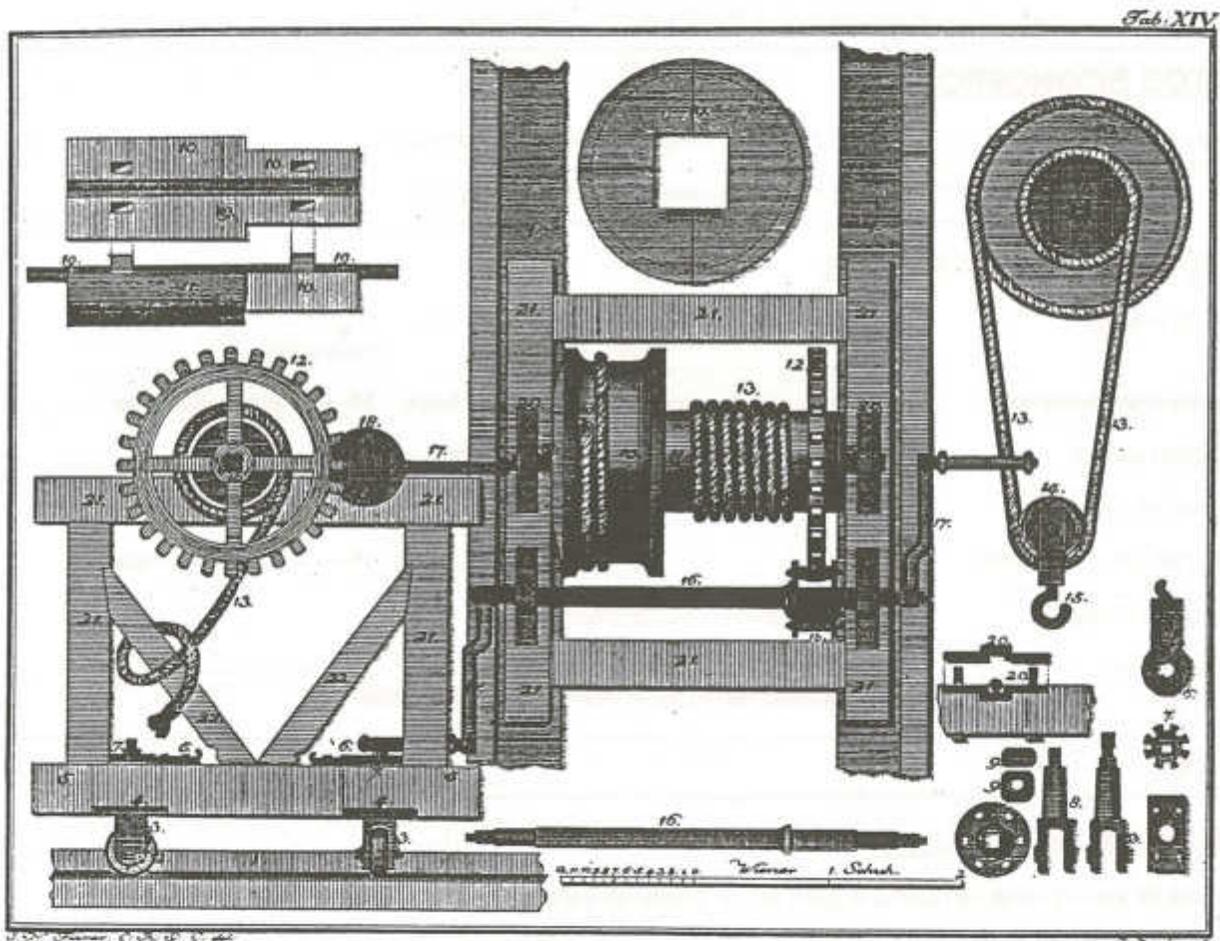
Trabajos subterrá-  
neos en general  
Minería a cielo abierto

Minería subterránea  
Transporte

En la minería aurífera de placeres ecuatoriana se extraen a superficie grandes bloques de piedra por medio de polipastos instalados sobre trípodes sencillos en la profundización de pozos en sedimentos.

#### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Muy apto como ayuda para la Pequeña Minería. Puede colaborar como una forma de trabajo de extracción continua.



Dib.: Polipasto, de Born

## 9.4 TRANSPORTE EN INTERIOR MINA SOBRE Y SIN RIELES

### Trabajos subterráneos y a cielo abierto en general

### Minería subterránea Transporte

Aleman: Gleislose und gleisgebundene Förderung unter Tage  
 Fabricante: Buena Fortuna, COMESA, DERENA, Eduardo, FAHENA, FAMESA, Ind. Famia, FIMA, Fundición Callao, FUNSA, FUNVESA, H.M., IAA, INCOHEC, Ind. Met. Van Dam, Krug, M.M. Soriano, MAENSA, MAEPSA, MAGENSA, MEPSA, Metal Callao, E.P.S., Metalúrgica Lacha, PROPER, Volcan

#### **DATOS TECNICOS:**

Grado de mecanización: no mecanizado  
 Tipo de energía motriz: fuerza de gravedad y fuerza muscular  
 Posibilidades alternativas: cambiavía colgante; eventualmente torno de tracción neumático, locomotoras a batería y a aire comprimido  
 Forma de trabajo: intermitente  
 Producción/Rendimiento: rendimiento en carros metaleros empujados manualmente sobre rieles bien instaladas, inclusive con trayecto de regreso: aprox. 1800 a 2000 kg x km/hombre x hora

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: Carro metalero: 500 DM/unidad usada; rieles y cambiavía de acero Tipo S 10: 30 DM/m (usadas)  
 Costos derivados: Rieles y cambiavías de acero; doblador de rieles (Santiago), calibrador de trocha y calibrador de declive

Literatura, Fuente: Siegert, Bernewitz, Stout, Villefosse, Delius, Göschen, Gerth/Salzmann, Treptow, Bergbau-Museum Eisenerz, Steiermark, VOEST, Hütte

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En el transporte en interior mina en las galerías se debe hacer la diferencia entre transporte sobre rieles y sin rieles.

##### **Transporte sin rieles**

Puede realizarse sin medios mecánicos en mochilas - mayormente mineral selectivamente preescogido y rico, en distancias cortas - o con ayuda de carretillas o carros con llantas de goma. De la minería de Mansfeld de esquistos cupríferos de poca potencia, en la cual los espacios abiertos por el arranque solo tienen una altura de 90 cm, se ha difundido para el transporte intermedio hacia las galerías principales el así llamado transporte de alfombra. En esta clase de transporte se amontona el mineral sobre un pedazo de cinta transportadora que luego es jalado hacia las galerías principales por medio de un gúinche. Esta clase de transporte es práctico sobre todo en los lugares donde se emplean las cintas transportadoras y se dispone de suficiente material de cinta. En un tipo de carretilla, donde el eje se encuentra un poco más adelante del punto de gravedad, el peso de la carga y de la carretilla es asumido por las ruedas. El minero solo se hace cargo principalmente de la conducción y del empuje.

En los carros de dos ejes sucede lo análogo. Para el transporte sin rieles es necesario un piso de la galería muy plano, limpio y sólido para asegurar un transporte con poca fricción. Las tablas de madera sobre el piso de las galerías, sobre las que corren los carros con y sin clavos de guía, se emplean como medio de ayuda y conducen hacia el

##### **Transporte sobre rieles**

Sobre rieles bien colocadas el transporte en galerías sobre rieles garantiza un transporte de los carros metaleros cargados, con muy poca fricción aún sin locomotoras. Para ello, sin embargo, se necesita una infraestructura de rieles comparativamente costosa. A pesar de esto, éstas se pueden mantener limpias fácilmente y permitir el transporte de herramientas pesadas, máquinas y elementos de entibación.

Las rieles pueden ser de metal o de madera: las rieles de madera son más baratas y resistentes a aguas ácidas, sin embargo en comparación con las de acero soportan pesos de eje menores y se pudren rápidamente en ambientes húmedos.

## 9.4 TRANSPORTE EN INTERIOR MINA SOBRE Y SIN RIELES

### Trabajos subterráneos y a cielo abierto en general

### Minería subterránea Transporte

**Las rieles y cambiavías de acero (riel de cauville, línea de cauville) se componen de:**

Rieles	acero
Eclises y tornillos	
Traviesas	madera, acero
Tornillos, placas con aspas	
Cambiavías	acero
Cruces	acero
Planchas para cambio	acero

#### Carro metalero

Los carros metaleros consisten en un mecanismo de translación, por lo general con cuatro ruedas del mismo tamaño y dispositivos de enganche con amortiguadores y un recipiente de carga. Para el vaciado de los carros metaleros existen tanto instalaciones de volteo como compuertas que se abren ya sea frontalmente, hacia atrás o lateralmente. Los carros cerrados rígidamente pueden ser vaciados por medio de basculadores rotatorios.

El modo más común de mover hacia adelante los carros metaleros en la Pequeña Minería es el empuje manual, en el cual el carro cargado corre sobre las rieles (ver abajo) casi por sí solo y cuando está vacío tiene que ser empujado fácilmente hacia arriba.

En las galerías principales de transporte con secciones de galería suficientemente anchas el transporte de los carros metaleros es posible por medio de caballos. Con rieles bien colocadas los caballos son capaces de transportar de 6 a 10 carros metaleros cargados. Esta clase de transporte fué difundida hasta principios de este siglo en Europa Central.

Para el transporte en galerías largas y rectas existe la posibilidad de usar como energía motriz un cable giratorio que esté unido a los carros metaleros por un mecanismo de enganche. El cable o cadena de tracción puede ir por el techo o por el piso a través de poleas de soporte.

Finalmente los carros metaleros son transportados por locomotoras que trabajan como locomotoras eléctricas con cable de contacto, a acumuladores, a aire comprimido o excepcionalmente a diesel. Todas las locomotoras son muy caras, pesadas y costosas en su técnica, mantenimiento, reparación, etc.

#### Cambiavía

Para el cambio de dirección del carro metalero, éste es empujado sobre un plato giratorio que consiste ya sea en un disco cónico plano o en una superficie provista de rieles. Una vez puesto el carro metalero sobre el disco, éste es dado vuelta manualmente y luego empujado sobre las rieles en la nueva dirección.

#### Cambiavía vertical

Para la conexión de rampas con niveles o subniveles se emplean los cambiavías verticales, los cuales se levantan o se bajan para posibilitar el paso. Así es posible utilizar el carro metalero del transporte de la galería como un recipiente para el transporte en una rampa o en pozo inclinado sin transbordo de la carga. El cable de tracción se debe sujetar al carro metalero con un gancho asegurado.

#### Cambiavía colgante

Los cambiavías colgantes se utilizan en la minería filoniana de pequeña escala, allí donde al tope solo va un ramal de línea. Para poder aproximarse al tope con dos o más carros metaleros tiene que existir la posibilidad de poder colocar los carros vacíos a un lado cuando el carro más cercano al tope esté lleno. El cambiavía colgante posibilita enganchar el carro vacío y con un polipasto o con un elevador neumático levantarlo de la riel y colocarlo a un lado mediante una grúa deslizador. Una vez corrido el carro lleno, el carro levantado es empujado sobre las rieles y puesto sobre la vía.

El transporte en rampas o en pozos inclinados se realiza análogamente mediante medios de transporte sobre rieles o sin rieles. En el transporte sin rieles se desliza el carro de transporte simplemente sobre el piso limpio (solo para transporte en pequeñas distancias) o un recipiente para transporte resbala sobre canales de madera con guías. En el transporte con rieles en las rampas, las rieles se encuentran sobre las rampas. En rampas inclinadas las rieles y sobre todo las traviesas sirven al mismo tiempo de sistema de maniobra. Es importante que en esta clase de rampas existan nichos laterales para que en caso necesario los mineros puedan hacerse a un lado de la vía de transporte y esquiven los carros metaleros. Los carros metaleros corren sobre rieles y son jalados por cables de tracción.

## 9.4 TRANSPORTE EN INTERIOR MINA SOBRE Y SIN RIELES

Trabajos subterráneos y a cielo abierto en general

Minería subterránea  
Transporte

### OBSERVACIONES:

#### Carro metalero

Villefosse muestra un carro metalero ingiés sin mecanismo de volteo propio, con compuerta trasera y que puede ser volteado en la estación de volteo. Contrapesos dimensionados en forma práctica facilitan el manejo. El carro tiene freno.

Para las minas con transporte en el pozo se pueden construir también carros en cuyos chasis se puede colocar la cubeta de transporte del pozo y así evitar un transbordo repetido.

Dos ruedas grandes con clavos de huella bajo el gravicentro + dos pequeñas; se maneja sobre dos ruedas.

Para el transporte en rampas y en planos inclinados se propone la instalación de ganchos de retención, los cuales al romperse el cable de tracción caen sobre el piso o delante de las traviesas y así frenan al carro o lo descarrilan. De esta forma se evita que el carro corra hacia abajo sin frenos.

#### Rieles y cambiavías de acero

Para un transporte manual libre de los carros metaleros es práctico tener una inclinación hacia la boca mina de por lo menos 0.5°, lo mismo que para el desagüe.

Declive de la vía según Gerth, Salzmann para carros llenos:

Vía recta	1.2 %
Curvas	1.8 %
Cambios	1.8 %
Cambios en curvas	2.0 %

Trocha: normal 600 mm

$$\text{Declive en las curvas: } h = \frac{8 \sqrt{v^2} \text{ [km/h]}}{R \text{ [m]}} \text{ [cm]}$$

Trayectos con declives de 1.5° y 3° pueden ser recorridos con transporte libre del carro metalero mediante golpes de freno, sin máquina de extracción. Declives mayores hacen problemático el transporte de los carros metaleros vacíos hacia arriba.

Declives mayores para transporte ascendente son vencidos más fácilmente con planos inclinados, con contrapesos o bien con operaciones pendulares donde el peso del carro cargado es aprovechado para subir el carro vacío.

#### Cambiavía colgante

La necesidad de espacio de los cambiavías colgantes es muy pequeña. Estos cambiavías se pueden instalar en cualquier parte de la vía sin necesidad de cambios constructivos, siempre que el ancho de la galería lo permita.

#### Transporte en la explotación

Transporte con trineos de arrastre con capacidades de 1/3 - 1/4 del carro metalero en planos inclinados de 3 - 30°, sobre el piso o sobre pistas de arrastre de madera que eventualmente pueden ser humedecidas para reducir la fricción. El movimiento se realiza con una correa de remolque sobre el hombro.

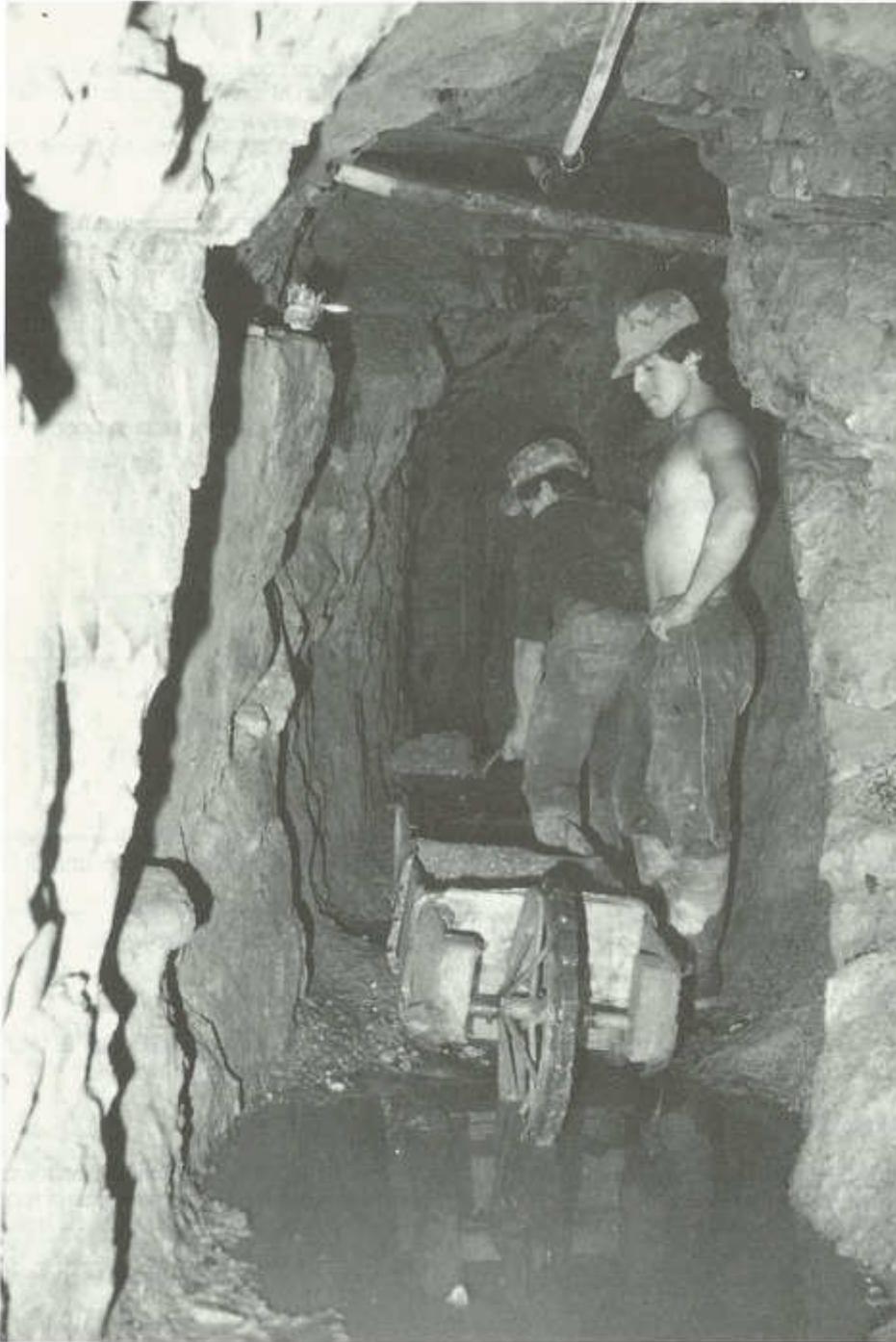
Transporte en trayectos más inclinados (15 - 40°): Utilización de canales contruidos de madera o de hojalata.

En galerías o bien en chimeneas con inclinaciones mayores a 45° se deja resbalar la carga sobre canaletas o rodillos.

## 9.4 TRANSPORTE EN INTERIOR MINA SOBRE Y SIN RIELES

Trabajos subterráneos y a cielo abierto en general

Minería subterránea  
Transporte



Ejemplo de transporte sin rieles: Piquero, ayudante y carretilla en un lugar del socavón en minería aurífera de pequeña escala. Se ve claramente el punto de apoyo desfavorable de la carretilla debido a que la rueda está colocada muy adelante. Mina La Palmera, Nariño, Colombia.

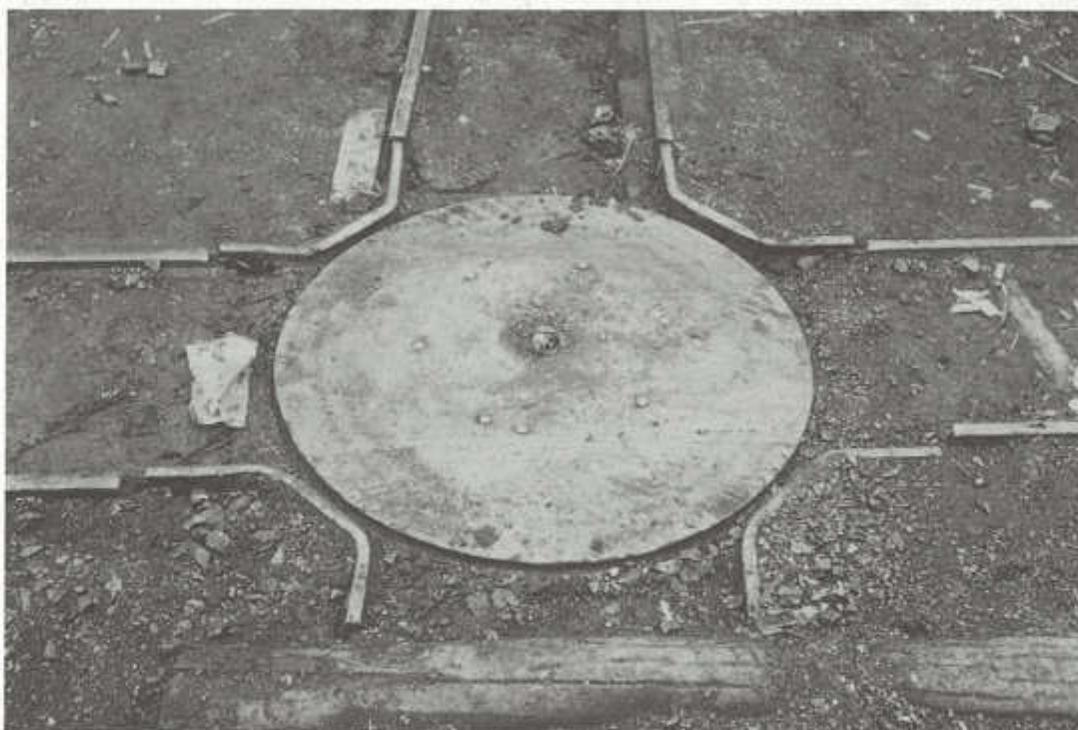
## 9.4 TRANSPORTE EN INTERIOR MINA SOBRE Y SIN RIELES

Trabajos subterráneos y a cielo abierto en general

Minería subterránea  
Transporte



Vagón de madera con compuerta frontal. Instalación de volteo en superficie que facilita el vaciado del vagón. Se ven las elevaciones en forma redonda de las rieles bajo las ruedas del eje trasero. Minería del carbón en la región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia



Plato rotatorio para el cambio de vía en la minería del carbón en la región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia.

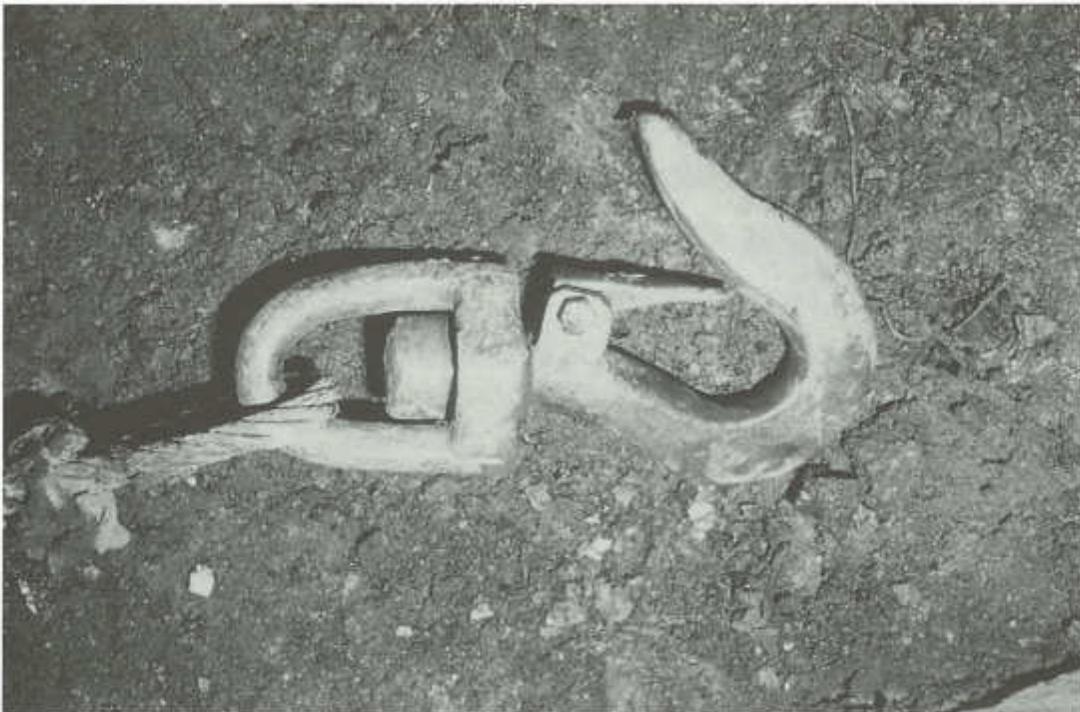
## 9.4 TRANSPORTE EN INTERIOR MINA SOBRE Y SIN RIELES

Trabajos subterráneos y a cielo abierto en general

Minería subterránea  
Transporte



Trineo de arrastre para el transporte en explotación en una estratificación semilempinada (aprox. 30°). Vista de una chimenea asegurada con entibación de madera con unidades de marcos de dos estemples y cabezal. Minería del carbón en la región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia.



Gancho de seguridad para acoplar el carro metálico al cable de tracción en un transporte en rampa. Por medio de este gancho se puede evitar un autodesenganche del carro metálico (una causa frecuente de accidente). Minería del carbón en la región del Río Checua, Cundinamarca, Colombia.

## 9.4 TRANSPORTE EN INTERIOR MINA SOBRE Y SIN RIELES

Trabajos subterráneos y a cielo abierto en general

Minería subterránea  
Transporte

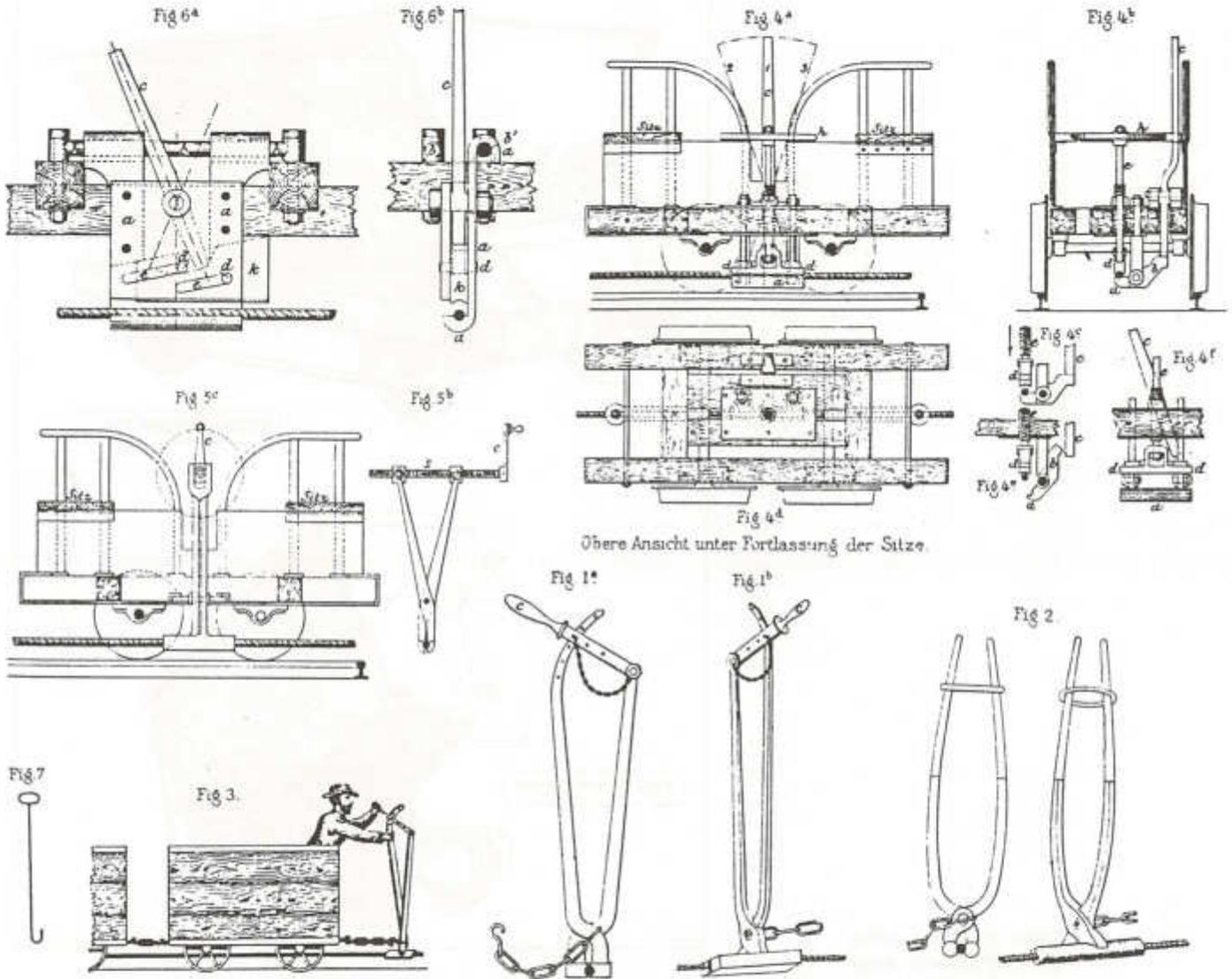
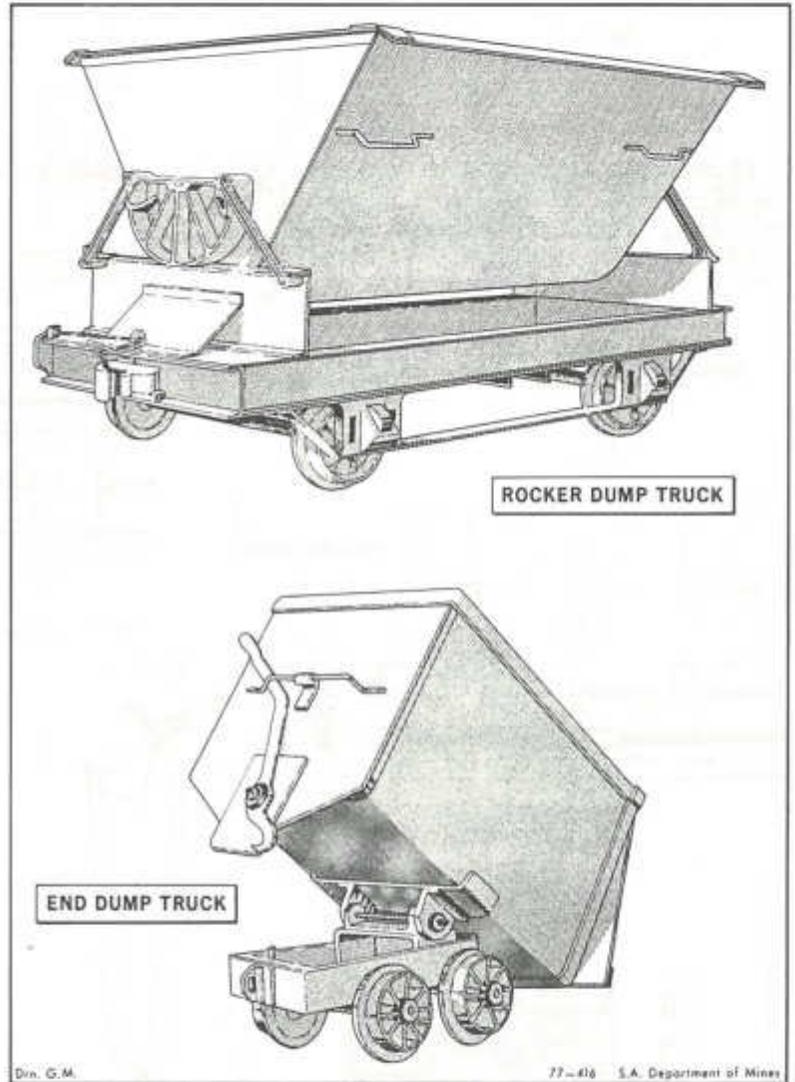


Fig. 1 y 2 Tenazas de apriete. La Fig. 3 muestra como se manejan las tenazas expuestas en las figuras 1 y 2. Fig. 4: Carro conductor con dispositivos de mordazas de Ramsay. Estando la palanca c en la posición 1 (Fig. 4a) el cable puede ser apretado por medio del volante manual h y la varilla con tornillo e entre las mordazas a b y d (Fig. 4a, 4b, 4c). Al colocar la palanca c en las posiciones 2 y 3 se llega a soltar el cable; la mordaza expuesta como palanca a b pierde su apoyo y se pone en la posición dibujada en las figuras 4e y 4f. Fig. 5: Carro conductor con dispositivos de mordaza de la mina de hierro de la Empresa Tredegar en Wales. La mordedura y soltura del cable se realiza por medio de la varilla de tornillo s que es girada por la manivela c. Fig. 6: Dispositivo de mordaza de Hanson. Está colgado a la barra de hierro b b' colocada en el carro conductor. La mordedura del cable se realiza por medio de la cuña k manejada con la palanca c y que se introduce en la ranura e por medio de una espiga guía. En los dispositivos de mordaza expuestos en las figuras 4 y 5 la soltura del cable se puede realizar por sí solo si se colocan obstáculos en los extremos contra los cuales choca la palanca c o bien la empuñadura de la manivela c. Los asientos dentro del carro ya no son necesarios pues no se necesita conductor. Para colocar el cable en los dispositivos de mordaza dibujados en las figuras 4 - 6 se hace uso del gancho dibujado en la figura 7.

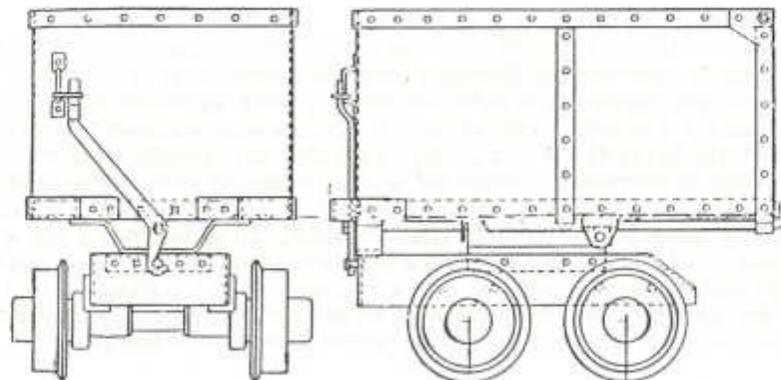
**9.4 TRANSPORTE EN INTERIOR MINA SOBRE Y SIN RIELES**

Trabajos subterráneos y a cielo abierto en general

Minería subterránea  
Transporte



Dib.: Carro metalero; arriba, de volteo lateral, abajo, de volteo frontal, de Armstrong

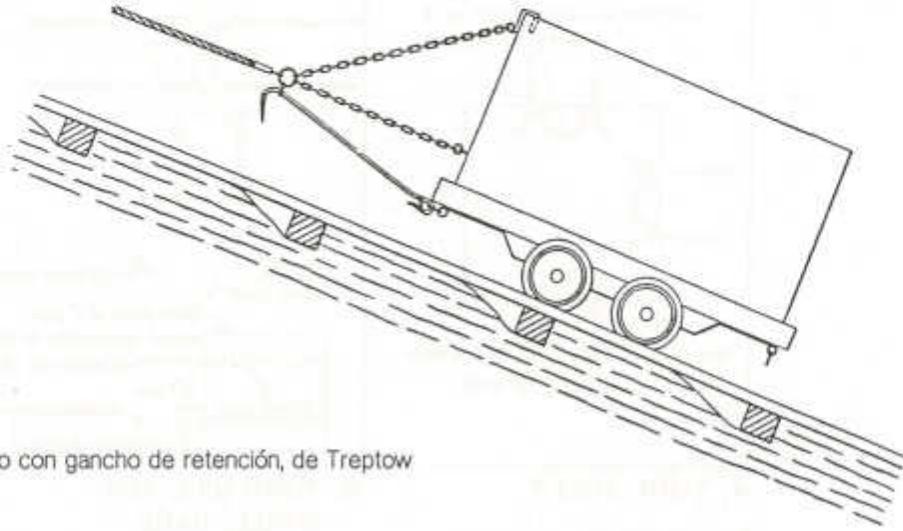


Dib.: Carro metalero de descarga frontal; a la izquierda, vista de la parte posterior; a la derecha, vista lateral, de Bernewitz.

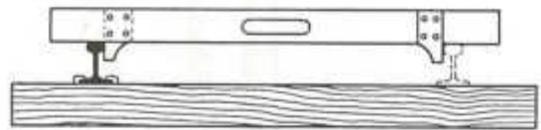
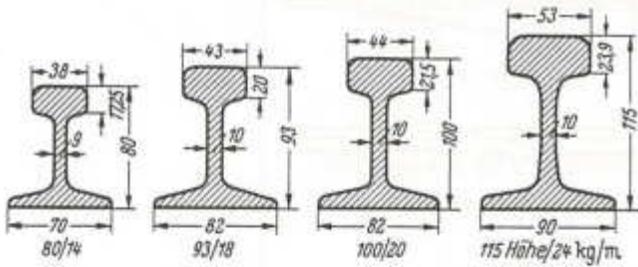
## 9.4 TRANSPORTE EN INTERIOR MINA SOBRE Y SIN RIELES

Trabajos subterráneos y a cielo abierto  
en general

Minería subterránea  
Transporte

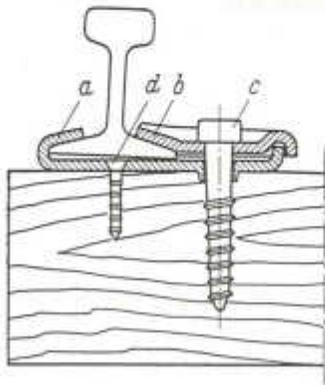


Dib.: Carro metalero con gancho de retención, de Treptow



Dib.: Rieles de patín con perfiles normales, de Fritzsche

Dib.: Calibrador de trocha para tendido de rieles, de Fritzsche.



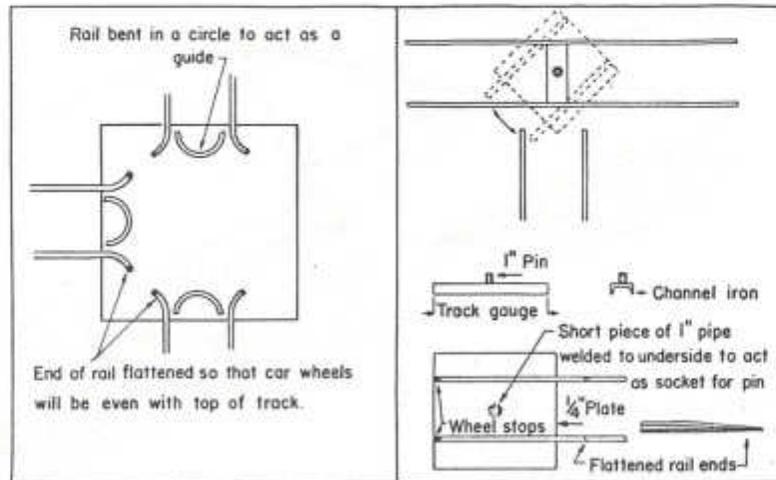
Dib.: Sujeción de rieles de tres componentes de la Empresa Scheidt, Kettwig, de Fritzsche

Dib.: Clavo rielero, de Fritzsche

**9.4 TRANSPORTE EN INTERIOR MINA SOBRE Y SIN RIELES**

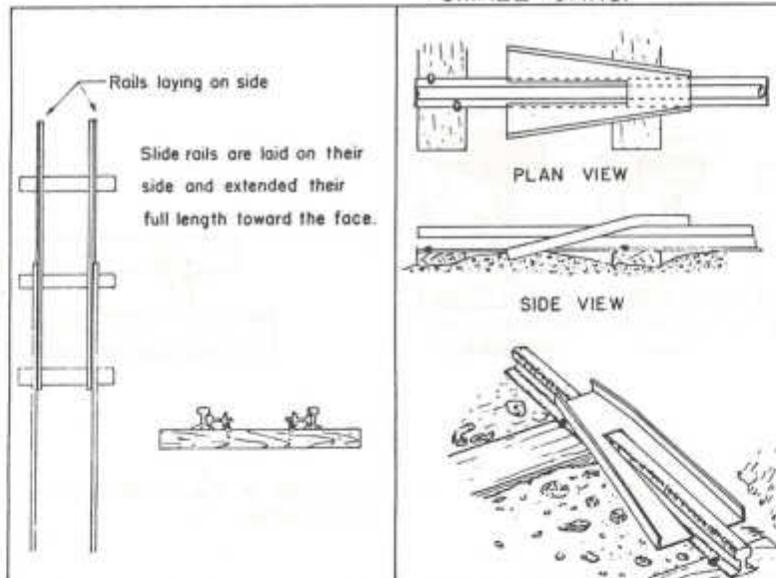
Trabajos subterráneos y a cielo abierto en general

Minería subterránea  
Transporte



A. TURN SHEET

B. TURNTABLE FOR SMALL CARS.



C. TRACK EXTENSION IN FACE.

D. SMALL CAR RERAILER.

Dib.:

Cambiavías y rieles, de Stout

- arriba izquierda: Instalación rígida de cambio para carros metálicos
- arriba derecha: Cambiavía rotatoria sencilla
- abajo izquierda: Prolongación de vía en el tope
- abajo derecha: Dispositivo para encarrilar

## 9.5 ASCENSOR ROSARIO EN VAIVEN

Trabajos subterráneos

Minería subterránea  
Transporte

Aleman: Fahrkunst

### DATOS TECNICOS:

Medidas: hasta 800 m de profundidad (mina Samson en el Harz)  
 Peso: bastante alto  
 Potencia motriz: por ejemplo 5 kW para transporte de personal a más de 200 m de profundidad en la mina Samson  
 Tipo de energía motriz: eléctrica o mecánica (son necesarios número de revoluciones muy bajos, por ejemplo rueda hidráulica)  
 Producción/Rendimiento: frecuencia: 6 por minuto  
 Material:  
 Cuál: Lubricantes

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión: altos  
 Costos derivados: maquinaria para el abastecimiento de energía

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

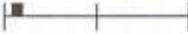
Aparato que puede reemplazar: todos los sistemas de transporte de personal en pozos  
 Divulgación regional: técnica histórica, hoy en día solo en operaciones de museo en la mina de Samson en el Harz

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta  
 solo debido al abastecimiento de energía

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller de carpintería

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Samson-Museo, St. Andreasberg, Treptow, Gentz,H, El sistema de transporte de personal en pozo de la minería del Oberharz en Bergbau-Rundschau, Año 7, 83 ff.

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

El ascensor rosario en vaivén consiste en un sistema de transporte de personal en pozos verticales e inclinados. Dos pares de cables metálicos o barras (madera, perfiles de acero) son movidos en vaivén en contrasentido con desplazamientos de 1.5 a 2 m mediante una rueda. La frecuencia es lenta (aprox.  $5 - 10 \text{ min}^{-1}$ ). En los pares de cables están colocadas pisaderas y agarradores a distancias de 3 a 4 m. Por medio del movimiento en vaivén en contrasentido las pisaderas de ambos pares de cables quedan al mismo nivel en el momento del cambio de movimiento. Mediante un transbordo sistemático de pisaderas se puede ingresar o salir del pozo. Las plataformas intermedias en el pozo por las cuales atraviesa el ascensor sirven como medio de seguridad. Cada 30 a 50 metros los pares de cables están asegurados contra rotura del cable por medio de traviesas de retención.

En los pozos inclinados se conducen los pares de cables en algunos lugares por poleas o por tablas de deslizamiento.

### OBSERVACIONES:

En las minas profundas del Harz la introducción del ascensor rosario en vaivén ha reducido considerablemente los tiempos de ingreso a la mina y de esta manera ha contribuido a un gran incremento en el rendimiento de las operaciones mineras. Fue descubierto en el año 1833 por Dörell en Zellerfeld/Harz.

## 9.5 ASCENSOR ROSARIO EN VAIVEN

Trabajos subterráneos

Minería subterránea  
Transporte

Generalmente, los pozos de extracción en la minería metálica filoniana son perforados en el mineral. Solo el ascensor rosario en vaivén permite un transporte mecanizado del personal en estos pozos que tienen un cambio frecuente en su inclinación.

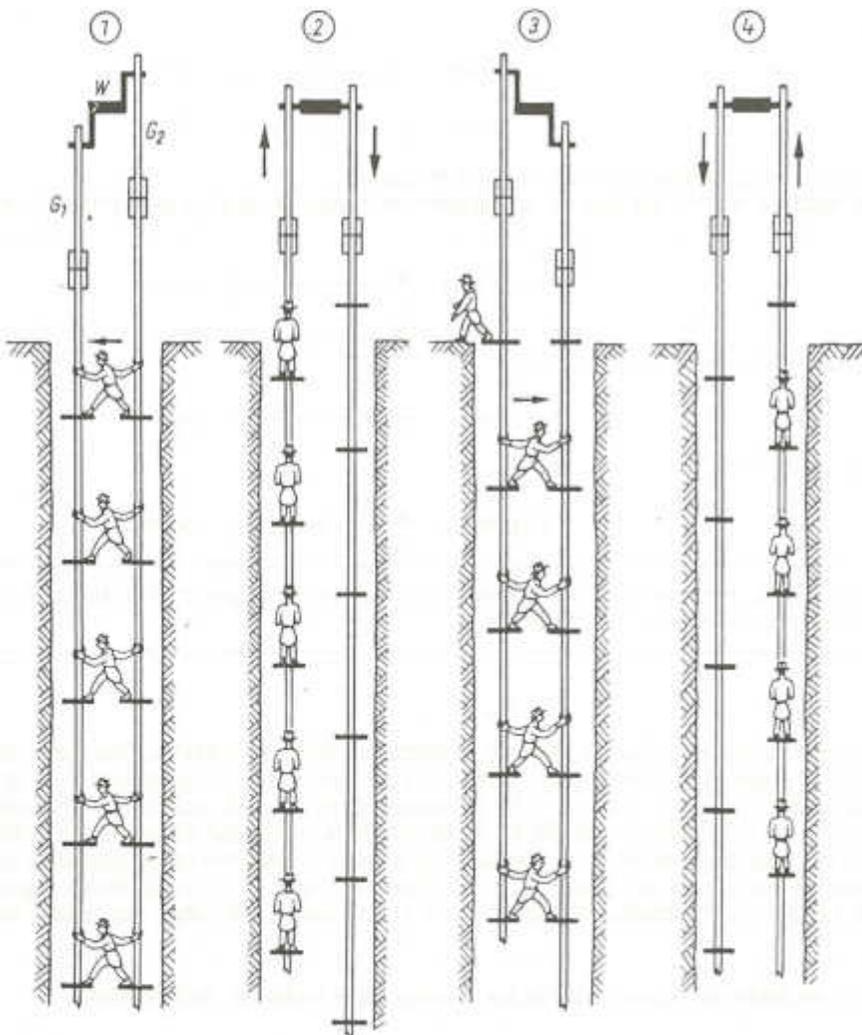
La gran ventaja del ascensor rosario en vaivén es que una vez equilibrados los pesos de ambos pares de cables, la energía motriz solo debe vencer la fricción, el peso del personal y el peso de 3 a 4 metros de cable, de manera que la potencia motriz puede ser pequeña.

En el Harz, los cables fueron conservados con una mezcla de grasa y cera de abeja. El recubrimiento con capas de este material dio en parte una magnífica protección contra la corrosión por más de 50 años.

Los cables metálicos algunas veces fueron construídos de tal forma que en la parte de abajo tuvieran menor grosor. De esta manera, se rebajó el peso de ellos.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERIA:

Los ascensores rosario en vaivén son sistemas mecanizados de transporte de personal, prácticos para pozos profundos, sin embargo exigen una instalación para el transporte de material en un pozo paralelo.



Esquema del funcionamiento de un ascensor rosario en vaivén durante la salida de los mineros del pozo. W árbol de manivela, accionado por rueda de agua o máquina de vapor, G1 G2 barras del ascensor con movimiento en vaivén, 1 y 3 puntos muertos del movimiento de las barras: Los mineros se cambian a la barra que está subiendo o bien en la parte superior salen del pozo. 2 la barra izquierda sube con el personal, 4 la barra derecha sube con el personal. Para seguridad en estos pozos adicionalmente también se instalaron escaleras.

## C. MINERÍA A CIELO ABIERTO

### C.1. DEFINICION

La minería a cielo abierto tiene como tarea, al igual que la minería subterránea, la explotación de materias primas minerales que sin embargo se realiza en la superficie. La minería a cielo abierto trata tanto rocas consolidadas como rocas sueltas y placeres. Explota tanto en la superficie como en ríos y mares y no así en el fondo del mar. Las labores de explotación en la minería a cielo abierto se realizan sobre todo en placeres con metales pesados y preciosos y están unidas estrechamente al beneficio de los productos, sin embargo se intentará contribuir a una mejor sistematización mediante la separación severa de los campos de trabajo. En los campos de explotación, transporte y desagüe se considerarán múltiples técnicas que igualmente se emplean en la minería subterránea. En la presente exposición se evitará tratar nuevamente estos equivos.

### C.2. SITUACION INICIAL Y AL-CANCES DEL PROBLEMA

Incluso en el campo estrecho de los placeres de metales preciosos existe una variedad de diferentes tipos de yacimientos, los cuales presentan distintos problemas en relación a la explotación minera y sobre todo al beneficio.

Como principales yacimientos de placeres aptos para la Pequeña Minería con contenidos recuperables de oro, metales del grupo del platino como estaño y wolfram, circón y minerales de tierras raras se nombran los siguientes:

- **Deposiciones fluviales recientes** en el sector del lecho del río. Este tipo de yacimiento se encuentra muy a menudo en Los Andes. La gran morfodinámica existente en el sector de estas montañas con sus porcentajes de erosión y acumulación es responsable de una génesis reciente de yacimientos ricos de metales preciosos. Estos sedimentos sueltos no consolidados se explotan tanto bajo el agua con dragas (dredges) y dragas succionadoras directamente del río como durante el tiempo seco, del lecho del río secado ampliamente por medio de desviaciones del agua en forma manual o mecanizada con dragas, cargador sobre ruedas, etc. Como ejemplo, se nombran los placeres fluviales del Este de Los Andes de Bolivia como el Río Tipuani, Río Mapiri, Río

Kaka. Análogamente a los yacimientos auríferos expuestos, se encuentran en explotación los placeres fluviales estañíferos recientes, por ejemplo en el río Huanuni, departamento de Oruro, Bolivia. Estos yacimientos tienen después de 500 años de historia minera también aspectos antropogenéticos (erosiones naturales de formas antropogenéticas como desmontes, diques de lamas).

- **Placeres fósiles fluviales y deposiciones en terrazas.** Estas formaciones de paleocanales (valles antiguos en forma de V rellenos con sedimento) y terrazas geológicamente más antiguas frecuentemente están ya consolidadas. También las acumulaciones más jóvenes están ya consolidadas debido a la alta movilidad de minerales aglutinadores bajo las condiciones climáticas del trópico. Esto produce dificultades en el arranque y sobre todo en el beneficio, el cual solamente puede tratar material liberado. Esta clase de placeres fósiles están frecuentemente cubiertos por series de sedimentos más jóvenes, con lo cual se marca la transición a la minería subterránea. Estos placeres son explotados mientras se disponga de suficiente cantidad de agua, de manera hidromecánica por monitoreo o exclusivamente manual o bien mecanizadamente. Como ejemplo los yacimientos auríferos en las series del Cangalli, por ejemplo: Molleterío, Depto. La Paz/Bolivia.

- **Placeres glaciales y fluvioglaciales,** morrenas y deposiciones en el ámbito del pleistoceno o bien glaciales recientes de Los Andes. Estos placeres, mayormente de yacimientos relativamente marginales de estaño y de wolfram, son deposiciones que han experimentado solamente un transporte corto y exclusivamente mecánico sin enriquecimiento natural mediante concentración o transposiciones químicas. Debido a la escasa trituración natural experimentada por el material, los minerales en parte no están ampliamente liberados. El beneficio de esta clase de minerales tiene que considerar también procesos de trituración adecuados. Por lo demás el sedimento no se encuentra generalmente consolidado y se lo explota con métodos manuales o mecanizados en minería a cielo abierto. Ejemplo: El Rodeo, Cordillera Quimsa Cruz, Depto. La Paz, Bolivia.

- **Masas de roca mineralizadas derrumbadas, llamperas.** Una forma secundaria de placeres de minerales pesados representan las masas de roca mineralizadas derrumbadas, las cuales al igual que los placeres glaciales no se encuentran liberadas y en parte están en forma de inmensos bloques. Luego de una explotación con procesos mineros (perforación y voladura), el material se beneficia de la misma forma que el mineral explotado por minería subterránea. Un ejemplo son las masas de roca derrumbadas con contenido de wolfram del Cerro Chicote Grande, Dpto. Oruro, Bolivia, las cuales son explotadas por la Cooperativa Minera Tamiñani.
- **Yacimientos antropogénicos,** como desmontes, colas, diques de lamas de antiguas operaciones de explotación y de beneficio. Este grupo de yacimientos representa un potencial inmenso para operaciones tanto para la minería grande como también para la pequeña.

Las causas del gran volumen de contenidos valiosos de los desmontes son:

- La escasa recuperación de las plantas de beneficio tanto de operaciones grandes (por ejemplo, en Bolivia, COMIBOL con una recuperación del material valioso de aprox.

40 %) como también de operaciones pequeñas,

- la minería practicada durante siglos sobre antiguos yacimientos ricos que ha dejado desmontes relativamente ricos,
- la economía minera colonial latinoamericana orientada principalmente a los metales preciosos de oro y plata ha apilado grandes desechos de estéril con subproductos como estaño, wolfram y otros metales no férricos,
- la refinada técnica de beneficio, que hoy en día está en capacidad, por ejemplo, de recuperar metales preciosos de piritas, condujo a que los antiguos desmontes se volvieran nuevos yacimientos.

Ya hoy día, los yacimientos aluviales de los placeres nombrados son un importante campo de actividad de la Pequeña Minería. El significado de estas reservas para la economía minera nacional, incluyendo la Pequeña Minería, va a aumentar considerablemente.

Bajos costos de explotación, material ya pretriturado y una situación de reservas estimadas comparativamente segura, juntamente con un riesgo de inversión pequeño, lleva a que estos yacimientos parezcan predestinados para la Pequeña Minería.



Lavador de oro en Tipuani, La Paz, Bolivia

Independientemente del lugar, el agua por lo general crea problemas significativos. En el caso de una explotación del lecho reciente del río, el exceso de agua juntamente con los altos costos de bombeo y de secado ocasionan condiciones de trabajo extremadamente difíciles y peligrosas (ver foto pag. 168).

Para el secado del lecho, la corriente del río es desviada mediante la construcción de un terraplén (ataguía) a un lado del lecho, por lo cual el otro lado del lecho queda seco y dispuesto para su explotación.

La temporada de lluvias en el trópico, de humedad variable, con marcados tiempos de lluvias y sequías lleva a niveles de agua fuertemente cambiables: singularidades mesoclimáticas en altas montañas y precipitaciones locales en zonas de acumulación pueden también ocasionar un aumento extremo del nivel del río a corto plazo. Por esta razón, la planificación de la explotación es fuertemente influenciada por este factor inculcable.

En el caso de una explotación en lugar seco, sobre todo el abastecimiento de agua de uso industrial para las operaciones de arranque y de beneficio es problemático, especialmente cuando el sistema de explotación hidráulico necesita grandes cantidades de agua para los monitores. Este arranque hidráulico es necesario a menudo en los lugares donde se ha llevado a cabo una consolidación parcial del material del placer. Estos sectores por regla general se encuentran bastante más arriba del nivel del cauce del río y por eso son difíciles de abastecer con agua para el proceso.

Por lo demás, los déficits técnicos de la Pequeña Minería en la explotación a cielo abierto son menores que en la explotación subterránea. La necesidad de grandes espacios para la técnica moderna no representa ningún problema en el sector a cielo abierto. Las técnicas de explotación y de carga son accesibles también en los países andinos y aplicables para la explotación de materias primas a cielo abierto.

Igualmente que en la minería subterránea, en la minería a cielo abierto el grado de mecanización de la operación determina los rendimientos específicos de la producción. La relación de producción en el trabajo de carga y transporte entre la explotación rústicomanoal y la totalmente mecanizada, es en parte mayor a 1:100. El pequeño contenido fino en el mineral bruto conduce a que en la minería a cielo abierto se

tenga que producir y transportar grandes cantidades de material. El paso de la minería de subsistencia de cada minero aurífero del límite de mínima existencia a una existencia segura solamente es posible mediante una sucesiva mecanización parcial.

En una mecanización parcial los cuellos de botella están más en la disposición de un abastecimiento de energía económico y adecuado a las exigencias que en la disponibilidad de técnicas de explotación (la técnica para el arranque y transporte en la minería de placeres es mucho más fácil comparada con la de la minería subterránea).

A pesar de que la separación entre arranque y beneficio en la minería a cielo abierto es difícil de realizar se debe remarcar que los problemas más importantes de la minería de placeres a escala pequeña y pequeñísima se deben buscar en el beneficio, por eso la técnica del beneficio representa un punto muy importante en este manual.

### C.3. ASPECTOS DE CONTAMINACION AMBIENTAL Y DE SALUD

Mediante las actividades mineras de explotación a cielo abierto surgen daños al ecosistema en variadas formas. Además de las contaminaciones al medio ambiente debido a aparatos y vehículos con motores a combustión

- Contaminación por gases de escape
- Contaminación por aceite usado y
- Contaminación por ruido

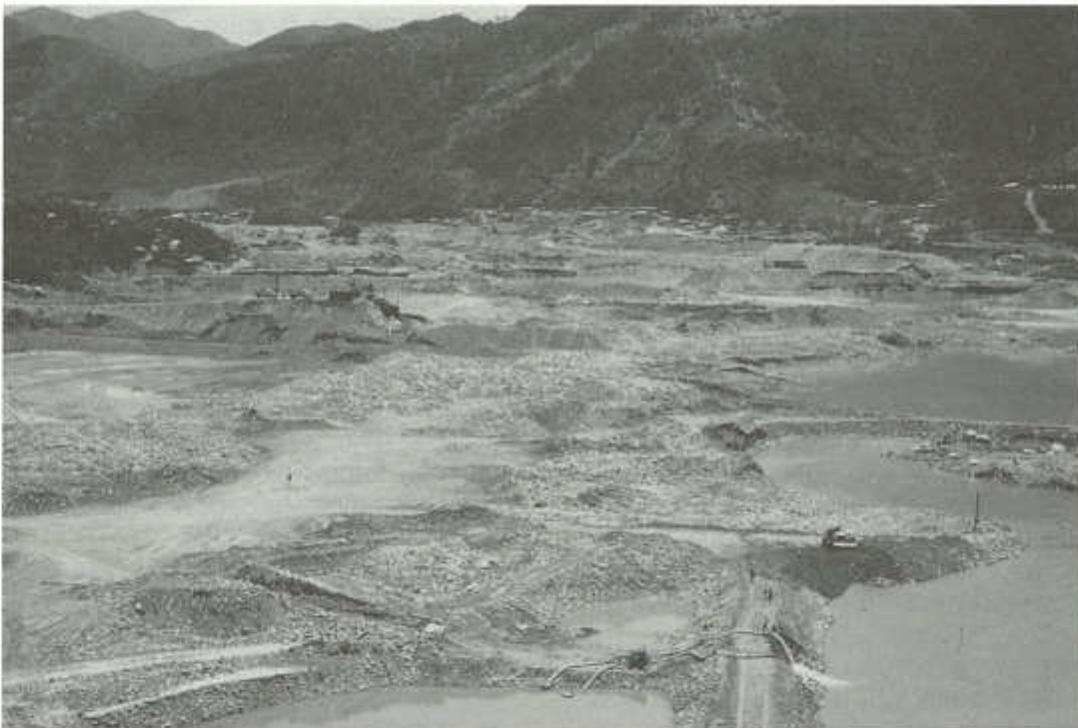
la minería a cielo abierto daña el equilibrio ecológico mediante la exterminación de la vegetación y la contaminación de ríos.

- **Contaminación de ríos.** Grandes cantidades de agua se contaminan con lamas, sobre todo en la explotación a cielo abierto de materiales de placeres de lechos recientes de ríos y mediante el sistema de explotación hidráulico de placeres. Generalmente no se lleva a cabo una depuración posterior del agua. La carga de sedimento suspendida ocasiona daños duraderos a los ríos y en algunas partes se pueden observar a más de 300 km río abajo. En la agricultura con regadío los cultivos sufren bajo la carga del sedimento. Sobre todo en el tiempo seco la

concentración de lamas es especialmente alta y lleva tras sí grandes consecuencias para la población que vive río abajo. Por un lado el agua potable que se recoge del río directamente, especialmente en los valles, es dañada fuertemente en su calidad debido a esto, sobre todo porque no se conocen procesos de filtración. Por otro lado se ocasiona un cambio o bien una aniquilación de la fauna originaria de río debido a la alteración de su medio ambiente acuático. Esto trae consecuencias no solamente para los pescadores sino también para el abastecimiento de alimentos con proteínas animales. Como ejemplo se puede tomar el sistema de ríos bolivianos: Río Tipuani, Río

Mapiri, Río Kaka. A primera vista se puede reconocer en qué río se realiza la explotación de oro.

- **Exterminación de la vegetación.** La necesidad de grandes superficies para los lugares de operación en la explotación a cielo abierto puede llevar a la exterminación de grandes superficies de vegetación (ver foto pag. siguiente). En los sectores de clima tropical húmedo del este de Los Andes de marcado relieve, esto lleva al conocido fenómeno de la erosión del suelo (deslizamientos de faldas, escurrimientos pluviales de suelos, otros daños a los ríos por sedimentos).



Explotación de placeres de oro de gran superficie con consecuencias de destrucción del paisaje. Río Tipuani, La Paz, Bolivia.

#### C.4. MINERÍA DE ROCAS Y SUELOS

Como materias primas de rocas y suelos se cuentan una variedad de minerales y rocas que se encuentran en la más variadas condiciones de estratificación y son empleados de distintas formas y sobre todo tienen precios muy variables. Según estos y otros parámetros se orienta la clase de explotación minera - si se realiza en forma subterránea o a cielo abierto -, la técnica del beneficio, la forma de comercialización, el mercado y sobre todo la posibilidad de transporte de la

materia prima. Mientras que los valiosos materiales refractarios pueden soportar, por ejemplo, los costos de transporte, en parte para el transporte marítimo mundial, los materiales de construcción, debido a su escaso valor, solo se pueden comercializar regionalmente.

El siguiente cuadro sinóptico según Schneiderhöhn resume los principales usos de las materias primas no metálicas e indica la materia que principalmente se explota a cielo abierto (impresión remarcada y cursiva):

Minerales de metales livianos

Minerales de los metales: **aluminio, magnesio, cesio, rubidio, potasio, sodio, litio, estroncio, berilio, calcio, silicio.**

Piedras preciosas, piedras semipreciosas, piedras para joyeríaSales y minerales fertilizantes

Sal gema, sales potásicas, **leucita, alunita, salitre, cal, yeso, anhidrita, apatita, fosfato.**

Materias primas minerales para la gran industria química

**Azufre**, sal gema, sales potásicas, **cal**, fluorita, minerales de manganeso, los cuales sirven juntamente con los combustibles para la fabricación de materias primas de la gran industria química (ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, lejías, amoníaco, etc.).

Minerales colorantes, minerales graficadores y minerales textiles

Minerales de óxidos e hidróxidos de hierro, óxidos de manganeso, bermellón, yeso, **rutilo**, espato pesado, **mica**, grafito, **tiza, agamatolita**, glauconita, **lignito.**

Minerales lubricantes y filtrantes

Grafito, talco, pirofilita.

Minerales refractarios

**Cuarzo, arena de moldear**, grafito, **cromita, bauxita, dolomita, magnesita, asbesto, andalusita**, olivino, **cianita**, dumortierita, **agamatolita, circón.**

Minerales fundentes

**Cuarzo**, fluorita, criolita, **apatita, cal, dolomita.**

Minerales para aislamiento eléctrico y calórico

Minerales de asbesto, talco, serpentina, espuma de mar, **agamatolita, mica, ámbar.**

Minerales abrasivos y de pulimento

**Diamante, corindón, esmeril, granate, cuarzo, piedra cuarcítica de afilar, piedra de molino, hematita roja, diatomita**, trípoli.

Minerales ópticos

Sal gema, fluorita, espato de Islandia, cristal de roca.

Tierras descolorantes y minerales absorbentes

**Alofana, bolus, bentonita, tierra fuller, diatomita.**

Materias primas minerales para la industria de cerámica, de cemento y de vidrio fabricación de hormigón y armagasa

**Caolín, arcilla, cuarzo, feldespatos, talco, agamatolita, minerales de boro, minerales de tierras raras, cal, marga, yeso, arena, cascajo, ripio, trass y otras tobas volcánicas, gravilla.**

Materiales de construcción

**Rocas eruptivas, tobas, arenisca y otras piedras para construcción; pizarra, esquisto, cal, mármol, serpentina, alabastro y otras piedras de decoración, piedras para empedrado de calles, aditamentos para construcción de calles - arena de construcción; aditamentos naturales para piedras ornamentales.**

Los materiales básicos para los materiales de construcción y su uso, debido a su gran significado también para el desarrollo regional, deben ser nombrados nuevamente:

<u>Uso:</u>	<u>roca adecuada:</u>
cascajo (para calles y rieles):	pórfiro cuarcífero, basalto, diabasa, gabro, granito, sienita, gneis, fonolita, cuarcita, grauvaca
pavimento:	granito, sienita, gabro, basalto, diabasa, pórfiro cuarcífero, grauvaca
cordones, escaleras, aceras:	granito, sienita, gabro, arenisca, grauvaca, caliza, cuarcita
decoración de interiores:	granito, sienita, mármol, serpentina
monumentos:	granito, sienita, mármol, dolomita, arenisca
fundaciones de edificios:	granito, sienita, gabro, arenisca, caliza, dolomita, gneis
habitaciones:	toba, arenisca, caliza
planchas para techo:	esquistos, calizas planas

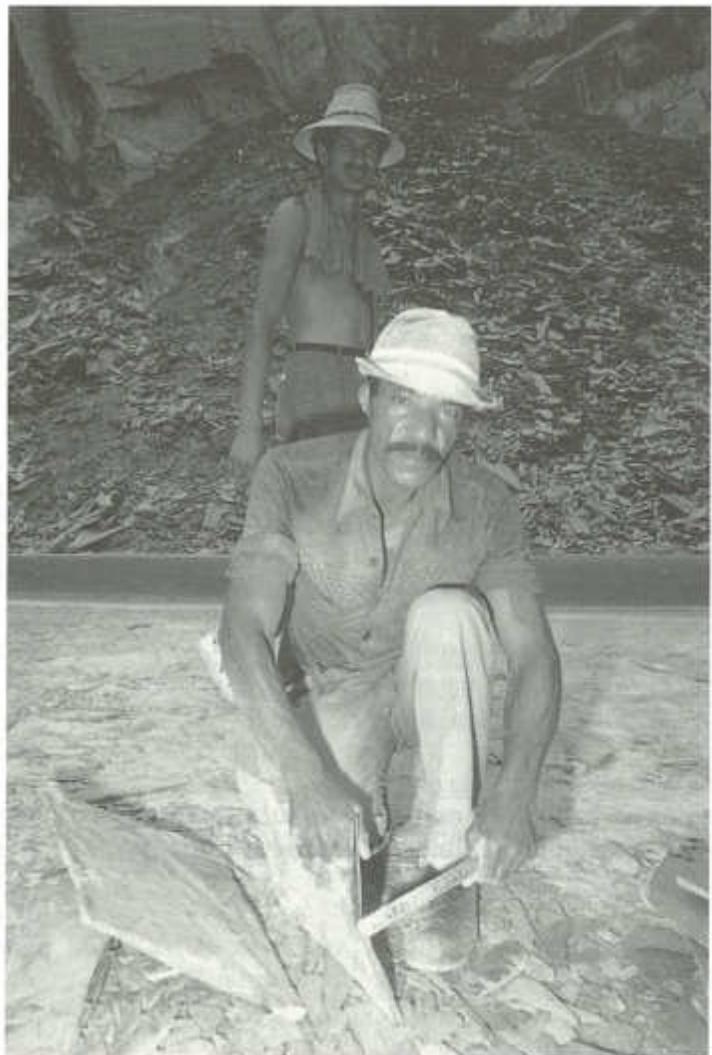
La técnica de explotación minera de las materias primas no metálicas no se diferencia en principio de las técnicas mineras ya descritas. Las rocas consolidadas se explotan mediante perforación y voladura, solo las rocas especiales para la decoración, por ejemplo mármol, se explota mediante el aserrado con sierras de cable. Mientras más grande sea el bloque a explotar mayor cuidado se debe tener con la voladura en el arranque. Esto se puede conseguir mediante la elección del trazo de perforación y sobre todo, por medio de la elección del explosivo. El minero puede lograr escombros de bloques grandes por medio de la dilución de explosivos granulados y gelatinosos con componentes no explosivos o mediante la elección de explosivos menos poderosos. De esta manera, por ejemplo, la minería

de esquistos, utiliza pólvora negra para la producción de grandes paquetes de planchas. Las técnicas especiales de la explotación de bloques de roca y de procesamiento, sin embargo, no deben ser el contenido del presente trabajo, sobre todo debido a que estas técnicas de trabajo están descritas muy exactamente en la reciente publicación:

STONE. An Introduction. Asher Shalom. Intermediate Technology Publications. London 1989 [ISBN 0946688 08 7 (UK); ISBN 0942850 15 7 (USA)]

En comparación con la técnica minera de materias primas metálicas y minerales combustibles (hulla, lignito, turba, asfalto, esquisto bituminoso), la cantidad específica de materias primas explotadas es frecuentemente mayor. Sobre todo la minería de materiales de construcción, debido a su bajo

contenido valioso de los productos, anteriormente nombrado, es una minería de productos en masa. En ella los problemas radican principalmente en la extracción y en el transporte al mercado. Por lo general para esto son necesarios sistemas de transporte intensivos en costos (camiones, cargadores a ruedas, etc.), por los cuales las operaciones en yacimientos de estas materias primas llegan ya a pertenecer al campo de la minería mediana. Por otro lado, actividades mineras de productos más valiosos, por ejemplo, grafito, diatomita o minerales de tierras raras o labores mineras con alto porcentaje de trabajo manual o trabajos difícilmente mecanizables, pueden ser realizadas enteramente mediante operaciones pequeñas típicas de forma artesanal, parcialmente mecanizadas.



Explotación manual de planchas de esquisto, Valle del Cauca, Colombia.

## Capítulo técnico 10: Máquinas para minería a cielo abierto

### 10.1 TELEFERICO SIMPLE POR GRAVEDAD

**Instalaciones en superficie para minería subterránea y a cielo abierto**

**Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie**

Español: cablevía por contrapeso, andarivel por contrapeso  
 Quechua: hualaycho  
 Aleman: Einfache Schwerkraftseilbahn

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: dependientes de la diferencia de altura a vencer  
 Tipo de energía motriz: técnica sin fuerza motriz  
 Material:  
 Cuát: lubricantes  
 Cantidad: pequeñas cantidades

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: relativamente bajos, poleas de retorno, cable, recipientes para el transporte  
 Costos de operación: muy bajos

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar de operación:	son necesarias grandes diferencias de altura topográfica para poder vencer las fricciones solo mediante el peso de la carga a transportar.		
Exigencias al sistema de explotación:	La mina o bien el lugar de producción debe encontrarse topográficamente encima de la planta de beneficio o del lugar de procesamiento ulterior.		
Aparato que puede reemplazar:	caminos con transporte de mineral en camiones hacia la planta de beneficio o a lugares de transbordo.		
Divulgación regional:	en uso a nivel mundial, empleo no restringido solo a la minería		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
	eventualmente evita caminos y sus consecuencias (problemas de erosión, etc.)		
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	construcción de fundaciones para los sostenes de las poleas, eventualmente construcción de una instalación de tensado.		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Priester, Hentschel

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El andarivel a contrapeso consiste en un cable sin fin circulante conducido por dos poleas de retorno, una arriba en el nivel de carga y la otra abajo en el nivel de descarga. Los recipientes para el transporte colocados en el cable se mueven por medio de la diferencia de peso de la carga.

El recipiente cargado llega hasta abajo debido a la fuerza de gravedad y de esta manera jala al recipiente vacío hacia arriba para el próximo proceso de transporte. Para la regulación de la velocidad de transporte una de las poleas de inversión es frenada, por ejemplo, mediante un freno de banda o de mandíbula (se frena convenientemente arriba). Una instalación de descarga automática puede contribuir a la simplificación del transporte. Una polea de retorno deberá hacer variar la tensión del cable.

## 10.1 TELEFERICO SIMPLE POR GRAVEDAD

Instalaciones en superficie para minería subterránea y a cielo abierto

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie

### **OBSERVACIONES:**

Alternativamente el teléferico simple por gravedad puede estar provisto de cables separados para el sostenimiento, la tracción o bien el frenado. Dos cables paralelos tensos sirven como cables de sostén. Por lo general son fabricados de alambre de acero trenzado. Los recipientes de transporte corren con poleas sobre los cables de sostén. El cable de tracción o bien de frenado que corre por una polea de retorno frenada une ambos recipientes de transporte. Estos están provistos de una tapa en el piso que se abre automáticamente cuando la palanca de cierre se desactiva al pasar por un dispositivo especial para ello. El cierre de la tapa se realiza manualmente antes del nuevo cargado y después del viaje del recipiente vacío hacia arriba.

Los teleféricos por gravedad se emplean siempre en forma práctica en los lugares donde el mineral debe ser transportado desde la mina que se encuentra en un lado del cerro hacia la planta de beneficio que está en el valle. Las plantas de beneficio están a menudo unidas a los accesos de agua, debido a que en ellas se necesita grandes cantidades de agua ya sea para el proceso o para ser utilizada como fuerza motriz hidromecánica para máquinas operadoras.

### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Los teleféricos por gravedad son, después de las canaletas, los sistemas más simples y baratos para vencer distancias verticales.



Andarivel simple por gravedad. Lugar de carga en la parte superior cerca de la bocamina durante la carga de un recipiente. A la derecha, el minero encargado de frenar delante de la polea de retorno para el cable de tracción y del tambor para el frenado. A la izquierda, el recipiente cuyo piso se abre automáticamente al pasar por una palanca de tiro. Operación aurífera en la Mina Los Guavos, Sotomayor, Colombia.

## 10.2 PERFORACION A CABLE

Explotación a cielo abierto, Construcción de pozos, eventualmente minería subterránea

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie

Inglés: cable tool drill  
Aleman: Seilbohren

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	perforación a cable de Pennsylvania recorrido 500 - 1000 mm frecuencia aprox. 30 min <sup>-1</sup>	perforación a cable en China altura de golpe del trépano de sondeo hasta aproximadamente 12 cm
Potencia motriz:	12 - 15 golpes por minuto	
Forma de trabajo:	continua	
Producción/Rendimiento:	2 - 5 años para perforaciones de 1000 m de profundidad en China	
Grado de rendimiento técnico:	con 250 mm (arriba) - 125 mm (abajo) Ø 0.5 - 1.2 m/d	

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de operación: costos de perforación bastante bajos, en parte alto desgaste del cable

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos	----- ■	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	----- ■	altos
Exigencias al yacimiento:	con la perforación a cable se practicaron ya antes de Cristo perforaciones para pozos de salmueras y de gas. Las perforaciones fueron a través de paquetes de areniscas, areniscas suaves, calizas, arcillas, en general rocas sueltas aglomeradas no consolidadas, las cuales sin embargo no debían desmoronarse ni tampoco presentar fuertes fisuras o grandes espacios abiertos (por ejemplo carsos)		
Aparato que puede reemplazar:	máquinas perforadoras en bancos, eventualmente en canteras		
Contaminación ambiental:	baja	■-----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- ■	mala
Bajo qué condiciones:	perforación a cable, por ejemplo, con torres de madera y balancín de perforación de metal o de madera que se pueden fabricar localmente		
Tiempo de vida:	muy largo	----- ■	muy corto
	el corto tiempo de vida del cable es problemático		

Literatura, Fuente: Feldhaus, Arnold, Treptow, Schmiedchen

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Para la perforación a cable en China se utilizaba una torre de perforación de cuatro soportes de bambúes liados, bajo la cual se movía la herramienta de perforación, un martillito de hoja colgaba de un cable. El movimiento se produce tanto mediante un balancín por ejemplo, una viga de madera elástica asegurada en un extremo sobre la cual se balancea una o dos personas como directamente mediante el jalado del cable. Por medio del jalado del cable se levantaba un poco el trépano del suelo de la perforación y caía hacia abajo nuevamente debido a su propio peso. Mediante la torsión del cable, el trépano también podía ser rotado. Luego que el piso de la perforación se llenaba de polvo de perforación, la roca disuelta fue extraída a la superficie con una simple cuchara mediante jalado del cable. Para el montaje y desmontaje del trépano y de la cuchara servían el cabrestante o una noria. El entubado consistía en tubos de bambúes, en parte bastante calafateados con betún, resina y lienzo. Las capas muy conductoras de agua podían ser rellenadas con limo o resina, calafateadas y nuevamente perforadas. La perforación de cable de Pennsylvania trabaja según el mismo principio de perforación de la caída libre del cable.

## 10.2 PERFORACION A CABLE

Explotación a cielo abierto, Construcción de pozos, eventualmente minería subterránea

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie

### FORMAS DE USO:

para la ejecución de profundas perforaciones verticales para la voladura en la minería a cielo abierto,  
para la toma de muestras,  
para la ejecución de perforaciones de pozos de ventilación con diámetro de 100 - 150 mm.

### OBSERVACIONES:

La perforación a cable es conocida en China desde hace más de 2000 años para la perforación de pozos salinos.

Las desventajas de la perforación a cable son:

- la difícil apreciación de la carrera del trépano debido a la torsión del cable
- la rotación irregular debido a la torsión del cable
- la falta de posibilidad de lavado
- las dificultades en la recuperación del trépano cuando el cable se rompe, en general para ello debe haber un varillaje

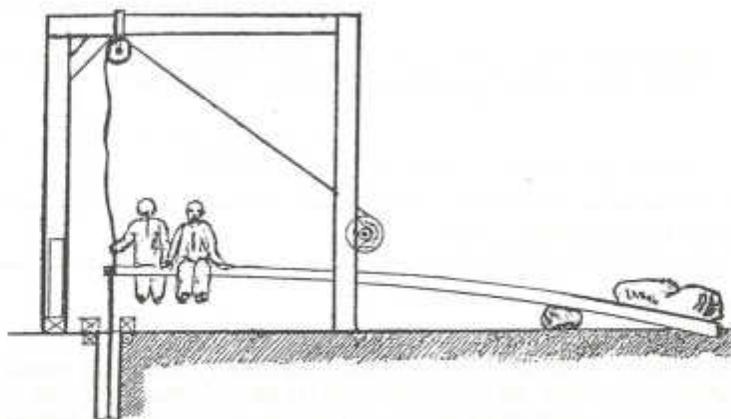
Las ventajas de la perforación a cable son:

- el poco peso de la instalación necesaria para la perforación
- el rápido colgado y descolgado del aparato de perforación
- perforaciones verticales muy rectas y exactas.

Durante la perforación se aprovecha el estiramiento elástico del cable, es decir el cable se encuentra todavía en tensión también cuando el trépano choca contra el suelo de la perforación. De otra manera el cable sería aplastado y existiría el peligro de rotura de éste cerca de la conexión con el trépano. En la perforación a cable de Pennsylvania una tijera de deslíz dentro de las herramientas de perforación evita aplastamientos del cable.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERIA:

La perforación a cable es una técnica adecuada para la ejecución de perforaciones verticales profundas sin el empleo de energía adicional. Sin embargo, los rendimientos de perforación son comparativamente bajos.

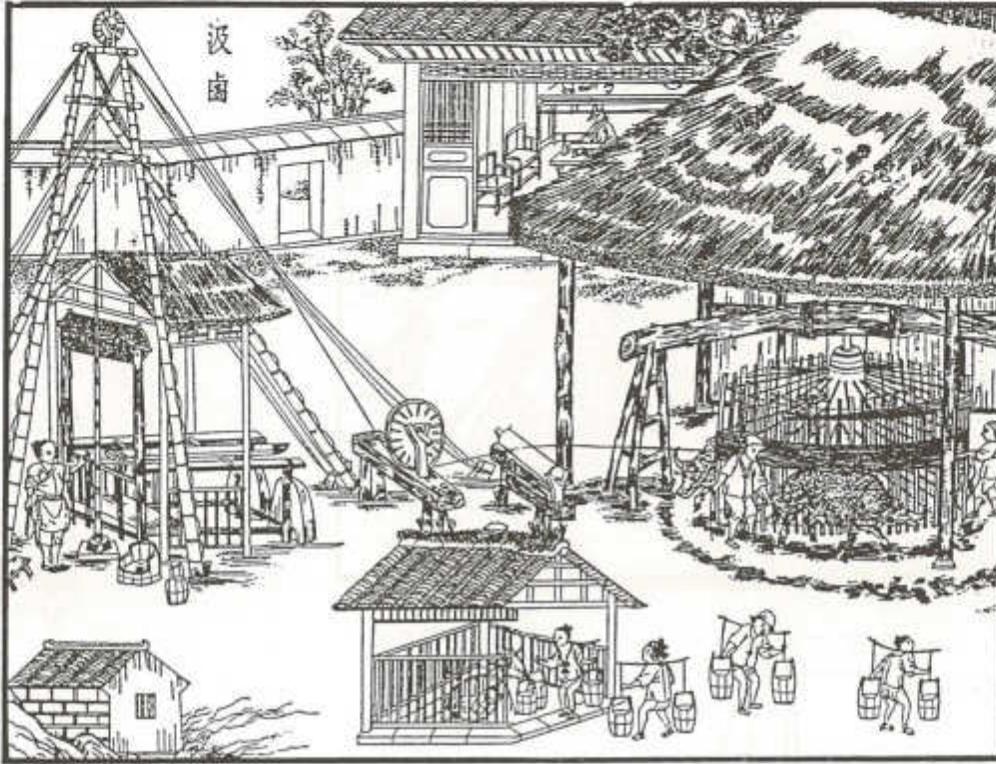


Dib.: El método chino de perforación de pozos, de Feldhaus

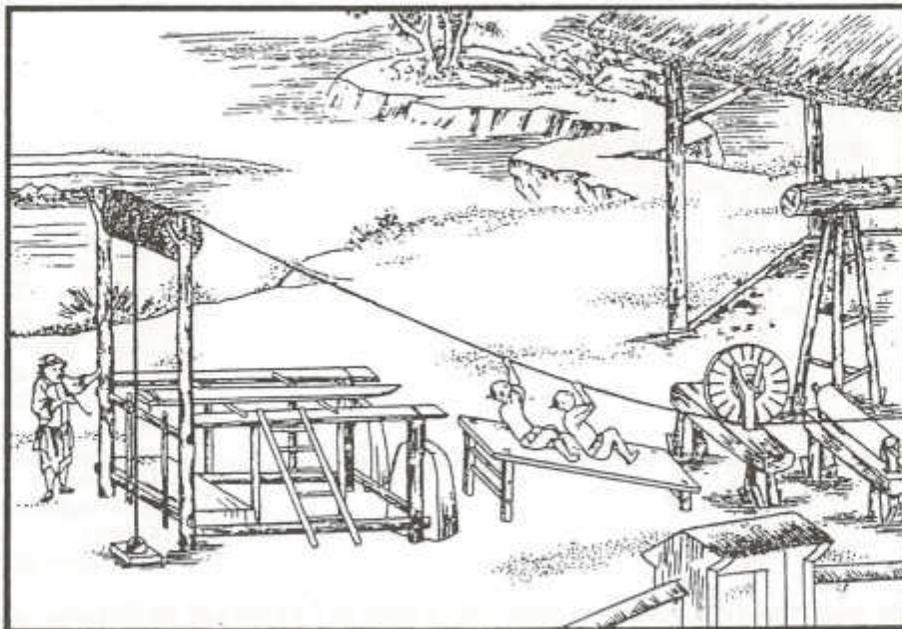
## 10.2 PERFORACION A CABLE

Explotación a cielo abierto, Construcción de pozos, eventualmente minería subterránea

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie



Dib.: Instalación de perforaciones profundas chinas, de Arnold

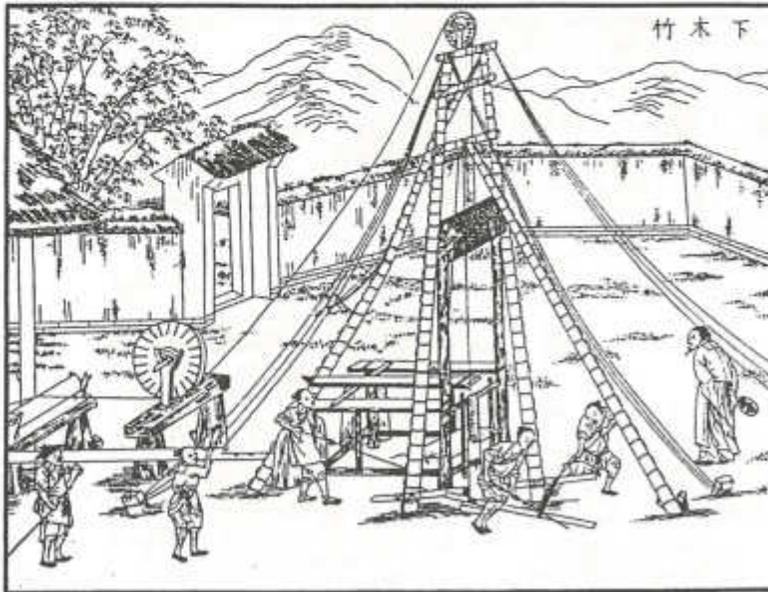


Dib.: Instalación de perforación en China aprox. 600 años antes de Cristo con instalación para golpe, de Arnold.

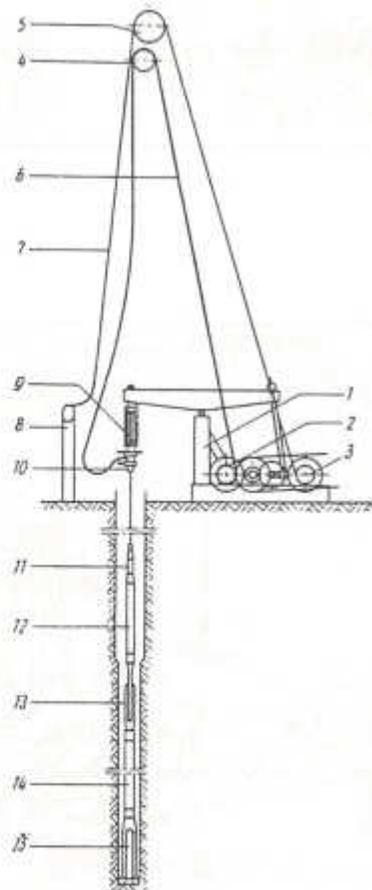
## 10.2 PERFORACION A CABLE

Explotación a cielo abierto, Construcción de pozos, eventualmente minería subterránea

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie



Dib.: Montaje de tubería en perforaciones chinas profundas aprox. 600 años antes de Cristo, de Arnold



1. Aparato de perforación a cable
2. Tambor del cable para la perforación
3. Tambor para la limpieza
4. Polea de la torre
5. Polea para la limpieza
6. Cable para la perforación
7. Cable para la limpieza
8. Caja para el barro
9. Husillo de alojamiento
10. Dispositivo de apriete para el cable
11. Torbellino del cable
12. Barra pesada superior
13. Tijera de desliz
14. Barra pesada inferior
15. Trépano de Pennsylvania

Dib.: Exposición esquemática del proceso de perforación a cable de Pennsylvania, de Schmiedchen

## 10.3 DRAGALINA DE SUCCION

Explotación a cielo  
abierto de placeres  
a nivel del río

Minería a cielo  
abierto  
Aparatos en  
superficie

Español:	draga aspirante, draga de succión
Inglés:	suction dredge
Aleman:	Saugbaggerflöße
Fabricante:	Keene, HG (Colombia), Humphreys Mineral Ind., Mining Equipment Inc., Döpke, COMESA, IAA

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	aprox. 2 x 3 m superficie
Peso:	desde 20 - 350 kg peso del aparato (motor, bomba, canaletas)
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado
Fuerza motriz:	aprox. hasta 10 PS motor a combustión
Tipo de energía motriz:	motor a combustión
Posibilidades alternativas:	eventualmente fuerza motriz del tipo de barco con ruedas hidráulicas para generar energía
Forma de trabajo:	semicontinua/continua
Producción/Rendimiento:	desde 7.5 m <sup>3</sup> /d hasta aprox. 220 m <sup>3</sup> /d
Material:	
Cuál:	Bencina
Cantidad:	0.3 - 1.0 l/m <sup>3</sup> de sedimento

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	aprox. 7500 hasta 20.000 DM
Costos de operación:	costos de combustible
Costos derivados:	eventualmente para motor fuera de borda

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: Tripulación 2 hombres, 1 buzo	bajos	-----■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	-----■-----	altos
Exigencias al lugar de operación:	río con profundidad < 10 m		
Exigencias al mineral:	relativamente bastante grano grueso		
Exigencias al yacimiento:	sedimento arenisco suelto aluvial poco aglutinado		
Exigencias a la roca caja:	poco contenido de arcilla		
Exigencias al Sistema de explotación:	la explotación tiene especialmente sentido en los lugares donde las barreras o costillas naturales del piso del río hayan formado trampas para las partículas de oro.		
Divulgación regional:	Bolivia, Brasil, Ecuador, Colombia, Venezuela, etc.		
Experiencia del operador:	muy buena	-----■-----	malá
Contaminación ambiental:	baja	-----■-----	muy alta
	gases de escape, aceite usado, contaminación del río mediante el lodo estéril que retorna al río		
Facilidad de fabricación local:	muy buena	-----■-----	malá
	con el empleo de componentes importados como el motor, la bomba		
Tiempo de vida:	muy largo	-----■-----	muy corto

Literatura, Fuente: Dahlberg

## 10.3 DRAGALINA DE SUCCION

Explotación a cielo  
abierto de placeres  
a nivel del río

Minería a cielo  
abierto  
Aparatos en  
superficie

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La unidad de maquinaria completa (bomba de succión para el transporte, motor, beneficio) está montada sobre una balsa que se encuentra anclada entre la ribera o conducida con un motor fuera de borda.

El motor acciona una bomba centrífuga. El agua para el transporte es inyectada por medio de una manguera a presión cerca del tubo de aspiración a la manguera de aspiración y arrastra agua y sedimento a través del tubo de aspiración. Esta pulpa llega a la balsa y a un sistema simple de beneficio gravimétrico con cribado de la fracción gruesa y distintos tipos de canaletas. El preconcentrado que queda es concentrado ulteriormente mediante una batea y finalmente seleccionado ya sea a mano o amalgamado.

### **FORMAS DE USO:**

Las dragalinas de succión se emplean para la explotación de oro de placeres aluviales en el lecho de los ríos. Con una profundidad de operación entre 2 y 10 metros y un diámetro del tubo de aspiración de 1.5" - 8" se bombea y procesa entre 0.75 y 22.5 m<sup>3</sup>/h de sedimento.

### **OBSERVACIONES:**

Condicionado por el sistema de beneficio generalmente simple, mediante una concentración con canaletas se recupera solo el oro de grano relativamente grueso. De esta manera el oro fino se pierde. Se debería examinar la posibilidad de recuperación de fracciones finísimas de oro mediante el acoplamiento posterior de separadores helicoidales y centrífugas. Para ello sería ventajoso que el material fuera totalmente prelavado.

Las dragalinas de succión más pequeñas son transportables y pesan, inclusive la balsa, solo alrededor de 25 kg. En estos casos las balsas son construídas de neumáticos de camiones. Las balsas más grandes tienen cuerpos de suspensión, por ejemplo de turriles para diesel.

Las balsas más grandes están igualmente equipadas con un abastecimiento de aire comprimido para el buzo, el cual trabaja directamente con el tubo de aspiración en el lecho.

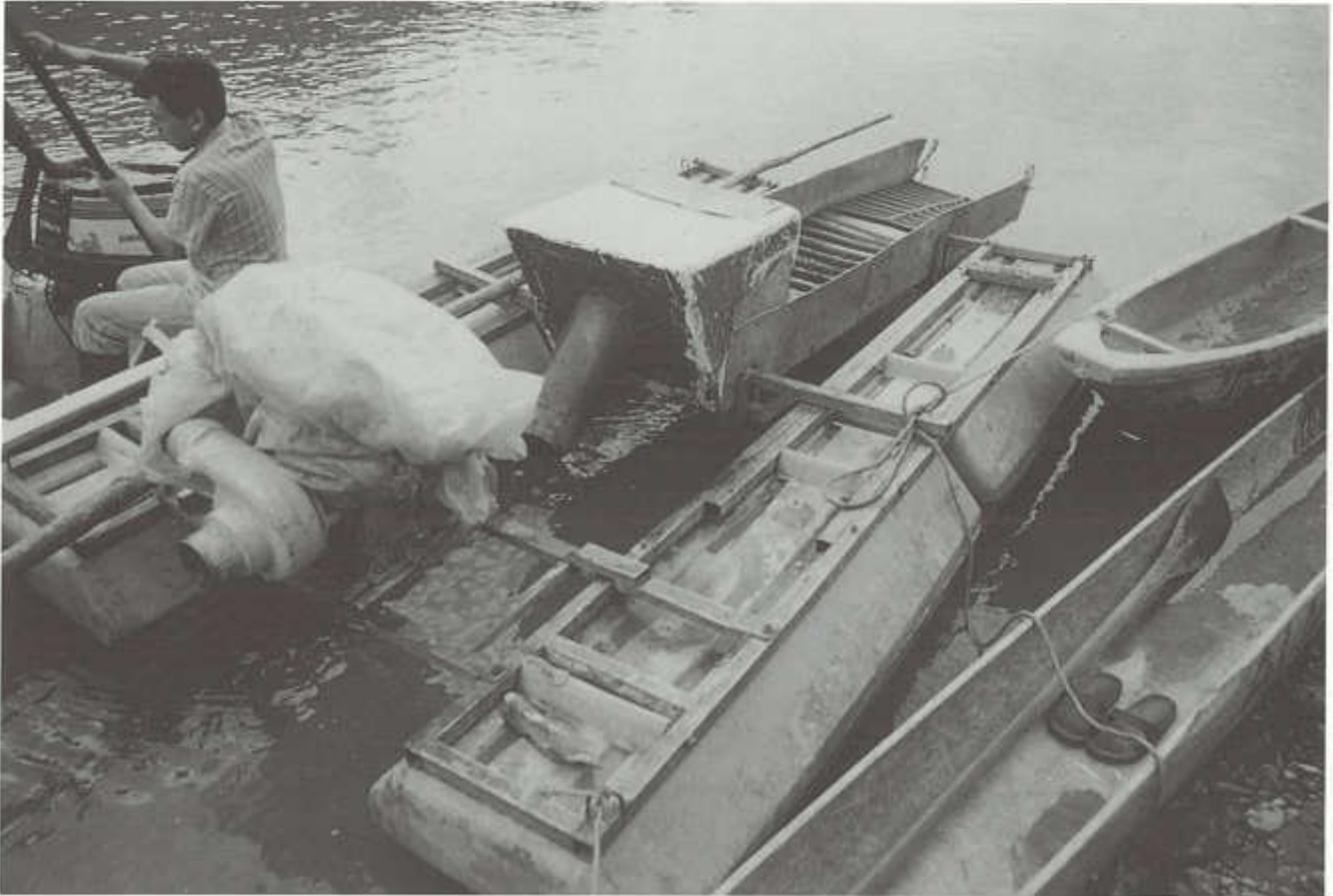
### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Fuera de los altos costos de inversión y de operación, las dragalinas de succión son aptas para la explotación de oro a pequeña escala de placeres fluviales recientes con granos de oro relativamente gruesos. De esta manera se pueden explotar zonas de yacimientos que no se pueden alcanzar mediante métodos rústicos de explotación manual.

### 10.3 DRAGALINA DE SUCCION

Explotación a cielo abierto de placeres a nivel del río

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie

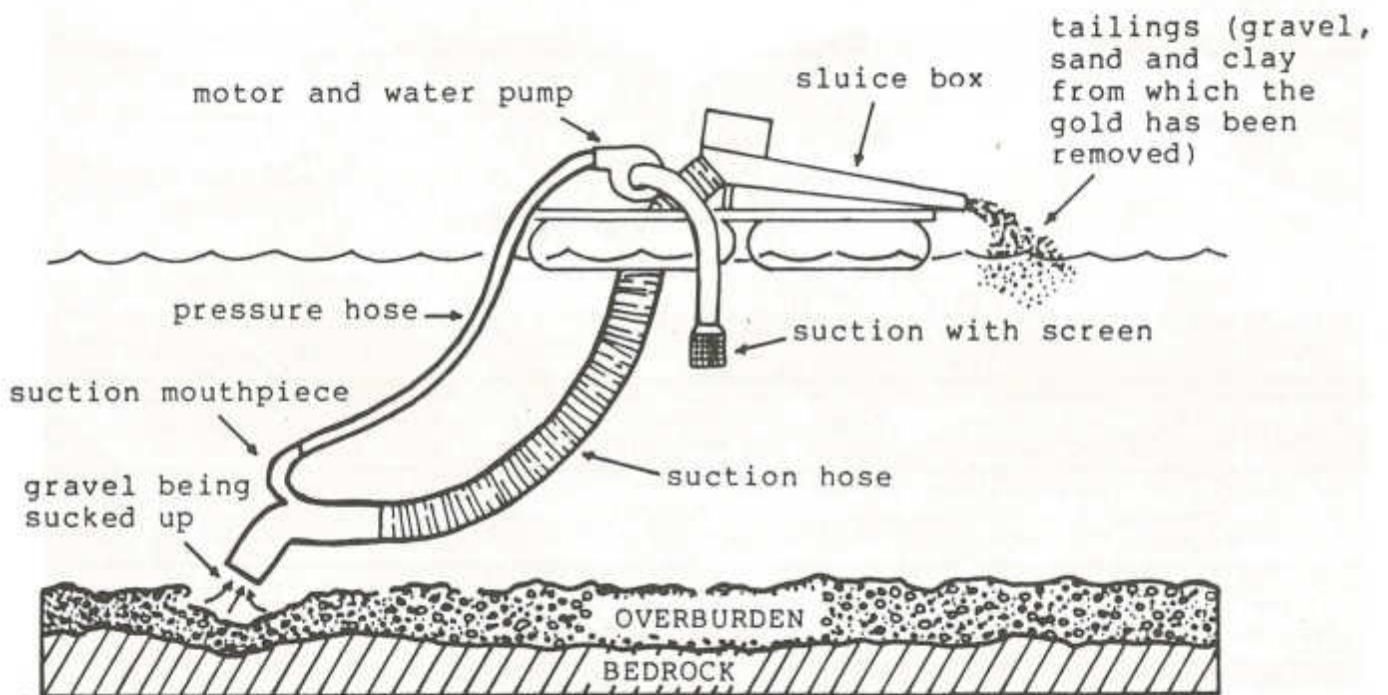


Dragalina de succión de construcción colombiana con cuerpos de suspensión de material plástico. Encima están montados: a la izquierda la bomba para el transporte, a la derecha la caja de alimentación y atrás la canaleta con estrias para la concentración. Explotación de placeres de oro y platino en el Río Telembi, Región del Pacífico, Nariño, Colombia.

### 10.3 DRAGALINA DE SUCCION

Explotación a cielo abierto de placeres a nivel del río

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie



Dib.: Exposición esquemática de una dragalina de succión, de Dahlberg

## 10.4 BOMBA A GOLPE DE ARIETE

Instalaciones en superficie para minería subterránea y a cielo abierto en general

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie

Español:	ariete hidraulico, bomba de impulso a presion, impulsor de agua
Inglés:	hydram, hydraulic ram pump, rife ram
Aleman:	Wasserschlagpumpe, hydraulischer Widder, Stoßheber, Druckstoßpumpe, Wasserstößer
Fabricante:	WAMA, Campo Nuevo, Pfister+Langhans, Gebr. Abt, Schlumpf AG, Ch, J. Blake, Las Gaviotas, Rife Hydraulic Engine Man., Cyphelly & Cie, Inteco

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	desde 3 - 12 l/min (3/4") agua impulsora, 320 mm altura hasta 280 - 600 l/min (6") 1400 mm
Peso:	18 - 427 kg
Grado de mecanización:	parcialmente mecanizada
Tipo de energía motriz:	energía de agua impulsora
Forma de trabajo:	semicontinua
Producción/Rendimiento:	cantidad de agua a bombear dependiente de la altura a vencer: declive del agua impulsora 40 % (2 : 1) hasta 1.25 % (20 : 1) - 250 m altura a bombear
Grado de rendimiento técnico:	30 - 60 %
Material:	
Cuál:	agua impulsora
Cantidad:	dependiente del caudal a bombear y del declive (mínimo 0.5 m)

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	precios de bombas nuevas, fob Grafring de 1400 a 2000 DM ; Campo Nuevo aprox. 250 hasta 550 US\$
Costos de operación:	muy bajos, escaso mantenimiento, muy poco desgaste
Costos derivados:	tubería de subida, medidas hidráulicas

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal:	muy pocas, solo es necesario de tiempo en tiempo el control del porcentaje de aire en la cámara de aire		
Exigencias al lugar de operación:	son necesarios agua y diferencia de relieve		
Exigencias al sistema de explotación:	lugar típico de aplicación es la explotación de placeros de las terrazas formadas por rios de río que se encuentran por encima del nivel del cauce.		
Aparato que puede reemplazar:	todas las formas de bombas neumáticas, mecánicas y eléctricas		
Divulgación regional:	antes mundialmente, desplazada por sistemas eléctricos		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller metal mecánico, material de construcción: recortes normados de tubos		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Fraenkel, Meyer, Mönninghoff, Información del fabricante

## 10.4 BOMBA A GOLPE DE ARIETE

Instalaciones en superficie para minería subterránea y a cielo abierto en general

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El agua impulsora fluye a través de la parte inferior del ariete y lo abandona por la válvula abierta del mismo con velocidad creciente. Cuando sobrepasa un determinado valor límite, el agua circulante cierra la válvula del ariete. Por la inercia se crea una presión máxima. Esta abre la válvula de retención en la cámara de aire y el agua impulsora acumulada es presionada a la cámara de aire hasta que la presión dinámica máxima bajo la presión interior de la cámara de aire haya bajado. Luego se cierra la válvula de retención y se abre nuevamente la válvula del ariete. Este proceso, descrito arriba, se repite periódicamente. El agua que ingresa a la cámara de aire es transportada al consumidor por la presión interna de la cámara de aire mediante la tubería de ascenso.

### **FORMAS DE USO:**

Los arietes hidráulicos se emplean siempre en forma práctica en lugares donde se dispone de grandes cantidades de agua con escasa pendiente y donde al mismo tiempo se necesita sobrenivel de agua para las operaciones mineras, de beneficio, de riego u otros fines.

### **OBSERVACIONES:**

Los inventores de esta bomba fueron los hermanos Montgolfier, quienes en el año 1779 la patentaron en Francia y la llamaron "ariete hidráulico".

Los arietes hidráulicos son muy aptos para la construcción propia si es que se dispone de talleres metal mecánicos calificados. Los componentes para su construcción se pueden fabricar de recortes de tubos o similares y permiten la reducción de los costos de material y de trabajos complicados de soldadura.

Una fuente especialmente importante de fallas en el ariete hidráulico consiste en que el volumen de aire comprimido (colchón de aire) en la cámara de aire se puede disolver en el agua a bombear. Así entonces se crean grandes presiones máximas en todos los elementos de la estructura y el caudal a bombear baja. Para subsanar esta falla se puede perforar un agujero en el tubo del agua impulsora cerca de la entrada al ariete la que, al igual que en las trompas de agua, arrastra el aire y lo separa nuevamente en la cámara de aire.

Otro elemento de significado importante es la longitud del tubo del agua impulsora, la cual influye en la distribución de la presión durante el cierre y en la apertura de las válvulas. Preferentemente las longitudes de los tubos se deben elegir entre 5 y 12 veces la diferencia de altura de la caída del agua impulsora.

El agua impulsora debe estar libre de partículas en suspensión y de carga de sedimentos.

El tubo del agua impulsora tiene que ser necesariamente de metal, debido a que los tubos flexibles por ejemplo, de polietileno o de cloruro de polivinilo (PVC) ceden a las presiones máximas y conducen a disminuciones en los rendimientos de presión y de bombeo. El tubo de transporte puede ser de material plástico y acoplado con pegamento, soldadura o abrazaderas

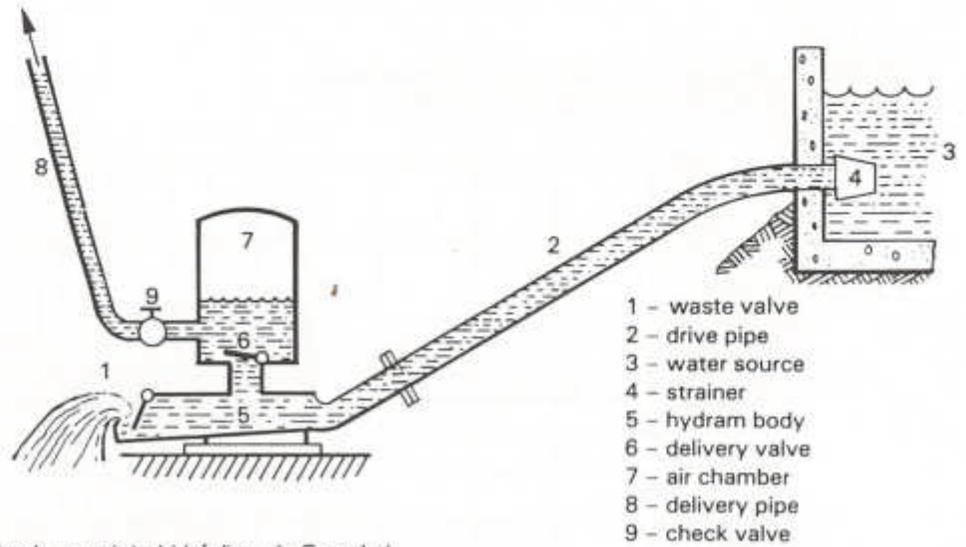
### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Los arietes hidráulicos son especialmente buenos para fines mineros cuando se carece de infraestructura energética y existe bastante cantidad de agua impulsora y diferencia de altura. En su operación son extremadamente baratos, robustos y se adaptan para la construcción local.

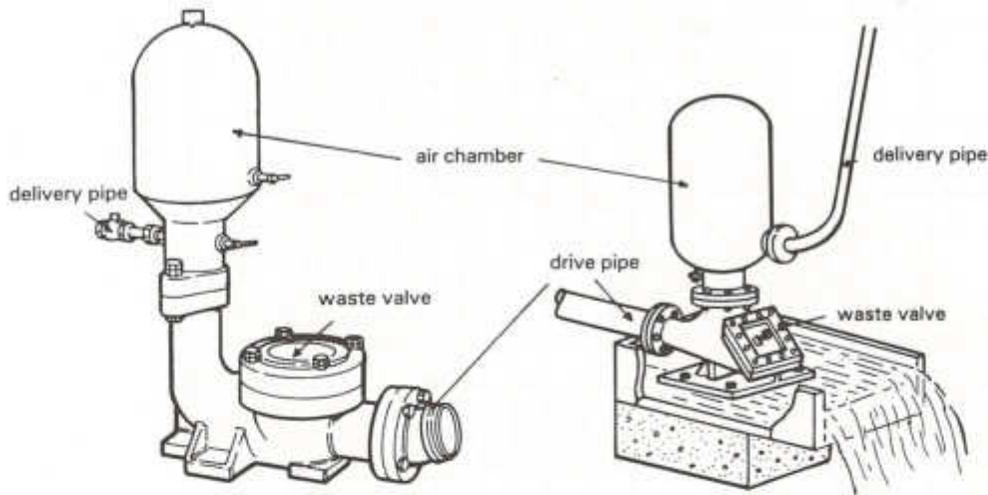
# 10.4 BOMBA A GOLPE DE ARIETE

Instalaciones en superficie para minería subterránea y a cielo abierto en general

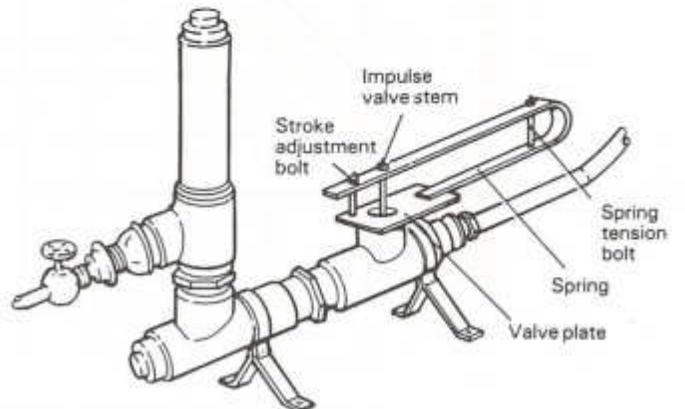
Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie



Dib.: Principio de funcionamiento de un ariete hidráulico, de Fraenkel



Dib.: Diferentes formas de construcción de arietes hidráulicos, de Fraenkel  
arriba izquierda: tipo europeo tradicional (Blakes)  
arriba derecha: tipo asiático del sudeste  
abajo: Ariete de recortes de tubos



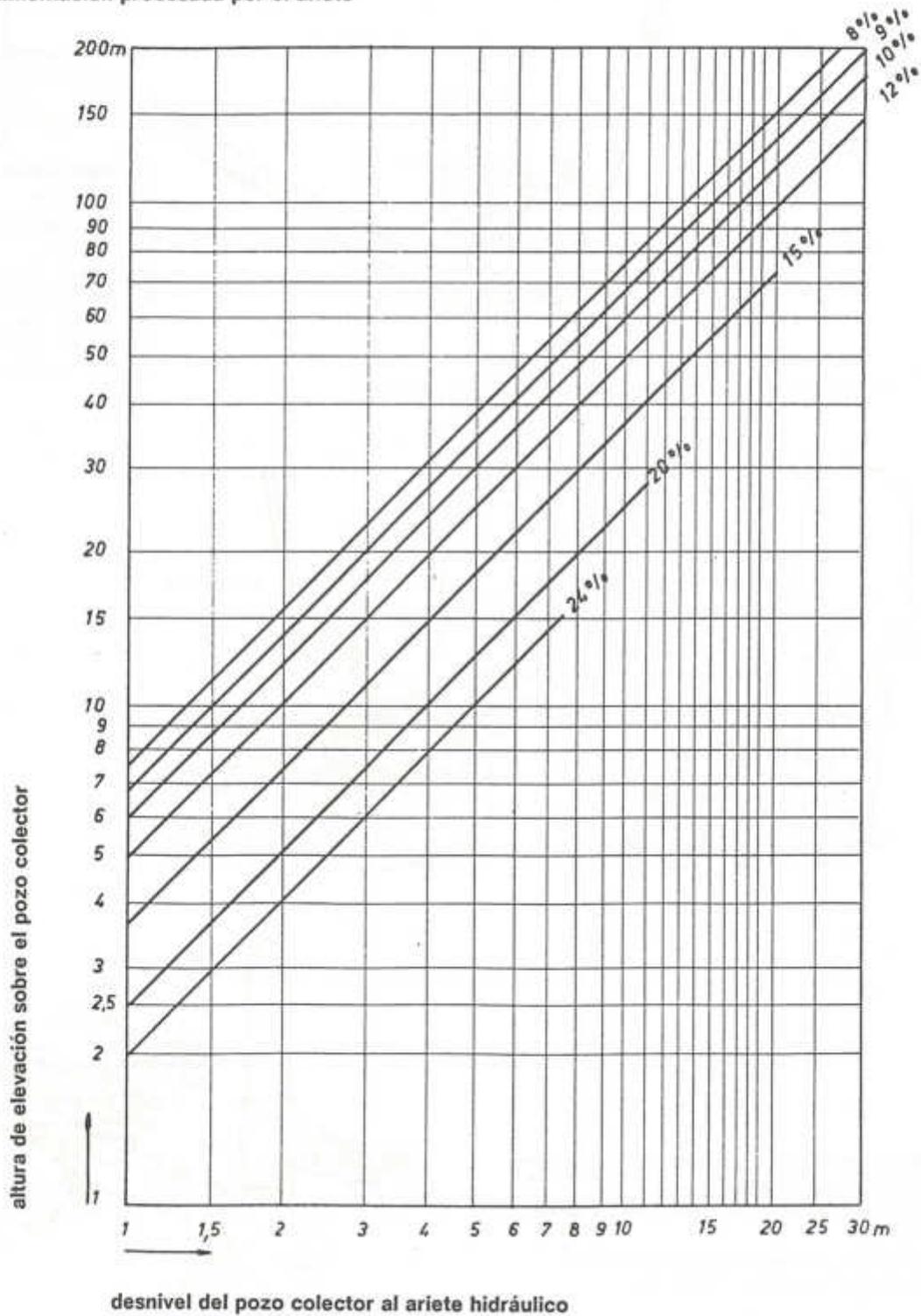
## 10.4 BOMBA A GOLPE DE ARIETE

Instalaciones en superficie para minería subterránea y a cielo abierto en general

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie

Tabla; Datos de desnivel y rendimiento del ariete hidráulico, de información de la empresa Schlumpf

Cantidad a bombear, en porcentaje de la cantidad de agua de alimentación procesada por el ariete



## 10.5 NORIA

**Instalaciones en  
superficie para minería  
subterránea y a cielo  
abierto en general**

**Minería a  
cielo abierto  
Aparatos en  
superficie**

Español:	rueda elevadora
Inglés:	noria
Aleman:	Schöpfrad, Hesslerad
Fabricante:	M. Implert

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	Diámetro 2.5 m y mayores, 0.7 m ancho
Peso:	700 - 800 kg
Tipo de energía motriz:	hidromecánica
Forma de trabajo:	continuo
Producción/Rendimiento:	aprox. 1 l/seg, altura de elevación aprox. 1.5 m
Grado de rendimiento técnico:	hasta 60 %
Material:	
Cuál:	agua
Cantidad:	muy bajas diferencias de altura, pero altas velocidades de flujo

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	14.000 DM , en construcción propia significativamente más bajo
Costos de operación:	muy bajos
Costos derivados:	pequeñas obras hidráulicas, protección contracrecidas

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal:	pocas		
Exigencias al lugar de operación:	es necesario agua con velocidad de flujo		
Exigencias al sistema de explotación:	la demanda del agua debe estar relativamente cerca, sobre el nivel del río ya que la altura de elevación solo es de aprox. 50 - 60 % del diámetro de la rueda, por ejemplo, para el beneficio de minerales brutos de las terrazas de rípios en la cercanía del río		
Aparato que puede reemplazar:	bombas pequeñas, ariete hidráulico		
Divulgación regional:	históricamente ampliamente divulgado, hoy todavía en regiones asiáticas y africanas en la agricultura		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller de carpintería		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: M. Implert, Eckholdt, Meyer, Cancrinus, Fraenkel

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La noria consiste en una rueda (Zuppinger) de agua con un mecanismo de golpe por debajo, lateralmente están colocados los cangilones.

## 10.5 NORIA

Instalaciones en  
superficie para minería  
subterránea y a cielo  
abierto en general

Minería a  
cielo abierto  
Aparatos en  
superficie

Estos sacan el agua del nivel del río y se vacían por sí solos en el punto muerto superior en una canaleta de conducción. Es necesaria una velocidad de flujo relativamente alta, sin embargo solo un pequeño desnivel.

### FORMAS DE USO:

Las norias se emplean para el transporte de agua de grandes ríos a un nivel un poco superior del mismo, por ejemplo en las cercanías del río, para el lavado en canaletas, cribado con agua, etc.

### OBSERVACIONES:

Las norias de madera pueden ser construidas en forma desmontable y así transportadas en partes individuales a lugares con mala infraestructura de acceso.

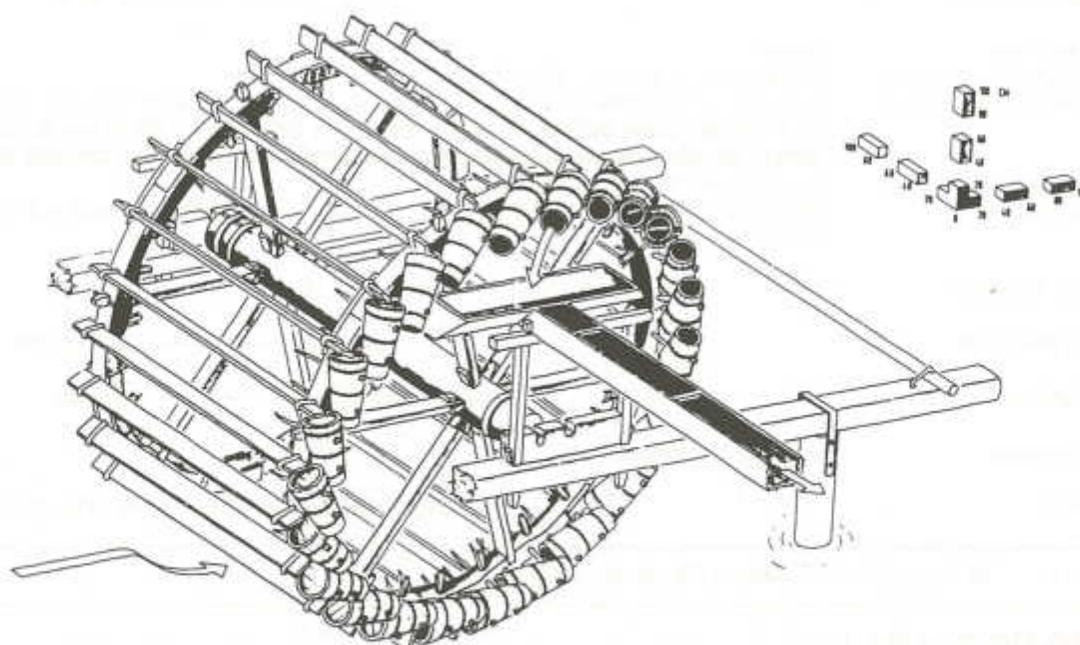
La fabricación local según instrucciones y con materiales de construcción del lugar no presenta ningún problema y lleva a una marcada disminución de costos.

En la operación de las norias lo problemático son las grandes fluctuaciones del nivel del agua. Si sube el nivel del agua hasta la zona del eje existe el peligro de la destrucción de la rueda. Por eso, es necesario tener una protección contra el aumento del nivel del agua. Además, el grado de rendimiento baja cuando el nivel de agua sube.

Se han construido norias hasta de 10 m de diámetro (Siria), sin embargo en relación a sus costos de construcción y a su rendimiento de bombeo son inferiores a otros sistemas.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

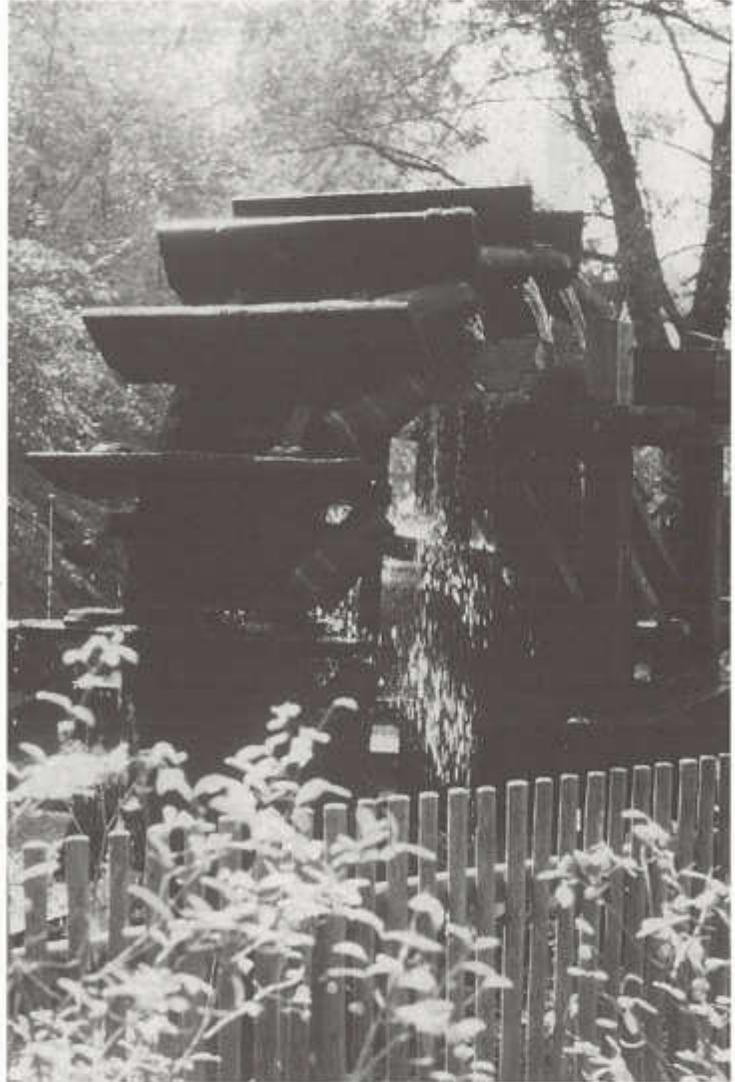
El empleo solo es apto en ríos que presenten pequeñas fluctuaciones de su nivel durante el día y el año y para pequeñas alturas de elevación.



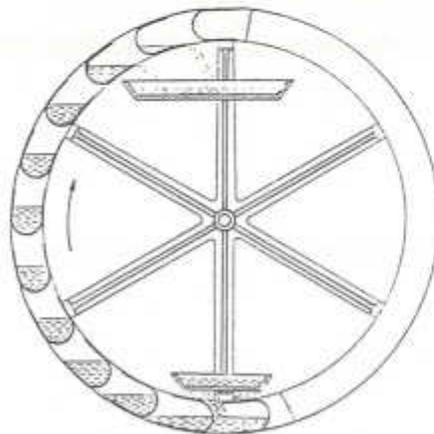
## 10.5 NORIA

Instalaciones en  
superficie para minería  
subterránea y a cielo  
abierto en general

Minería a  
cielo abierto  
Aparatos en  
superficie



Noria para el transporte de agua, accionada mediante una rueda hidráulica con mecanismo de golpe por debajo. Mühlenpark en Garching en München, Alemania.

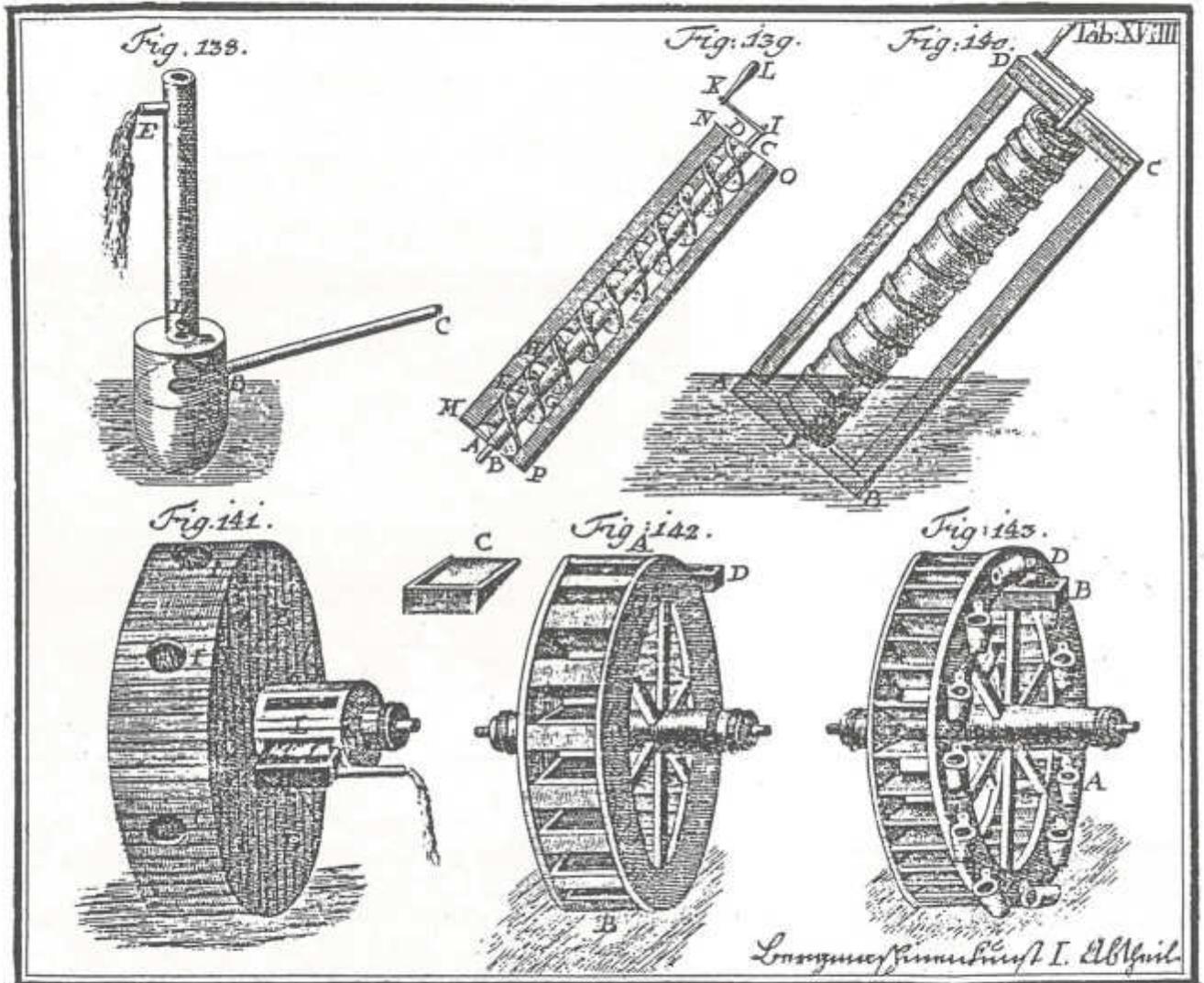


Dib.: Rueda elevadora, de Treptow

## 10.5 NORIA

Instalaciones en  
superficie para minería  
subterránea y a cielo  
abierto en general

Minería a  
cielo abierto  
Aparatos en  
superficie



Dib.: Formas antiguas de máquinas para transportar agua, de Canrinus.

## 10.6 BOMBA CON LLANTA COMO MEMBRANA

Instalaciones en superficie para minería subterránea y a cielo abierto en general

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie

Inglés: tyre pump  
Aleman: Reifenpumpe

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: aprox. 1 m x 1 m x 0,5 m + varillaje de trabajo  
Peso: aprox. 30 kg  
Grado de mecanización: no mecanizado/parcialmente mecanizado  
Tipo de energía motriz: mecánica, por ejemplo con fuerza eólica e hidráulica  
Posibilidades alternativas: accionamiento manual o a pedal  
Forma de trabajo: intermitente  
Material: ninguno

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: aprox. 250 DM en construcción propia  
Costos de operación: solo costos de personal  
Costos derivados: sistema motriz, sistema de palanca

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

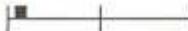
Gastos de manejo: bajos  altos según la clase de fuerza motriz

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al lugar de operación: para pequeñas alturas de presión y de absorción  
Aparato que puede reemplazar: otras formas de bombas de membrana o de pistón

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller metal mecánico simple

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Landtechnik Weihestephan, Fraenkel

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La bomba con llanta como membrana es una simple bomba de membrana. Debido al aumento y a la disminución en forma pulsada de la distancia entre las superficies laterales de la llanta, aumenta y disminuye el espacio interno de la bomba que sirve como cámara de bombeo. Válvulas de retención (por ejemplo, válvula de lengüeta) en lugares tanto de afluencia como de egreso regulan el ingreso y salida del agua.

### **FORMAS DE USO:**

Para el bombeo de grandes cantidades de agua a pequeñas diferencias de altura.

### **OBSERVACIONES:**

Esta es una de las más simples formas de bomba, la cual es accionada mediante una biela pulsante y al mismo tiempo funciona con reducido número de pulsaciones (también  $< 100 \text{ min}^{-1}$ ).

## 10.6 BOMBA CON LLANTA COMO MEMBRANA

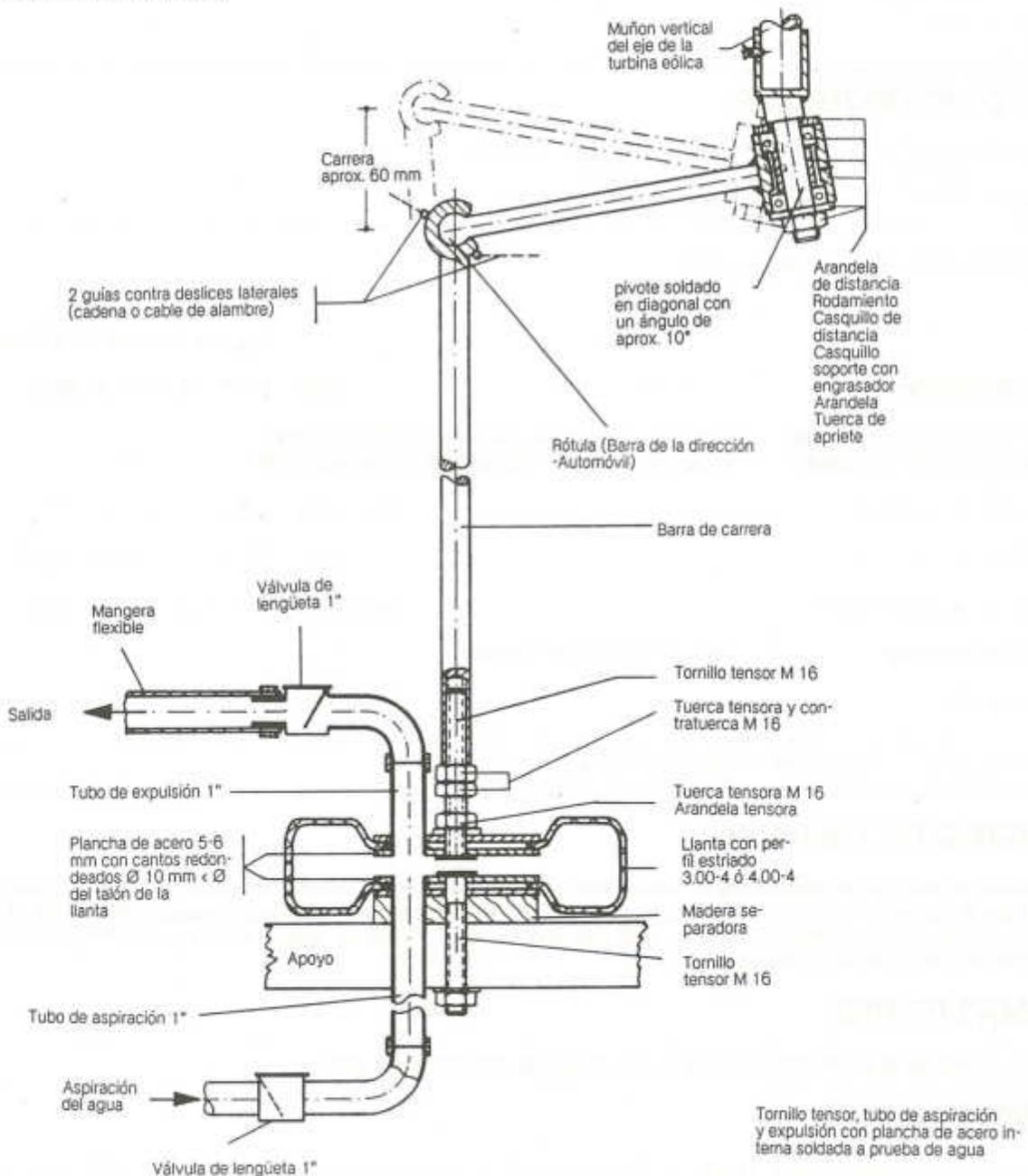
Instalaciones en superficie para minería subterránea y a cielo abierto en general

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie

La existencia de grandes fuerzas es problemática. Una llanta de auto con un diámetro de 400 mm tiene como superficie efectiva  $0.126 \text{ m}^2$ . Esta exige una presión de  $1.230 \text{ N/m}^2$ , o sea por ejemplo, para un diámetro de 3 m alrededor de  $3.7 \text{ N}$  o bien  $376 \text{ kg}$  de fuerza en la biela. En suma, actúan grandes fuerzas en el varillaje la bomba.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

La bomba con llanta como membrana representa la posibilidad constructiva más simple para bombear agua con revoluciones motrices lentas y un gran momento de rotación. Bombea grandes cantidades de agua a pequeñas diferencias de altura, tarea frecuente en la minería de placeres.



Dib.:

Representación esquemática de una bomba de llanta con un eje oscilante, de técnica agrícola Weihestephan

## 10.7 ESPIRAL DE ARQUIMIDES

Explotación de  
placeros  
Rocas y suelos

Minería subterránea  
y a cielo abierto  
Desagüe

Español: espiral para desagüe  
Inglés: archimedian screw  
Aleman: Archimedische Spirale, Wasserschnecke, Tonnenmühle, Wasserschraube

### DATOS TECNICOS:

Número de revoluciones: abierto:  $40 \text{ min}^{-1}$  (min.) -  $70 - 80 \text{ min}^{-1}$  (max.); cerrado:  $20 \text{ min}^{-1}$  (min.) -  $40 - 50 \text{ min}^{-1}$  (max.)  
 Angulo de inclinación: abierto: max.  $30^\circ$ , cerrado max.  $45^\circ$   
 Medidas: espirales cerradas 300 - 700 mm  $\varnothing$  hasta max. 12 m de longitud, espirales abiertas 500 - 900 mm  $\varnothing$   
 Grado de mecanización: no mecanizado  
 Potencia motriz: según la altura a transportar:  $0.25 - 0.3 \text{ kW/m}^3/\text{min} \times m D_h$ ; espirales abiertas  $0.2 - 0.3 \text{ kW/m}^3/\text{min} \times m D_h$   
 Tipo de energía motriz: manual o a pedal ( $\sim 0.6 m D_h$ )  
 Posibilidades alternativas: malacate, rueda eólica  
 Producción/Rendimiento:  $\sim 10 \text{ m}^3/\text{min}$  hasta max.  $6 m D_h$   
 Grado de rendimiento técnico: aprox. 30 % (espirales cerradas tradicionales de madera), 60 - 70 % (espirales de acero en caja abierta de cemento)  
 Material: ninguno

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de operación: costos de energía  
 Costos derivados: eventualmente, sistema motriz

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos  altos  
según la clase de fuerza motriz

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Aparato que puede reemplazar: bombas con cantidades a transportar comparativamente altas para pequeñas diferencias de altura, por ejemplo, rueda elevadora (noría)

Experiencia del operador: muy buena  mala  
Minería de turba en Alemania

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller de carpintería

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Fraenkel, Hausding, Rittinger

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

La espiral de Arquímedes consta de un eje robusto con superficies de tornillo en forma de espiral a su alrededor. Se diferencia entre espirales abiertas y cerradas. La espiral abierta gira con poco juego en un recipiente fijo de forma semicilíndrica. En las espirales cerradas el tornillo está fijo a la cubierta cilíndrica con la cual gira. El agua es recogida en la parte inferior de la espiral de Arquímedes sumergiendo las espiras. La espiral ligeramente inclinada por la rotación desplaza el agua hacia arriba a lo largo de la cubierta hasta que sale de la espiral.

## 10.7 ESPIRAL DE ARQUIMIDES

Explotación de  
placeros  
Rocas y suelos

Minería subterránea  
y a cielo abierto  
Desagüe

### **FORMAS DE USO:**

Desagüe en las operaciones de turba, desagüe con muy pequeñas diferencias de altura, por ejemplo en las operaciones a cielo abierto en zonas de aguas subterráneas.

### **FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Transporte de agua a pequeñas diferencias de altura, recirculación de agua de uso industrial en zonas áridas.

### **OBSERVACIONES:**

La espiral de Arquímedes es uno de los sistemas de elevación de agua más antiguos. Estuvo ya en uso desde aprox. 200 años antes de Cristo en la minería española de la plata.

Las espirales no son particularmente sensibles al material en suspensión y otras suciedades del agua a elevar.

Muy rara vez aparecen deficiencias en el funcionamiento de las espirales y se pueden superar fácilmente en el mismo lugar de trabajo mediante operarios hábiles.

El grado de rendimiento de las espirales con cubierta es máximo cuando el diámetro de la apertura de llenado se sumerge en el agua en un 50 a 65 % y baja fuertemente cuando el extremo inferior de la espiral se encuentra totalmente bajo el agua. En niveles de agua variables se recomienda una instalación de elevación.

Solo máquinas motrices específicas con bajo número de revoluciones son apropiadas para la mecanización de la espiral de Arquímedes, caso contrario se deben considerar grandes pérdidas de rendimiento por las reducciones. Las fuerzas motrices apropiadas serían malacates o ruedas eólicas.

La altura de las espiras es generalmente del mismo tamaño o un poco más pequeño que el diámetro exterior y la espiral es construída como doble o triple espiral.

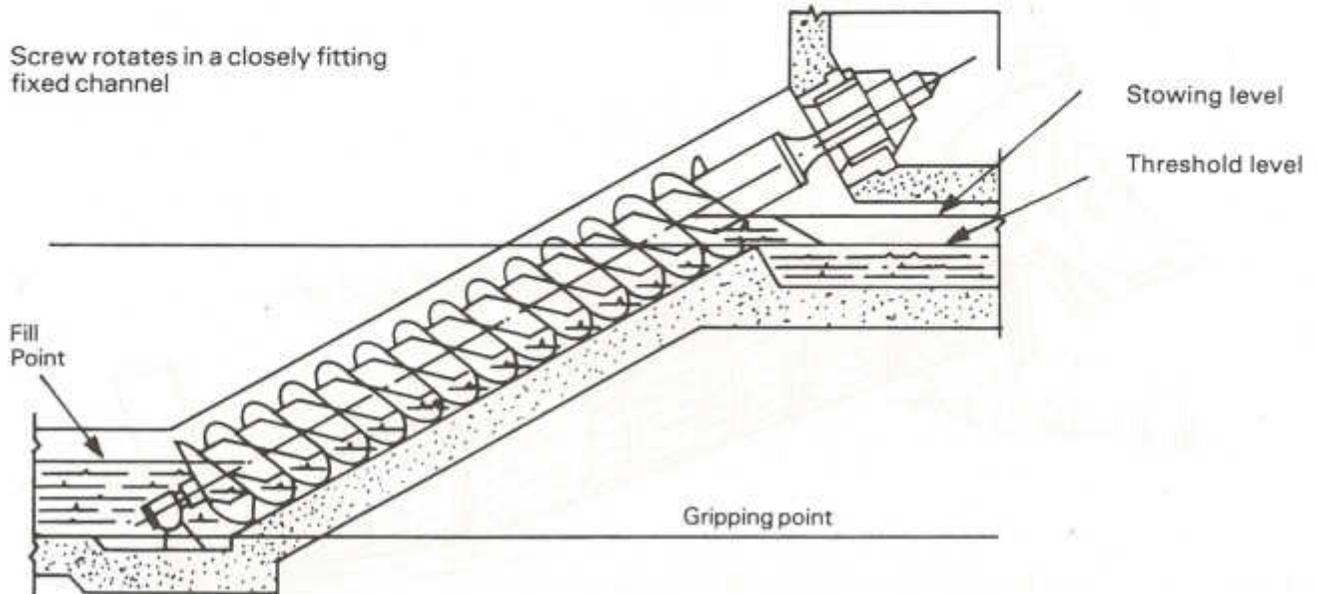
### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Las espirales de Arquímedes se emplean en la minería a cielo abierto o bien para elevar agua de uso industrial, como bombas manuales para bombear grandes cantidades a pequeñas diferencias de altura debido a que son aparatos aptos para desagüe, de simple construcción y con alto grado de rendimiento.

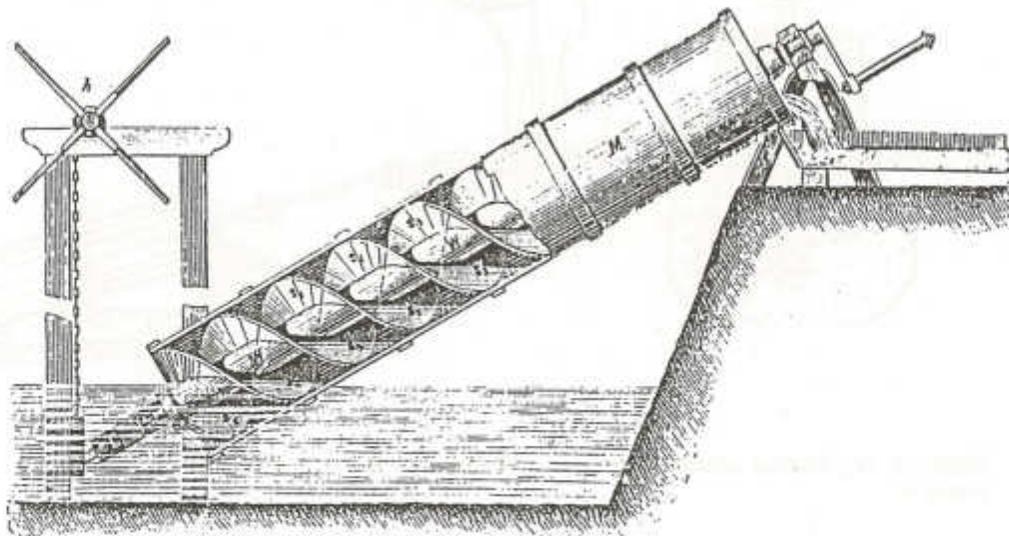
## 10.7 ESPIRAL DE ARQUIMIDES

Explotación de  
placeros  
Rocas y suelos

Minería subterránea  
y a cielo abierto  
Desagüe



Dib.: Corte a través de una espiral de Arquímedes abierta, de Fraenkel

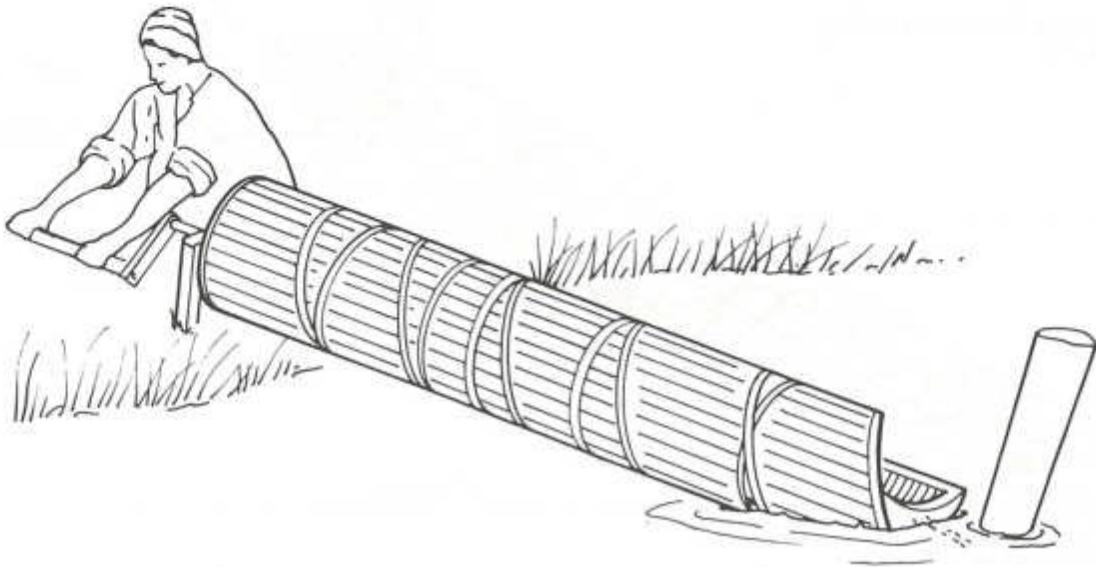


Dib.: Espiral para desagüe, de Hausding.

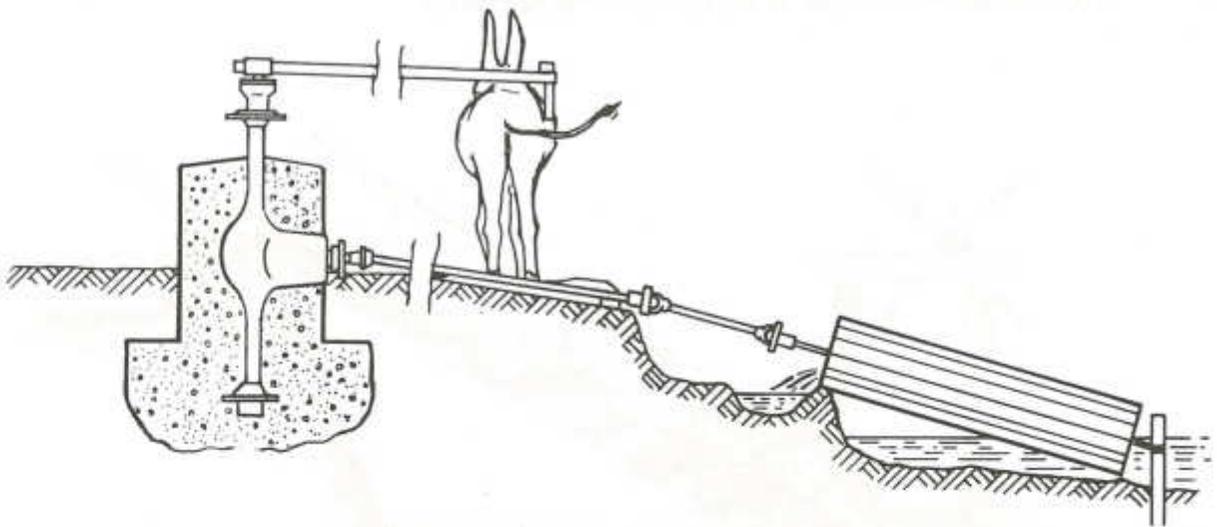
## 10.7 ESPIRAL DE ARQUIMIDES

Explotación de  
placeros  
Rocas y suelos

Minería subterránea  
y a cielo abierto  
Desagüe



Dib.: Espiral de Arquímedes accionada manualmente, de Fraenkel.



Dib.: Espiral de Arquímedes accionada por tracción animal mediante el engranaje del eje trasero de un automóvil, de Fraenkel.

## 10.8 BARCO CON RUEDAS HIDRAULICAS PARA GENERAR ENERGIA

Explotación a cielo abierto al nivel del río

Minería a cielo abierto  
Aparatos en superficie

Español: barco o pontón con ruedas de agua para generar energía  
Aleman: Schiffsmühle

### DATOS TECNICOS:

Medidas: aprox. 15 x 5 m  
Grado de mecanización: parcialmente mecanizado  
Tipo de energía motriz: hidromecánica, energía hidrodinámica  
Forma de trabajo: continuo  
Producción/Rendimiento: hasta aprox. 10 kW  
Grado de rendimiento técnico: correspondiente a la rueda de Zuppinger: 65 - 70 % (ver también 19.6)  
Material:  
Cuát: agua  
Cantidad: río grande con alta velocidad de corriente

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión: 30.000 DM, 50.000 DM inclusive la rueda hidráulica  
Costos de operación: extremadamente bajos  
Costos derivados: anclaje

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos altos

Gastos de mantenimiento: bajos altos

Exigencias al lugar de operación: río con alta velocidad de corriente  
Divulgación regional: hoy día casi totalmente desconocido

Experiencia del operador: muy buena mala

Contaminación ambiental: baja muy alta

Facilidad de fabricación local: laborioso y caro  
muy buena mala

Bajo qué condiciones: taller de carpintería con experiencia, taller metal mecánico

Tiempo de vida: muy largo muy corto

Literatura, Fuente: Kur, Mager, Meyer, Müller 1939, v. König 1985

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Los barcos con ruedas hidráulicas son pontones, balsas o barcos estacionados en la corriente del río provistos de una, dos o varias ruedas hidráulicas con golpe por debajo. De esta manera, se parecen a los vapores de ruedas. Las ruedas hidráulicas en este caso no son para la fuerza motriz sino exclusivamente para la generación de energía.

La energía mecánica puede ser aprovechada tanto directamente por ejemplo para fines de bombeo, de beneficio u otros como para ser transformada, mediante un generador, en energía eléctrica (ver abajo).

## 10.8 BARCO CON RUEDAS HIDRAULICAS PARA GENERAR ENERGIA

Explotación a cielo  
abierto al nivel del río

Minería a cielo  
abierto  
Aparatos en  
superficie

### OBSERVACIONES:

La gran ventaja de los barcos con ruedas hidráulicas radica en la fácil regulación y no requiere de medidas hidráulicas. Las ruedas hidráulicas están sumergidas en el agua corriente a la misma profundidad, lo que significa que tanto durante temporadas de aguas altas como de aguas bajas actúan las mismas fuerzas a la misma velocidad de flujo. De esta manera se

puede generar energía de la corriente de agua de los grandes ríos con fuertes variaciones de nivel sin mucho gasto de energía, por ejemplo en ríos de zonas con clima tropical.

La transformación de la energía en corriente eléctrica es complicada debido al bajo número de revoluciones del eje motriz del barco. Para ello los generadores deberán ser anteriormente rebobinados para funcionar como generadores con bajas revoluciones (cables delgados y correspondientemente largos). Solo de esta manera se puede obtener la tensión eléctrica necesaria.

Además se deben conectar engranajes entre el generador y el eje motriz.

Los barcos con ruedas de agua son formas muy antiguas de aprovechamiento de la fuerza del agua, fueron ya descubiertos 536 años después de Cristo y anteriormente también fueron usados en minería.

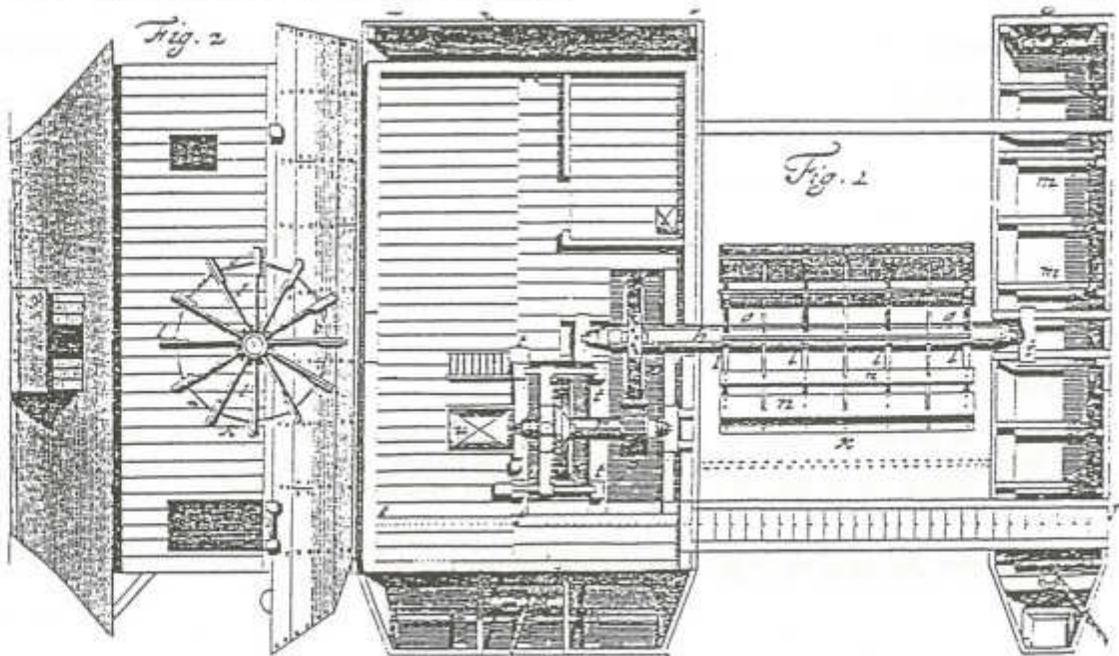
Se los constrúa en dos diferentes formas:

- con una rueda de agua entre el barco con la casa y el barco con la rueda.
- un solo barco con dos ruedas de agua laterales con golpe por debajo, directamente acopladas entre sí o de funcionamiento individual

Para la generación de energía y para fines mineros la segunda forma es más adecuada.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Es una inversión práctica para utilización y financiamiento común, por ejemplo, de cooperativas bajo condiciones adecuadas (lugares de operación aislados en grandes ríos). Las ventajas más importantes son la variedad de posibilidades de utilización y la independencia del abastecimiento de insumos para la operación.



Dib.: Barco con rueda hidráulica con barco para la casa y barco para la rueda; a la izquierda, vista lateral; a la derecha, vista en planta, de Kur.

## 10.9 EXPLOTACION CON BOMBA DE GRAVA

**Minería a cielo abierto  
en placeres de minerales  
pesados, placeres de  
metales preciosos**

**Minería a cielo  
abierto  
Explotación**

Aleman: Kiespumpenabbau  
Fabricante: Bräuer (bomba Mamut), Warman, Döpke, Met. Lacha, Volcan, Buena Fortuna

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: 10 - 50 m altura de bombeo, 6 - 12" diámetro tubería de transporte, 50 - 600 m longitud  
Potencia motriz: 100 - 600 kW para la bomba de grava, pequeñas fuerzas motrices para la bomba de agua para los monitores  
Tipo de energía motriz: motores a diesel o a electricidad  
Posibilidades alternativas: ninguna  
Producción/Rendimiento: 20 - 100 m<sup>3</sup>/h  
Grado de rendimiento técnico: aprox. 0.45 para la bomba de grava, dato del fabricante para bomba nueva en forma óptima aprox. 60 %  
Material:  
Cuál: agua  
Cantidad: aprox. 20 veces el volumen del material a transportar; en caso de apoyo adicional mediante otras máquinas se puede bombear aprox. 10 veces el volumen del material a transportar; (cal) hasta aprox. 65 % del peso del sólido y (arena) 30 - 40 % del peso del sólido.

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: inversiones comparativamente bajas, sobre todo en caso de fabricación local de los aparatos. Bomba de grava fabricada localmente (Malasia): 8 x 10" aprox. 2000 DM sin motor, de fabricación en países industrializados aprox. 5000 DM (5 m<sup>3</sup>/h)  
Costos de operación: costos de energía aprox. 50 %; 18 % repuestos, material; 25 % sueldos  
Costos derivados: altos costos para la disposición de energía

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:  
mínimo 2 personas

bajos  altos

Gastos de mantenimiento:

bajos  altos

Exigencias al lugar:  
Exigencias al yacimiento:

se debe disponer de grandes cantidades de agua  
operaciones con bomba de grava en yacimientos aluviales de minerales pesados (estaño) y de metal precioso (oro) con roca caja poco o no consolidada y con el tamaño de grano superior de los componentes no muy grande (bombeabilidad). El yacimiento debe estar sobre un piso impermeable y mejor si está sobre un piso levemente inclinado. Respecto al espesor, no existen limitaciones. Sobre el yacimiento no deberán descansar capas suprayacentes empinadas y si las hay, deberán ser de poco espesor.

Exigencias a la roca caja:

ninguna, sin embargo en la explotación hidráulica la dureza abrasiva de la roca caja tiene gran influencia sobre el tiempo de vida de la bomba.

Aparato que puede reemplazar:

Arranque seco mediante cargadora sobre ruedas, camión, tractor, máquinas para movimiento de tierras.

Divulgación regional:

en la minería del estaño de Tailandia y Malasia; mundialmente, en la minería del oro

Experiencia del operador:

muy buena  mala

Contaminación ambiental:

baja  muy alta

La causa principal de la contaminación es en parte el alto transporte de lama de las grandes cantidades de colas. Fuera de eso, existe contaminación por la fuerza motriz.

Facilidad de fabricación local:

muy buena  mala

Bajo qué condiciones:

para fundir una y otra vez los rodetes de las bombas son necesarias buenas fundiciones de metal. En Malasia y Tailandia las bombas de grava se fabrican localmente.

## 10.9 EXPLOTACION CON BOMBA DE GRAVA

**Minería a cielo abierto  
en placeres de minerales  
pesados, placeres de  
metales preciosos**

**Minería a cielo  
abierto  
Explotación**

Tiempo de vida:

muy largo |—————| ■ |—————| muy corto

La duración de los rodetes de las bombas de grava es de 80 a 1200 horas de funcionamiento. Los rodetes fabricados localmente pueden tener bastante menos horas de funcionamiento. Se informa de Tailandia que algunos de los rodetes fabricados localmente después de 2 días de funcionamiento ya están desgastados, fundidos en fundiciones locales y vaciados nuevamente. El tiempo de vida de la carcasa de la bomba es aproximadamente tres veces mayor que la del rodete.

Literatura, Fuente: Hagelúken, Gärtner

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En la explotación hidráulica de placeres de minerales pesados o de placeres de metales preciosos con operaciones con bombas de grava el arranque del yacimiento se realiza hidráulicamente, el material es transportado hacia la planta de beneficio hidráulicamente y concentrado por medios gravimétricos mecánicos húmedos. En el arranque hidráulico se distinguen dos métodos diferentes:

Estratos de sedimentos delgados con espesores menores a tres metros y de granulometría mediana son arrancados por un chorro de agua lanzado desde arriba. Todos los demás yacimientos de espesores mayores son arrancados desde abajo mediante un así llamado monitor. El monitor es un chorro de agua lanzado por un inyector de agua, el cual es alimentado por una bomba de agua fresca (presión hasta de 10 bar, velocidad de salida de 15 a 50 m/seg). El chorro de agua es dirigido hacia el sector del yacimiento a arrancar, debido al choque del agua se suelta la estructura de la roca y el material valioso corre junto con la pulpa hacia la bomba de grava. La bomba de grava está situada en el punto más bajo del lugar de arranque y transporta hidráulicamente la pulpa con un contenido de sólidos de máximo 5 hasta 10 % del volumen a través de una tubería hasta la planta de concentración. Por lo general las bombas de grava se construyen como bombas blindadas con rodete. El beneficio de la pulpa transportada se lleva a cabo en un sistema de canaletas conectado en paralelo, eventualmente mediante conexiones posteriores de jigs, espirales, (ver 14.18), separadores cónicos o similares.

### **FORMAS ESPECIALES DE EMPLEO:**

Las bombas de grava accionadas en operación inversa pueden ser también empleadas como turbinas para aguas impelentes con lama o ricas en material sólido.

### **OBSERVACIONES:**

El rodete de la bomba de grava está sujeto a un desgaste extremo debido a los grandes tamaños de grano del material sólido suspendido. Este desgaste depende de la clase de yacimiento. Generalmente se puede decir que a mayor tamaño de grano, mayor desgaste del rodete. Para mantener el desgaste dentro de límites se aconseja realizar un cribado de la pulpa antes de alimentar la bomba de grava, con una malla del grosor justo un poco mayor al tamaño del grano mayor en el que se encuentran las fracciones del mineral valioso.

Se debe prestar atención en que no disminuya la velocidad mínima de la pulpa durante el transporte para que no empiecen a sedimentarse partículas individuales.

Para la posición de la bomba de grava, la suspensión del sistema completo de la bomba y el motor conectados directamente sobre un trípode, ha dado el mejor resultado. De esta manera se evita la costosa construcción de fundaciones. Además, esta suspensión facilita el traslado frecuente de la bomba de grava debido a los avances del frente de arranque.

La inclinación mínima del piso entre el monitor y la bomba de grava debe ser mayor a 1 : 40, para evitar pérdidas del mineral valioso debido a la sedimentación. Eventualmente, un monitor de apoyo (Booster) puede mantener la pulpa en suspensión estable y seguir transportando el material ya sedimentado.

Para aumentar la densidad de la pulpa a transportar en el arranque se emplean máquinas de apoyo como tractores, palas hidráulicas, cargadores sobre ruedas, etc.

La fuerza motriz de la bomba de grava debe estar sobredimensionada en aproximadamente 30 a 50 % para soportar de antemano una sobredemanda eventual de rendimiento debido a oscilaciones de la densidad de la pulpa, aumento en la longitud de la tubería, etc.

## 10.9 EXPLOTACION CON BOMBA DE GRAVA

Minería a cielo abierto  
en placeres de minerales  
pesados, placeres de  
metales preciosos

Minería a cielo  
abierto  
Explotación

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Los bajos costos de inversión, pero altos costos de energía caracterizan la explotación con bomba de grava. Bajo condiciones adecuadas del yacimiento, la explotación con la bomba de grava puede ser el método más rentable para la explotación de placeres de minerales pesados.

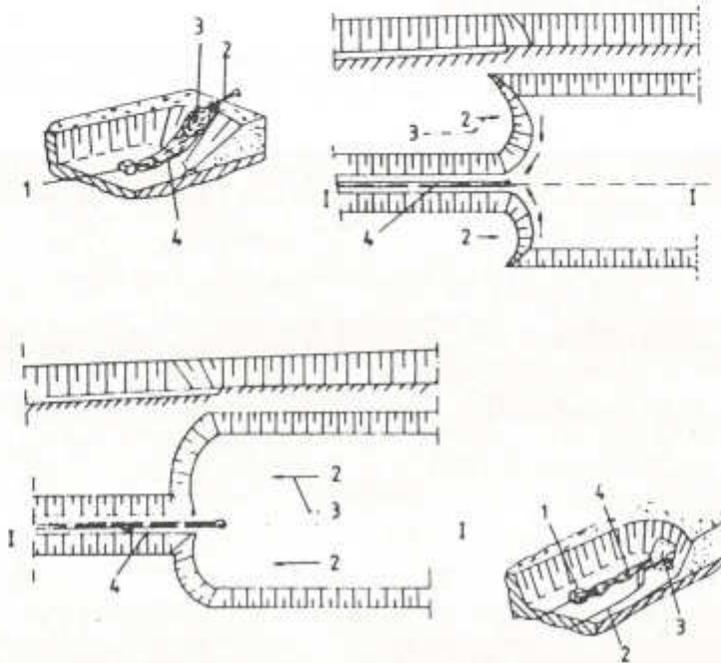


Explotación hidráulica de sedimentos levemente consolidados en la minería del oro en Barbacoas, Nariño, Colombia.

### 10.9 EXPLOTACION CON BOMBA DE GRAVA

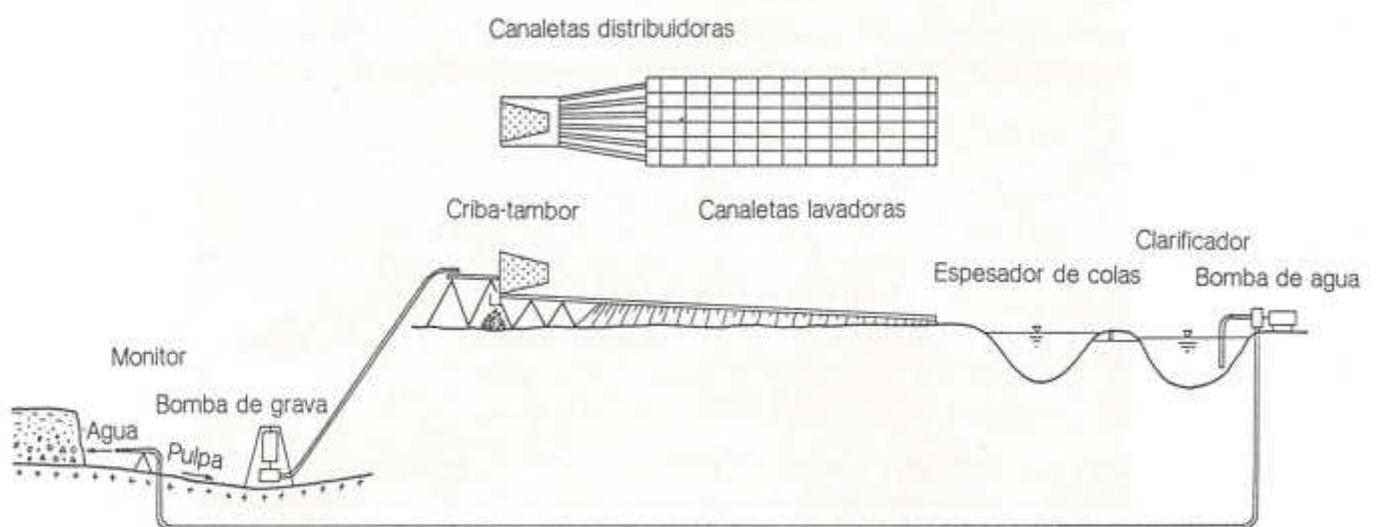
Minería a cielo abierto en placeros de minerales pesados, placeros de metales preciosos

Minería a cielo abierto  
Explotación



1. Bomba de grava 2. Hidromonitor 3. Dirección del chorro de agua 4. Dirección de flujo de la mezcla sólido-agua

Dib.: Clases de explotación en el arranque húmedo en operaciones con bomba de grava, de Gärtner



Dib.: Operación de bomba de grava con canaletas de lavado, de Gast

# 10.9 EXPLOTACION CON BOMBA DE GRAVA

Minería a cielo abierto en placeres de minerales pesados, placeres de metales preciosos

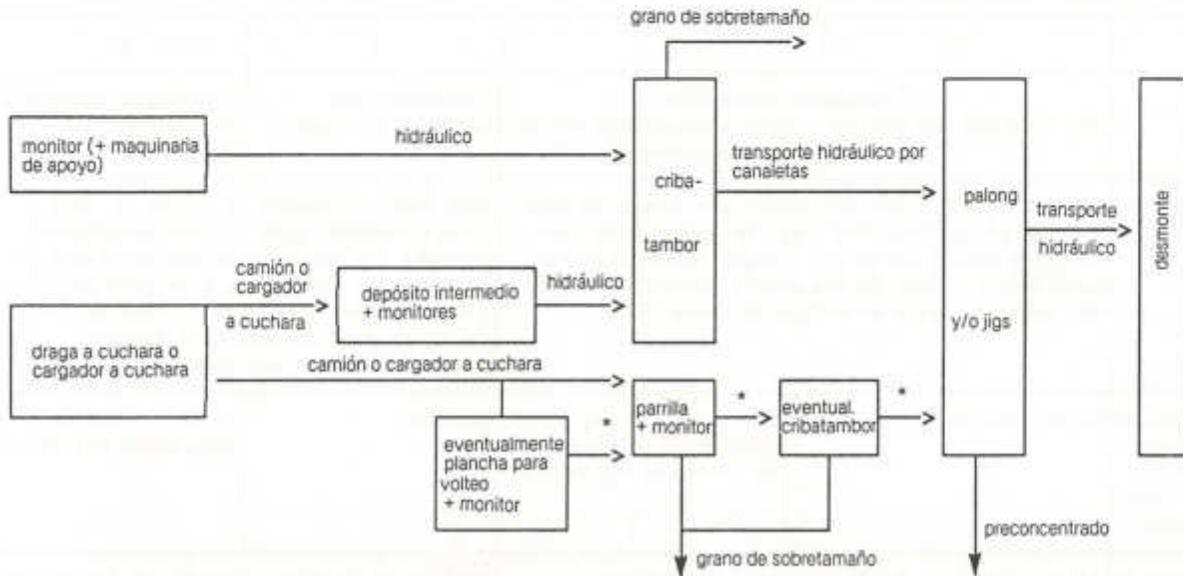
Minería a cielo abierto Explotación

ARRANQUE DEL MINERAL

TRANSPORTE

BENEFICIO

VOLTEO



Dib.: Diagrama de flujo para métodos de explotación alternativos en operaciones sudasiáticas a cielo abierto de estaño (sin consideración de operaciones de dragas flotantes y operaciones a cielo abierto de roca consolidada), de Hagelüken ( Transporte hidraulico por canaletas)

Tabla: Comparación resumen de los métodos de explotación y transporte empleados en la minería del estaño de Sud Asia Oriental, de Hagelüken

	A	B	C	D
	Transporte hidráulico con arranque con monitor		Transporte con camiones arranque en seco	Transporte combinado de camiones e hidráulico
Demanda de agua	depende de la clase de suelo, en general muy grande debido a que el mineral se disuelve solo por la fuerza del agua	menor que en A, debido a que el trabajo de soltura también es realizado por la maquinaria de apoyo	baja, el agua se necesita solo para el cribado y el beneficio	mediana, para desmonte intermedio se necesita solamente pequeña fuerza de arranque
Utilización de la energía	mala, sobre todo se transporta agua	algo mejor que en A, debido a que son posibles mayores contenidos de sólido	depende sobre todo de la relación entre carga útil/peso en servicio del camión como de la organización de la operación y del estado de los caminos	
Desgaste	depende de la clase de suelo; en general gran desgaste en la bomba y en la tubería		MMS: depende de la clase de suelo, carga y estado de los caminos STH: como en A	
Coordinación del rendimiento	difícil, debido a que después del traslado de la bomba frecuentemente varía la longitud de la tubería y con ello también la potencia motriz necesaria; a menudo sobredimensionamiento de la fuerza motriz		MMS: en principio fácil por medio de la elección apropiada de la maquinaria; pero una considerable prolongación de la distancia a transportar exige altas inversiones	STH: sencillo debido a que la longitud de la tubería es considerablemente constante

## 10.9 EXPLOTACION CON BOMBA DE GRAVA

Minería a cielo abierto  
en placeres de minerales  
pesados, placeres de  
metales preciosos

Minería a cielo  
abierto  
Explotación

Tabla: Comparación resumen de los métodos de explotación y transporte empleados en la minería del estaño de Sud Asia Oriental, de Hagelüken (cont.)

	A	B	C	D
	Transporte hidráulico con arranque con monitor		Transporte con camiones arranque en seco	Transporte combinado de camiones e hidráulico
Tiempos de paro de la operación total	en caso de una interrupción del suministro de agua durante el traslado del lugar de bombeo y en caso de falla de una parte del sistema (bomba, tubería, beneficio o volteo de las colas) conexión directa del arranque hasta el volteo del estéril		Paro total solamente si no hay un depósito intermedio y en un paro simultáneo de todas las máquinas de explotación o de todos los camiones o bien paro de la planta de beneficio o del volteo de las colas, en caso de que un almacenamiento intermedio sea imposible	-
Posibilidad de instalar un desmote in- termedio como amortiguador	no es posible	solo condicionada (con maquinaria de apoyo en el frente de arranque)	posible	Ya existe debido a la naturaleza del método
Variaciones en el contenido de sólidos	altas, debido a la operación del monitor con material con vegetación		depende de la con- figuración del lugar de volteo, alta en el volteo directo sobre la parrilla	menor, en las opera- ciones de monitor controladas
Variaciones del contenido valioso	altas, debido a yacimientos heterogéneos y a la se- dimentación de los minerales pesados en el canal de afluencia y en el foso de alimentación de la bomba		Es posible una disminución de la influencia del yacimiento por medio de un desmote de mezcla	STH: igual que en A
Desintegración del mineral	mediante el monitor, (máquinas de apoyo), bomba y transporte por tubería; tiempo largo de interacción del agua		mediante la draga y adición de agua en el lugar de volteo/ cribado; poco tiempo de interacción	como A, pero menor tiempo de interacción del agua
Dependencia de rigores del clima	en algunas regiones dado el caso la operación minera tiene que ser paralizada en temporadas secas debido a la escasez de agua		en general ninguna operación con camiones es posible durante el tiempo de lluvias	
Aplicación en terreno difi- cultoso				
- lodo	posible	posible bajo condiciones	no es posible	
- bolsoneras de caliza	posible	posible bajo condiciones	posible bajo condiciones	
Yacimientos pequeños dis- persos	posible solamente para la minería muy pequeña, debido a que para cargas más grandes sería necesario una constante transformación del sistema de transporte y de la planta de concentración		posible; alta flexibilidad mediante el transporte con camiones hacia la planta de concentración situada centralmente	
Abreviaciones: MMS:Maquinaria de movimiento de suelos / STH:Sistema de transporte hidráulico				

## Capítulo técnico 11: Técnicas especiales

### 11.1 MATERIALES PARA SOLDADURA

Taller minero

Minería a cielo abierto

Técnicas especiales

Español: protección contra desgaste, material de blindaje  
Aleman: Schweißzusatzwerkstoffe, Verschleißschutz, Panzerungswerkstoffe  
Fabricante: Vautid

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: varillas de electrodos prensadas o vaciadas para el soldado manual eléctrico de diámetro 2.5 - 8 mm, longitud 350 - 450 mm  
Potencia motriz: 90 - 320 A, intensidad de corriente promedio; las intensidades de corriente aumentan con el diámetro de los electrodos  
Tipo de energía motriz: eléctrica

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: varillas de electrodos aprox. 20 - 60 DM/kg

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al personal: es necesaria buena técnica de soldadura.  
Exigencias al lugar: tiene que haber abastecimiento de energía  
Divulgación regional: en países industrializados, mundialmente

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Tiempo de vida de los materiales blindados: muy largo  muy corto  
Técnica para la prolongación del tiempo de vida

Literatura, Fuente: Información de la empresa Vautid

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Los materiales para soldadura se proveen en forma de electrodos manuales, como alambres de relleno, como varillas de fundición continua y como polvo de rociar. Diferentes clases de sometimientos como la abrasión mediante minerales duros abrasivos o cavitación, esfuerzos de golpes o de presión, temperatura debida a la alta temperatura del medio ambiente o por roce, o corrosión por agentes agresivos se pueden contrarrestar con la aplicación del material de los electrodos. Según el caso se aplican aleaciones de Fe, Cr, Mn, Ni, W, V, Mo, Nb con Si, B, C.

#### **FORMAS DE EMPLEO:**

Por ejemplo, los electrodos contra la abrasión, además de otros elementos de aleación, contienen altos porcentajes de cromo y carbono, los cuales forman carburos de cromo altamente duros durante la soldadura. Para el mejoramiento de la resistencia al desgaste de piezas desgastables en minería, beneficio y en la generación de energía.

para maquinaria minera: dientes de draga, partes de rieles, aletas de bombas, rodetes de bomba de grava, herramientas de perforación y de rozamiento.  
para maquinaria de beneficio: muelas de trituradoras, rodillos de trituradoras, conos de trituradoras, revestimientos de molinos, trapiches, canaletas de alimentación, revestimientos de ciclones, aletas de bombas, mecanismos agitadores en las celdas de flotación.  
para máquinas motrices: aletas de turbinas.

## 11.1 MATERIALES PARA SOLDADURA

Taller minero

Minería a cielo  
abierto  
Técnicas especiales

### OBSERVACIONES:

La aplicación de materiales de soldadura para el blindaje es por cierto laboriosa, sin embargo extremadamente eficaz ya que con ella en países en desarrollo también se puede mejorar notoriamente la maquinaria fabricada localmente para el empleo industrial en minería. Los bajos costos de personal en países en desarrollo favorecen en este sentido la rentabilidad. Otra ventaja importante de la aplicación manual radica en el hecho de que se pueden blindar formas complicadas como aletas de bomba, etc.

Según el material del electrodo se alcanzan durezas de Vickers HV 10 de 230 - 2000, correspondientes a durezas Rockwell HRC de 19 hasta aprox. 70.

Los materiales de soldadura se pueden aplicar sobre los siguientes materiales:

- Aceros sin aleaciones y acero colado (magnético, suave; examinar con imán y lima).
- Aceros con aleaciones y aceros hasta más de 0.5 % C (magnético, duro) luego de precalentamiento hasta aproximadamente 300 - 500° C.
- Acero duro al manganeso (no magnético, duro) en baño de agua soldar en frío.
- Hierro colado (magnético, suave) eventualmente con buen precalentamiento (aprox. 500° C).
- Fundición dura (magnético, duro) no se debería blindar debido al peligro de rajadura.

La intensidad de corriente no debe ser muy alta y el trabajo de soldadura no debe ser muy lento para evitar una fuerte mezcla del material aplicado con el material de base fundido y con ello una disminución de la dureza.

El espesor máximo del material aplicado se rige según el material a aplicar y se encuentra entre 5 y 20 mm; la aplicación se realiza en forma de varias capas gruesas.

Superficies mayores se blindan en parte solo mediante botones o relieves individuales.

Durante el blindaje se originan rajaduras en el material de blindaje, las cuales disminuyen las tensiones y por lo general no penetran en el material de base.

Un tratamiento ulterior de las partes blindadas por lo general es posible solo con muelas abrasivas con SIC o Corindón.

En el comercio se encuentran planchas blindadas prefabricadas, elementos especiales atornillables, etc para superficies grandes y planas. Por lo demás, las armaduras de goma y blindajes de goma son recomendables para varios usos sobre todo cuando las partes se mueven lentamente y están expuestas a materiales abrasivos (pulpas) (por ejemplo, en los clasificadores de espiral).

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Los materiales para la protección contra desgaste son muy apropiados para aumentar fuertemente el tiempo de vida de la maquinaria fabricada localmente y para prolongar los intervalos de sus reparaciones y mantenimiento.

**11.2 TANQUES DE GOMA**

**Instalaciones en  
superficie en  
general**

**Minería a cielo  
abierto  
Técnicas especiales**

Español: cisternas flexoplegables, tanques flexibles  
Inglés: flexible tanks  
Aleman: Gummitanks, flexible Tanks  
Fabricante: Arcotex, Continental

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	desde 700 l 2.00 x 1.25 m	sobre 10.000 l 4.80 x 3.20 m	hasta 40.000 l 8.5 x 5.30 m	hasta 100.000 l 10.1 x 10.5 x 1.3 m
Peso:	12 kg	54 kg	130 kg	338 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado			
Tipo de energía motriz:	artefacto sin energía motriz			

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: Tanques de 5.000 l aprox. 2000 US\$ FOB Santiago de Chile

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos altos

Gastos de mantenimiento: bajos altos

Exigencias al lugar: debido a la flexibilidad y plegabilidad estos tanques también se pueden introducir en estado vacío a edificios por pequeñas puertas o en la mina.

Aparato que puede reemplazar: tanques amurallados y carros cisterna

Cotaminación ambiental: baja muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena mala

Tiempo de vida: muy largo muy corto

Literatura, Fuente: Información de la empresa Arcotex, información de la empresa Continental

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Para su estabilidad los tanques flexibles están contruidos con paredes interiores, las cuales amortiguan los movimientos del contenido de tal manera que sea posible el transporte sobre camión. De esta forma, se puede por ejemplo, asegurar el abastecimiento de una mina con agua, diesel, bencina, químicos líquidos, etc.; en el viaje de regreso el camión, con el tanque plegado, puede utilizar la superficie de carga para el transporte de otros productos. El recipiente vacío ocupa menos del 5 % del volumen nominal del tanque flexible lleno.

**FORMAS DE EMPLEO:**

Transporte de líquidos para la minería, agricultura e industria.

**FORMAS ESPECIALES DE EMPLEO:**

Tanques fijos en el lugar.

**OBSERVACIONES:**

El llenado se realiza sin presión, o sea, no se necesitan bombas para el llenado o similares.

El material de los tanques flexibles es de un tejido de nylon altamente resistente, protegido por ambos lados con caucho sintético negro. Las cubiertas están unidas entre sí mediante costuras vulcanizadas al calor. Para aumentar la seguridad se ha pensado en lonas colocadas en la base.

## 11.2 TANQUES DE GOMA

Instalaciones en  
superficie en  
general

Minería a cielo  
abierto  
Técnicas especiales

Se ofrecen tanques flexibles para los siguientes líquidos:

Agua potable.  
Bencina, diesel y otros combustibles corrientes.  
Aceites minerales y vegetales.  
Agentes hidráulicos y lubricantes.  
Aguas negras, aguas de mar.  
Alcoholes.  
Etileno y distintos derivados.  
Lejías y ácidos hasta de concentraciones medianas.  
Formaldehído, formamida, glucosa, glicol, glicerina.  
Dióxido de carbono, agentes de protección contra  
corrosión, cola, lejía jabonosa, distintas sales  
anorgánicas y sus lejías, etc.

Resisten un margen de temperatura de - 30 hasta + 70° C contra la maduración y reacciones con el contenido de los líquidos.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Los tanques flexibles son especialmente interesantes como tanques móviles en el transporte combinado de combustibles por camión (hacia la mina) y productos del beneficio (desde la mina). También son aptos para empleos a corto plazo como tanques en lugares fijos.

## 11.3 FILTRO DE ACEITE - BYPASS

Instalaciones en superficie en general  
Vehículos en interior mina y en superficie

Minería a cielo abierto  
Técnicas especiales

Español:	microfiltro secundario
Inglés:	bay pass filters, micron filtration systems
Aleman:	Bypass-Ölfiter, Nebenstrom-Feinstfilter
Fabricante:	Kleenoil

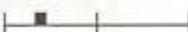
### DATOS TECNICOS:

Medidas:	0.15 m altura, 0,15 - 0.25 m Ø
Peso:	aprox. 2.5 kg
Potencia motriz:	trabaja con la presión de la bomba de aceite
Posibilidades alternativas:	para sistemas estacionarios, bomba manual externa
Producción/Rendimiento:	aprox. 100 lt/h

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	aprox. 640 DM desde la fábrica, sin instalación
Costos de operación:	aprox. 40 DM según el elemento del filtro

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal: Aparato que puede reemplazar:	cambio del filtro a debido tiempo mediante el retratamiento del aceite lubricante de toda la maquinaria minera puede reducirse drásticamente el consumo de aceite y sobre todo se pueden evitar los grandes problemas de su eliminación.		
Divulgación regional:	en países industrializados		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	buen taller metalmeccánico, los cartuchos de filtro se pueden fabricar de papel sanitario enrollado.		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Información de Kleenoil

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

En los microfiltros el aceite es prensado a través del cartucho del filtro, el cual extrae del aceite:

- Partículas de tamaño mayor a 1  $\mu\text{m}$  (filtros corrientes filtran desde aprox. 5  $\mu\text{m}$ )
- Agua (por ejemplo, agua condensada de la combustión) hasta debajo de 0.005 %

De esta manera, se disminuye notoriamente la capacidad abrasiva del aceite y se evita ampliamente la formación de ácidos de los productos gaseosos de la combustión con el agua condensada. Los cartuchos del filtro son fabricados de papel de celulosa de madera conifera de fibras largas, prensados compactamente y sostenidos por un seguro de algodón.

## 11.3 FILTRO DE ACEITE-BYPASS

Instalaciones en superficie en general

Minería a cielo abierto

Vehículos en interior mina y en superficie

Técnicas especiales

### FORMAS DE EMPLEO:

En el flujo secundario de los circuitos del aceite del motor; por ejemplo, montaje con el lado de presión al sensor de presión de aceite mediante una pieza T y con el lado de retorno al recipiente de aceite. Este montaje tiene la ventaja de que ya no es necesario mantener los intervalos del cambio de aceite. Solamente de vez en cuando es necesario el cambio del cartucho del filtro. Otra forma de empleo es la utilización del sistema estacionario de microfiltración, o sea cuando el motor está parado se bombea el aceite desde su depósito de aceite a través de un filtro.

### OBSERVACIONES:

Normalmente después de un largo tiempo de operación durante el cambio de aceite se encuentran hasta 4 - 5 % de impurezas en el aceite. Durante la operación por medio del filtro de aceite, éstas son extraídas de tal manera que la durabilidad del aceite se multiplica por diez, hasta por quince.

El 90 % del desgaste de la máquina es causado por los ácidos que se forman cuando los productos secundarios con contenidos ácidos se combinan con el agua en el aceite.

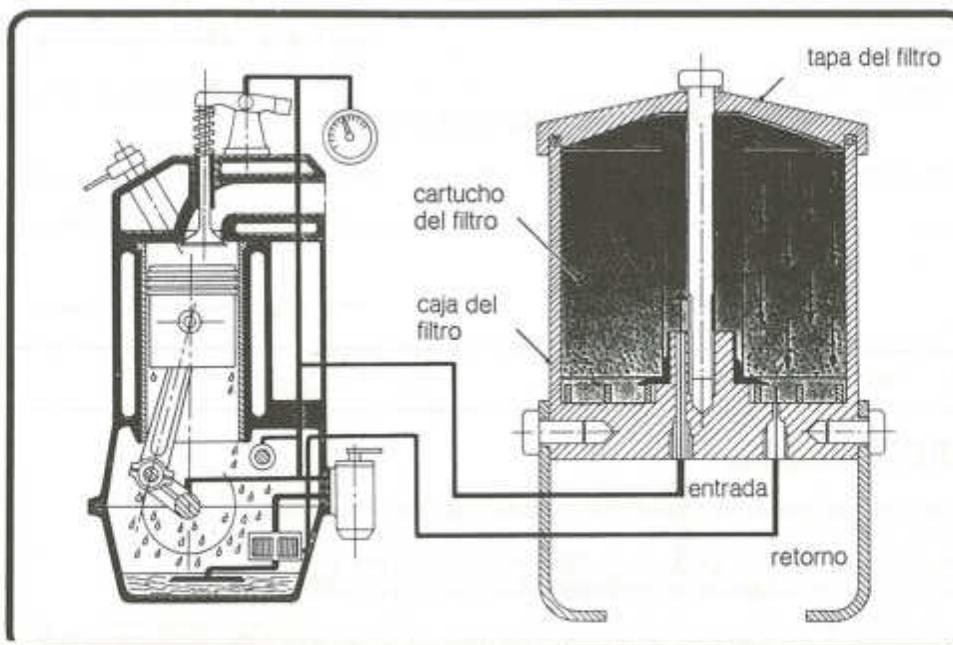
Los problemas urgentes de la eliminación del aceite residual pueden ser ampliamente evitados mediante este filtro ya que la cantidad de aceite usado se reduce a alrededor del 10 %.

Para la limpieza de aceites hidráulicos, igualmente se pueden utilizar tipos de filtros estacionarios.

Los cartuchos de filtro pueden ser quemados después de ser utilizados. Su combustión es pobre en hollín debido al alto porcentaje de fibras vegetales.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Los microfiltros, así como los filtros estacionarios o los filtros - bypass son una respuesta a los problemas del aceite usado, debido a la prolongación del tiempo de vida de los lubricantes.



Dib.: Principio del funcionamiento de un filtro-bypass de un circuito de aceite en corriente secundaria, de información de la empresa Kleenoil.

## 11.4 MOTORES CON CONTRAPESO

Instalaciones de superficie en general

Minería a cielo abierto

Taller minero

Técnicas especiales

Español: vibrador  
 Aleman: Unwuchtmotoren, Rüttler  
 Fabricante: Bosch, Italvibras, Netter, Schenck, AEG, Jöst

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	según el modelo y margen de potencia desde 5 x 5 x 5 cm hasta 8 x 8 x 65 cm		
Peso:	aprox. 100 g hasta más de 100 kg		
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado		
Potencia motriz:	vibrador eléctrico de corriente alterna 0.03 - 11 kW vibrador eléctrico de corriente continua 0.2 kW (12 V)		
Tipo de energía motriz:	eléctrica con motores de corriente continua y alterna.		
Posibilidades alternativas:	neumática		
Grado de rendimiento técnico:	frecuencias de vibración:	según el tipo de energía motriz	
	eléctrica	900 - 3.000 min <sup>-1</sup>	
	frecuencia baja	6.000 - 12.000 min <sup>-1</sup>	
	alta frecuencia	600 - 35.000 min <sup>-1</sup>	
	mecánica	vibrador neumático	10 N - 70 kW
	fuerza centrífuga	vibrador eléctrico	40 N - 120 kW

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión: 350 - 400 DM para vibrador externo 12 V

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Aparato que puede accionar:	canaletas de transporte, canaletas de alimentación, canaletas de extracción, canaletas de dosificación, cribas vibradoras, máquinas de concentración con vibradores, máquinas de desagüe		
Divulgación regional:	los vibradores tienen un empleo progresivo en maquinarias de transporte, concentración, dosificación y desagüe.		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
	baja contaminación por ruido y dado el caso, vibraciones por resonancia		
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Información de las empresas

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Los motores se emplean como excitadores de oscilaciones y vibradores, los cuales están provistos de una masa rotante en desequilibrio. Esta es por lo general regulable, lo que conduce a una variación de la fuerza centrífuga. En forma alternativa existen vibradores neumáticos de émbolo que se caracterizan por las grandes posibilidades de regulación de la frecuencia y de la amplitud de la oscilación. Los vibradores pueden ser instalados como vibradores externos en la parte exterior de la máquina o como vibradores internos directamente en la máquina para excitar el material a tratar.

## 11.4 MOTORES CON CONTRAPESO

Instalaciones de superficie en general  
Taller minero

Minería a cielo abierto  
Técnicas especiales

### FORMAS DE EMPLEO:

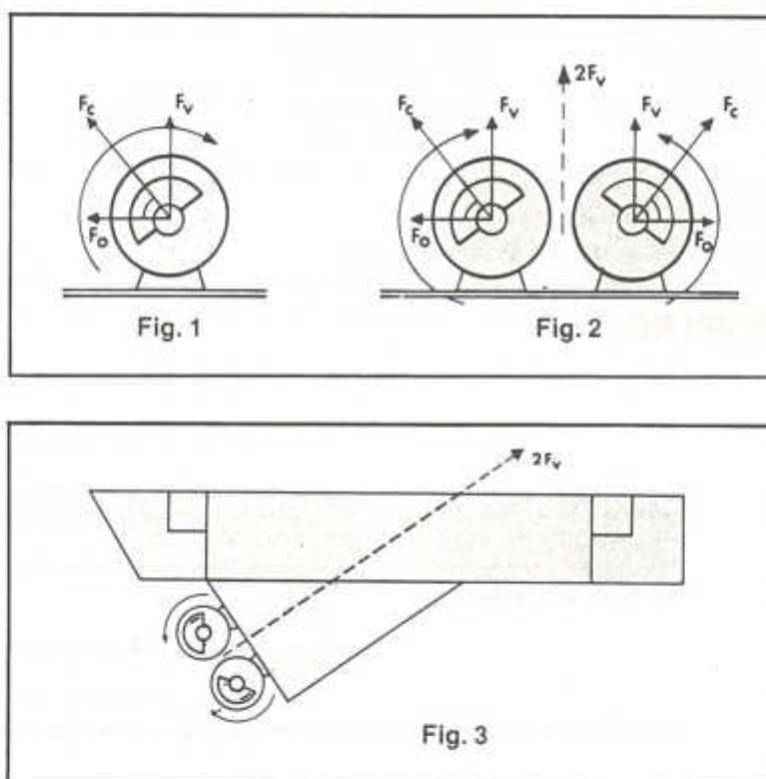
Para aflojar y soltar el material, mediante las vibraciones se reduce su fricción o se vencen las fuerzas de adhesión, así se suelta y se vuelve casi capaz de fluir.

Para transportar, con la ayuda de las vibraciones mediante microsaltos se puede mantener un flujo del material.

Para comprimir, igualmente que en la soltura, mediante las vibraciones se produce artificialmente un proceso de flujo, por el cual las partículas del material se acomodan lo más densamente posible y se reduce el aire de los poros o el volumen de agua de los poros.

### OBSERVACIONES:

Utilizando un motor con volante con contrapeso, el armazón es excitado por oscilación con una fuerza en sentido rotatorio. En la utilización de dos motores con volantes con contrapeso de la misma frecuencia y en sentido contrario se origina por resonancia una excitación oscilante lineal (ver dibujo).



Dib.: Modo de funcionamiento de un vibrador rotatorio (Figura 1), dos motores con volantes con contrapeso en operación con sentido contrario (Figura 2) y un sistema de oscilación lineal con una base, la cual determina la dirección de la oscilación (Figura 3)

Los vibradores deberían ser colocados siempre en la parte más firme de la máquina, la cual asegura la mejor transmisión de la excitación externa. En caso de no existir partes firmes se debe construir algún dispositivo adicional en el sector planificado de funcionamiento del vibrador.

En vibraciones de baja frecuencia el apoyo de la maquinaria entera según el peso debe ser sobre elementos de gornametal, resorte plano o helicoidal.

Según la siguiente fórmula aproximada se puede estimar con anterioridad el dimensionamiento del vibrador según su fuerza centrífuga:

$$\text{Fuerza centrífuga} = (3 - 5) \times (\text{peso del armazón móvil} + 0.2 \times \text{peso del material a transportar o a sacudir})$$

## 11.4 MOTORES CON CONTRAPESO

Instalaciones de superficie en general  
Taller minero

Minería a cielo abierto  
Técnicas especiales

Las fórmulas empíricas también dan ayudas para el dimensionamiento del vibrador (según Itavibras):

$$\text{Fuerza centrífuga} = \text{amplitud de oscilación} \times \text{peso total del sistema a vibrar} \times \frac{(\text{número de revoluciones})^2}{900.000}$$

$$\text{Amplitud} = \frac{\text{Momento de trabajo}}{\text{Peso total}} \times 2$$

con fuerza centrífuga: kg      peso: kg  
momento de trabajo: kg mm      amplitud: mm  
número de revoluciones: min<sup>-1</sup>

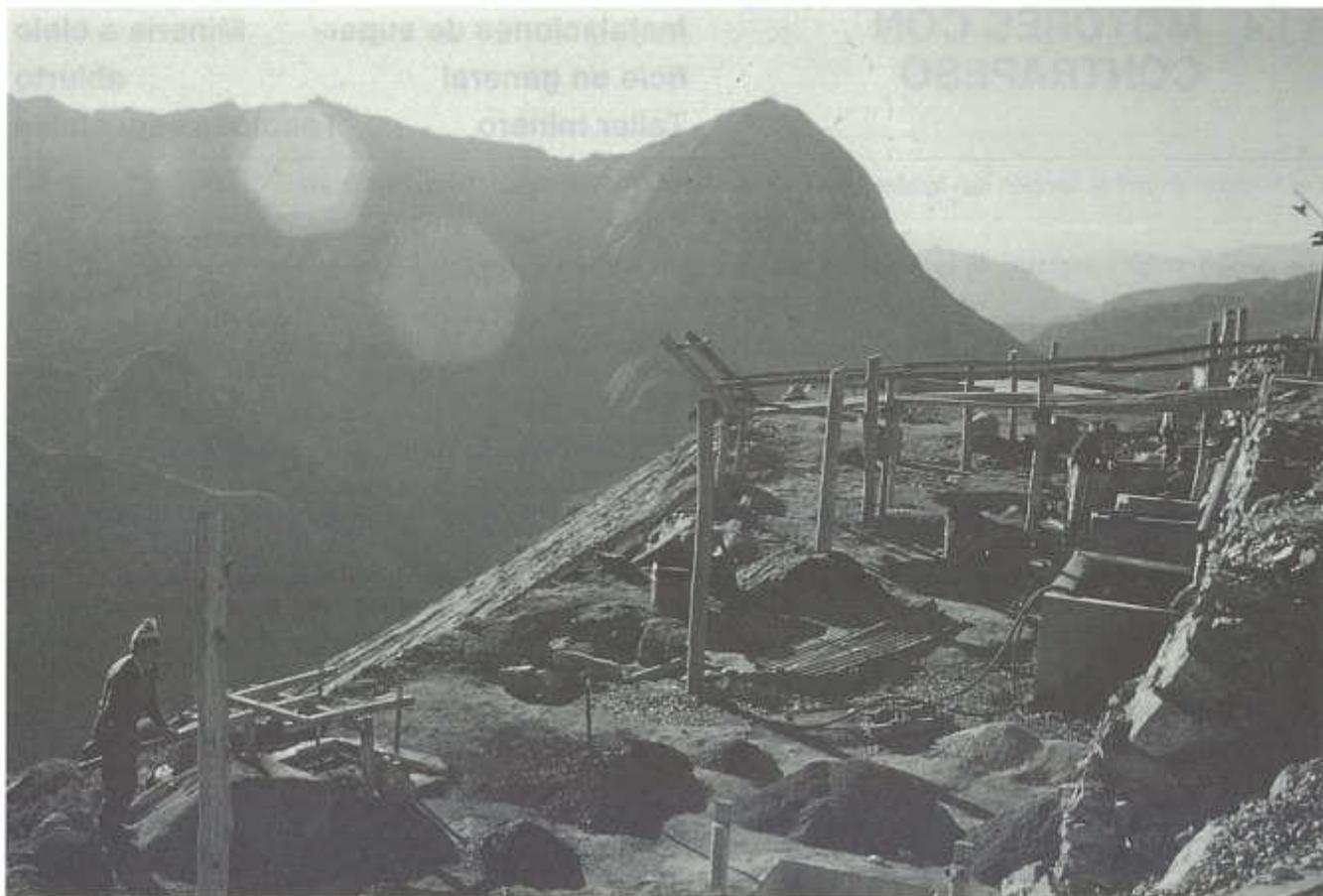
Los vibradores de corriente continua de bajo voltaje permiten el abastecimiento de energía mediante celdas solares.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Los vibradores importados, como elementos de máquinas mineras y de beneficio de fabricación local con un alto 'local content', pueden producir un aumento de la capacidad de rendimiento y de la calidad técnica de las maquinarias. En maquinarias de beneficio los vibradores conducen, por ejemplo a un aumento del grado de corte en los procesos de concentración.

La siguiente tabla facilita la elección del margen de frecuencia necesario según información de la Firma Bosch

PROCESOS Y MATERIALES:	Campos de empleo y número de vibraciones/min				
	Frecuencia normal			Alta frecuencia (AF) + aire a presión	
	1.000	1.500	3.000	6.000	12.000
<b>COMPACTACION</b> de hormigón liviano, normal y pesado  de material a granel de todo tipo, arena de moldear, grafito, harina de cuarcita, alimentos				formas + encofrados para partes prefabricadas de hormigón, mesas vibratorias, caballete vibrador, encofrados de batería, encofrados fijos de hormigón, acabado deslizante, máquina de moldear piedras	
				maquinaria de fundición, maquinaria de empaque, revestimientos de hornos fabricación de electrodos	
<b>AFLOJAR Y SOLTAR</b> material a granel p.ej. arena, cal, cemento, carbón, cereales etc.  <b>LIMPIEZA</b>				vaciado de silos, buzones, contenedores vagones, cajones, formas, parrilla  instalaciones de filtro y otros	
<b>TRANSPORTE</b> de material a granel como arena, cascajo, balasto, granulados, hormigón; de material a granel como piezas de fundido, paquetes, virutas  <b>CRIBADO</b> desagüe				canaletas de transporte, canaletas de extracción, tubos para transporte, tolvas vibratorias, transportadores a espiral  criba vibradora, criba clasificadora, canaletas de desagüe, cribas para cerámica	



Plantas de beneficio gravimetrico para minerales de estaño en la mina Añatuyani, Cochabamba, Bolivia. Los mineros estan usando maritates para la concentración de granos gruesos y buddles bolivianos para granos finos. Al fondo se ve el Cerro Chicote Grande, que es conocido por sus ricos yacimientos de wolframio y estaño

## D. BENEFICIO

### D.1. DEFINICION

El concepto de beneficio comprende todos los procesos de concentración de minerales brutos a concentrados comercializables. Estos procesos pueden ser tanto mecánicos (por ejemplo, beneficio mecánico húmedo) los cuales no cambian la sustancia de los minerales, como también procesos químicos (por ejemplo lixiviación) en los cuales el fino es transformado en otras combinaciones químicas. Además de la separación del portador del material valioso del material estéril para fines del enriquecimiento, proceso llamado concentración, también pertenecen al beneficio los trabajos de preparación y tratamiento posterior como ser la trituración, la clasificación, el secado, etc.

Para el éxito del beneficio los valores importantes son el factor de enriquecimiento, la recuperación de la masa y del material valioso (fino) y los porcentajes de fino en el concentrado (leyes del concentrado).

### D.2. SITUACION INICIAL Y ALCANCES DEL PROBLEMA

Para la Pequeña Minería, el beneficio de sus minerales brutos a productos comercializables representa un campo central del problema. Actualmente la Pequeña Minería en países en desarrollo está caracterizada por un marcado dualismo. Por un lado existen minas pequeñas que benefician sus productos mediante técnicas modernas. Problemas de abastecimiento, de energía, de suministro de repuestos, disponibilidad de insumos o sencillamente el conocimiento deficiente del equipo de maquinarias llevan a menudo estas operaciones al borde de la rentabilidad. Por otro lado existe un gran número de pequeñas industrias mineras que benefician sus minerales brutos mediante equipos técnicos sencillos, intensivos en trabajo. Estas industrias también confrontan grandes problemas técnico-organizativos y económicos. Los problemas principales de estos beneficios tradicionales son:

#### - Pequeña carga circulante o bien bajos rendimientos específicos.

Las cargas de minerales brutos a través de las instalaciones tradicionales están en parte claramente por debajo de 1 t/HT. De esta manera el beneficio de la Pequeña Minería en

países en desarrollo es intensivo en trabajo. El problema se agudiza debido a que los procesos de beneficio generalmente operados en forma discontinua se agravan por los repetidos procesos de alimentación, de extracción, de apilamiento en el desmonte, etc., con altos porcentajes de tiempos muertos. A veces el tiempo muerto en las plantas de beneficio de la Pequeña Minería puede ser hasta superior al 50 % del tiempo total.

#### - Baja recuperación.

Las recuperaciones del fino de solamente el 50 % y por debajo son frecuentes <sup>1)</sup>. La mitad del fino que fué costosamente extraído de interior mina se va de esta manera a los desmontes. Así el concentrado recuperado es recargado con altos costos de explotación. Las causas de la baja recuperación son sobre todo las de naturaleza de la organización del trabajo. Frecuentemente las causas son: la molienda muy gruesa o muy fina, la clasificación insuficiente, la mala elección del equipo mecánico, la forma discontinua de trabajo, el deficiente cuidado en el beneficio de los granos de tamaño fino, etc.

Las causas, en parte, de las bajas leyes de los concentrados son:

Clasificación de la alimentación para los procesos húmedos de concentración con rangos demasiados amplios de tamaños de grano.

Trituración muy escasa (liberación no alcanzada) o minerales muy finamente entrecrecidos, para los cuales el proceso de beneficio de los granos de tamaño finísimo solo tiene una capacidad insuficiente de separación.

Un cambio del proceso total de beneficio es imposible para la Pequeña Minería. Por cierto, desde el punto de vista técnico se dispone de una serie de diferentes procesos, cuyas combinaciones permiten aumentar notoriamente la recuperación en plantas modernas, la cual por regla es > 70 %, a menudo 80 - 90 %, si el grado de entrecrecimiento de los minerales valiosos lo permite. Estos procesos son:

<sup>1)</sup> No obstante, los valores parecidos también son standard para plantas modernas de beneficio mecanizadas en los países en desarrollo.

Procesos físicos	* Beneficio mecánico húmedo y seco
	* óptico
	** magnético electrostático
Procesos físicos superficiales	* flotación
Procesos químicos	* amalgamación y lixiviación
Procesos bioquímicos	lixiviación bacterial

Los procesos marcados con \* son importantes para la Pequeña Minería, los marcados con \*\* generalmente son empleados solamente para la limpieza posterior de los concentrados y se realizan por encargo (beneficio asalariado). Todos los demás procesos, debido a sus altos costos de inversión, su alta complejidad, la estrechez del mercado local o bien la falta de tradición de los procesos en la Pequeña Minería latinoamericana, no representan ninguna alternativa apta para el beneficio de la Pequeña Minería.

La mecanización y modernización de las plantas de beneficio existentes se ve impedida por la falta crónica de capital de la Pequeña Minería. De igual manera, los créditos para la Pequeña Minería con fines de mecanización son poco accesibles debido a que no existen suficientes conocimientos sobre la situación de las reservas y a la falta de estudios bancables que prohíban la pignoración del yacimiento.

Se debe remarcar que la mecanización y la modernización de ninguna manera se deben considerar siempre como positivas. Muchos ejemplos en los cuales los mineros, ante plantas de beneficio modernas de la Pequeña Minería abandonadas o en parte malogradas, benefician sus minerales brutos mediante su técnica sencilla y tradicional, reafirman esto claramente. La dependencia de energía, repuestos e insumos y la pérdida de flexibilidad debido a grandes inversiones condujeron a menudo a problemas que ejercen más presión que los mencionados de la técnica tradicional.

Por eso las posibilidades técnicas de cambio se limitan a inversiones extremadamente favorables en costos, mediante la compra de equipos y maquinarias fabricados localmente y su introducción paso a paso. Además, las mejoras en la organización del trabajo ofrecen ventajas económicas considerables.

Ejemplos como el de la minería cooperativizada de plomo y plata en Pulacayo, Bolivia, aclaran la necesidad de cambios de la organización del trabajo en el manejo de los procesos de beneficio. Los mineros organizados en cuadrillas (grupos de trabajo de explotación de a cuatro personas) trabajan en aproximadamente treinta plantas de beneficio paralelas, las cuales en parte funcionan solo para el beneficio de granos gruesos mayores a 1 mm. El material fino con alto contenido de plata se apila en el desmonte sin ser concentrado. Las cuadrillas siguen un concepto rotativo de explotación y de beneficio, en el que alrededor de un tercio del tiempo de trabajo mensual lo dedican al beneficio. Pero las cargas de mineral a beneficiar de una cuadrilla son muy pequeñas para realizar un buen beneficio con una concentración del grano de tamaño fino. Solamente una carga de mineral bruto conjunta de varias cuadrillas sería apta para una concentración del grano fino.

También en plantas de beneficio menos problemáticas existen posibilidades de establecer principios para mejoras en la organización del trabajo. Incluso optimizaciones insignificantes son capaces de mejorar sustancialmente los resultados de las operaciones. Esta posición clave del beneficio hace tiempo ha sido pasada por alto por la Pequeña Minería.

Otros conceptos para solucionar problemas del beneficio de la Pequeña Minería han fracasado frecuentemente:

Plantas móviles de beneficio que concentren cíclicamente los minerales brutos de todo un distrito de la Pequeña Minería fracasan debido a problemas técnicos y de infraestructura. Según un estudio del Banco de Crédito para la Reconstrucción (KfW) sobre la posibilidad de introducir una planta de beneficio móvil para minerales de plomo y plata en las tierras altas ricas en yacimientos de Bolivia, no se han podido encontrar lugares o distritos de yacimientos apropiados. La heterogeneidad de los minerales brutos o sea de los yacimientos, las malas conexiones de caminos y la economía de subsistencia de la Pequeña Minería que debe trabajar en lo posible con capitales a corto plazo, no permiten la introducción de plantas móviles.

Igualmente problemática es la introducción de plantas de beneficio centrales para los minerales brutos. Los altos costos de transporte y los bajos valores de los minerales limitan las zonas de aprovisionamiento para las plantas de beneficio centrales. Además, los resultados en la Pequeña Minería han demostrado que las plantas de beneficio centrales pueden ser operadas con expectativas de éxito solamente como empresas no rentables, eventualmente como empresas de servicio de organizaciones gubernamentales afines a la minería y que necesiten un alto grado de aprovechamiento. Para ésto, también son necesarios análisis y ponderaciones fidedignas. Conceptos en los cuales los minerales son entregados como preconcentrados, ya sea en forma de productos previos seleccionados a mano o como preconcentrados de instalaciones tradicionales sencillas de concentración, amplían la zona rentable de aprovisionamiento y ofrecen soluciones más económicas que la venta de minerales brutos o de concentrados finales deficientemente beneficiados.

Para minas que se encuentran aisladas debido a los altos costos de transporte entra en consideración casi sin excepción, el beneficio en una planta de beneficio propia. Los próximos capítulos darán sugerencias para la planificación, construcción y operación de plantas de beneficio ajustadas a las necesidades.

### **D.3. PRINCIPIOS DE SOLUCIONES PARA LA ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO**

#### **D.3.1 DIFERENTES PROCESOS DE BENEFICIO**

Para la separación de los minerales brutos en concentrados de minerales comercializables, subproductos y ganga se puede elegir de una variedad de diferentes procesos de beneficio. Según la composición del mineral bruto, las propiedades químicas y físicas de los minerales componentes en el mineral bruto, la distribución granulométrica, etc., algunos de estos procesos son más aptos que otros para la separación del fino del estéril.

Como principales procesos de beneficio están a disposición:

#### **EL BENEFICIO GRAVIMETRICO:**

Para la concentración de alimentaciones de minerales brutos con minerales pesados como portadores del fino se beneficia según el lugar por medios mecánicos secos o húmedos, aprovechando la diferencia de densidad para la separación. Los procesos gravimétricos concentran debido a que los fenómenos específicos de densidad (p.ej. velocidad final de caída, aceleración radial) realizan en el medio de concentración, ya sea aire (concentración seca) o agua (concentración mecánica húmeda), la separación de la alimentación en dos o más flujos individuales que contienen sobre todo mineral o partículas de ganga.

Aparatos para la concentración gravimétrica son por ejemplo: canaletas, jigs, separador por medios densos, buddies, separadores helicoidales, ciclones, tamices, etc.

El beneficio gravimétrico es el proceso de beneficio típico de la Pequeña Minería.

#### **LA FLOTACION:**

En la flotación se emplean para la concentración las diferentes propiedades electroquímicas de las superficies de los minerales convirtiendo en hidrófobos a algunos minerales añadiendo reactivos (colectores, activadores) a una pulpa de grano fino. El aire introducido eleva las partículas hidrófobas hacia la superficie, las cuales son extraídas en forma de espuma mediante golpe de paleta. Si el concentrado del mineral es extraído en forma de espuma se habla de flotación directa y si el concentrado es extraído en forma de fracción no flotada (NON FLOAT) se habla de una flotación indirecta. Mediante la variación del valor del pH de la pulpa y de los reactivos durante la separación se pueden flotar diferentes minerales selectivamente. El aparato para la concentración por flotación es la celda de flotación.

La flotación es el proceso de beneficio más divulgado en la minería metálica mecanizada.

#### **LA AMALGAMACION:**

Se emplea para los minerales de metales preciosos. Oro, plata y algunas de sus combinaciones tienen la propiedad de ligar con el mercurio. Estas aleaciones se llaman amalgamas. Para la separación se trata el mineral bruto con mercurio, luego se separa la amalgama y mediante destilación se divide en metal precioso y mercurio. La amalgamación se realiza en bateas (chuas), canaletas, turriles, toneles, tambores de amalgamación, trapiches, bocartes o mesas de amalgamación.

### LA SEPARACION MAGNETICA:

En la separación magnética se aprovecha la susceptibilidad magnética de los minerales. Esta propiedad física permite la separación de minerales individuales del material no magnético con la ayuda de un imán.

### LA LIXIVIACION:

Las bases para la separación por lixiviación son fenómenos de solución química, de transporte y de precipitación. Bajo determinadas condiciones de Eh-pH los minerales son disueltos por algunos ácidos, lejías o soluciones. La presencia de bacterias puede actuar como catalizadora. Los metales son separados de la solución y concentrados en otros lugares. Se lixivia en tanques, en pilas o en situ.

La lixiviación con cianuro cobra cada vez más significado en la minería del oro.

### LA CONCENTRACION ELECTROSTATICA:

Emplea la diferente ionizabilidad de los minerales en el campo electrostático para la separación. Sin embargo, es un proceso utilizado raramente.

Además existen procesos de concentración óptica que sin embargo son de significado marginal.

En principio, el planificador debería tender a mantener lo más bajo posible el número de los diferentes procesos de concentración en el beneficio. Mientras mayor sea la cantidad de ellos, mayor será el precio del equipo, menos clara la disposición y más complicado y sensible el proceso de beneficio.

### D.3.2 ELUSION DE LOS TIEMPOS MUERTOS

#### TENDENCIA A UNA FORMA CONTINUA DE TRABAJO

El beneficio de minerales en la Pequeña Minería boliviana se realiza en las plantas tradicionales, por lo general en procesos operados en forma discontinua. En el almacenamiento transitorio de productos, la alimentación repetida y la preparación de los aparatos se pierde mucho

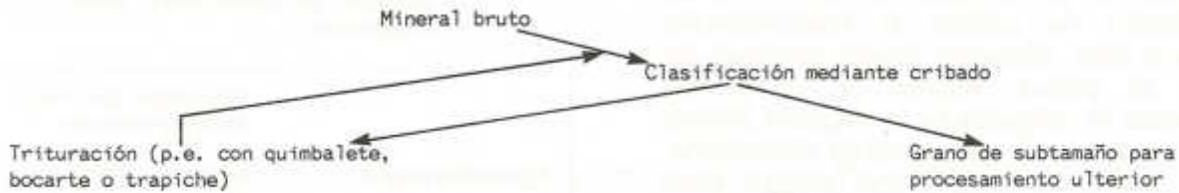
tiempo. Según observaciones de los autores, en las plantas estas pérdidas por tiempos muertos son de aproximadamente el 50 % del tiempo de trabajo. Por eso, para un mejoramiento de las producciones se debe tender a una operación continua de las instalaciones, donde el mineral bruto alimentado atraviese en lo posible cuantitativamente completo la trituración, la clasificación y la concentración.

### D.3.3 TRITURACION CUIDADOSA

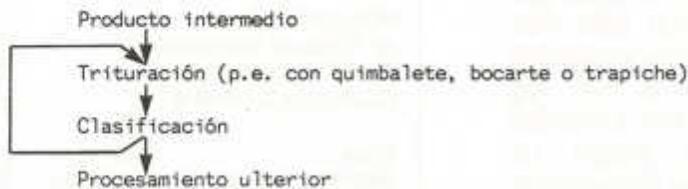
La recuperación en las plantas de beneficio baja con el tamaño de grano. También en las plantas de beneficio modernas mecanizadas las fracciones de granos finos presentan problemas técnicos de beneficio significativos. Por eso se debe procurar necesariamente que durante la trituración se produzca en lo posible poco porcentaje de grano fino. Esto es especialmente importante para los minerales valiosos que presentan una tenacidad de muy friable a friable. En este sentido, se deben nombrar la casiterita, la esfalerita y los minerales de wolfram, scheelita y wolframita (ver tabla pag. 14 ff). La tenacidad es el comportamiento de los minerales ante la quebradura (en contraposición a la fisionabilidad o a la dureza de rayado). Determina definitivamente el comportamiento de un mineral durante la trituración. Los minerales friables tienden a una trituración muy rápida y la sobremolienda es una consecuencia frecuente. Para evitar que los minerales valiosos se encuentren en las fracciones que se pueden concentrar solo con altos costos, se debe realizar una trituración cuidadosa. Si se prevee una molienda, ésta debe realizarse solo por poco tiempo. Después se recomienda una clasificación de los granos mayores con una molienda posterior.

Sin embargo, frecuentemente se puede renunciar ampliamente a la molienda.

En el flujograma de una planta tradicional de beneficio, una trituración cuidadosa del mineral bruto sería de la siguiente manera:



La trituración posterior de un producto intermedio requeriría de los siguientes pasos:



#### D.3.4 ELUSION DE LA SOBREMOLIENDA

La molienda hasta la liberación, o sea hasta la separación del fino y el estéril (rocacaja o ganga), es un principio importante de la ciencia del beneficio. Mediante la molienda se debe evitar la producción de productos intermedios, o sea entrecrecimientos de mineral y estéril en un grano. Frente a esto, desde el punto de vista técnico del beneficio, están los problemas que trae consigo una molienda. Estos son los altos porcentajes de granos de tamaño finísimo debidos a la sobremolienda, los cuales muestran un efecto desfavorable en la concentración por la baja recuperación y la alta demanda de energía de la molienda que en las plantas modernas representa a veces hasta un 50 % de los costos del beneficio. Esta energía en las plantas manuales tradicionales tiene que ser cubierta por el trabajador, por ejemplo, en la trituración con el quimbalete.

Para evitar los problemas arriba mencionados se debería, si es posible, renunciar totalmente a la molienda y en vez de ella proponer un procesamiento de los granos gruesos para la producción de preconcentrados. Una molienda posterior de los productos intermedios de la concentración gruesa reduce considerablemente la cantidad de carga alimentada a la molienda. Las consecuencias serían bajos costos de energía (lo que es también importante para la inversión en la provisión de energía), relativamente alta recuperación, sin embargo, leyes de concentrados no óptimas.

Al sobrepasarse el tamaño de grano más favorable aumentan las pérdidas del mineral valioso por los

granos extraviados en la producción de preconcentrados debido al fuerte entrecrecimiento del mineral valioso no liberado.

La necesidad urgente de una molienda de la carga de alimentación es determinada por los parámetros del mineral bruto (por ejemplo, grado de entrecrecimiento, distribución granulométrica del mineral valioso). Sin embargo, en lo posible el material de alimentación debe ser entregado a la etapa de clasificación solamente quebrado. Para ello, se dispone por ejemplo, de trituradoras a rodillo para una trituración fina hasta un tamaño final de grano hasta de 1 mm. Debido a la homogeneidad del tamaño de granos de los productos de la trituradora a rodillos, el material muestra un porcentaje relativamente bajo de fracción finísima.

#### D.3.5 PROCESAMIENTO DE RANGOS ESTRECHOS DE TAMAÑOS DE GRANOS

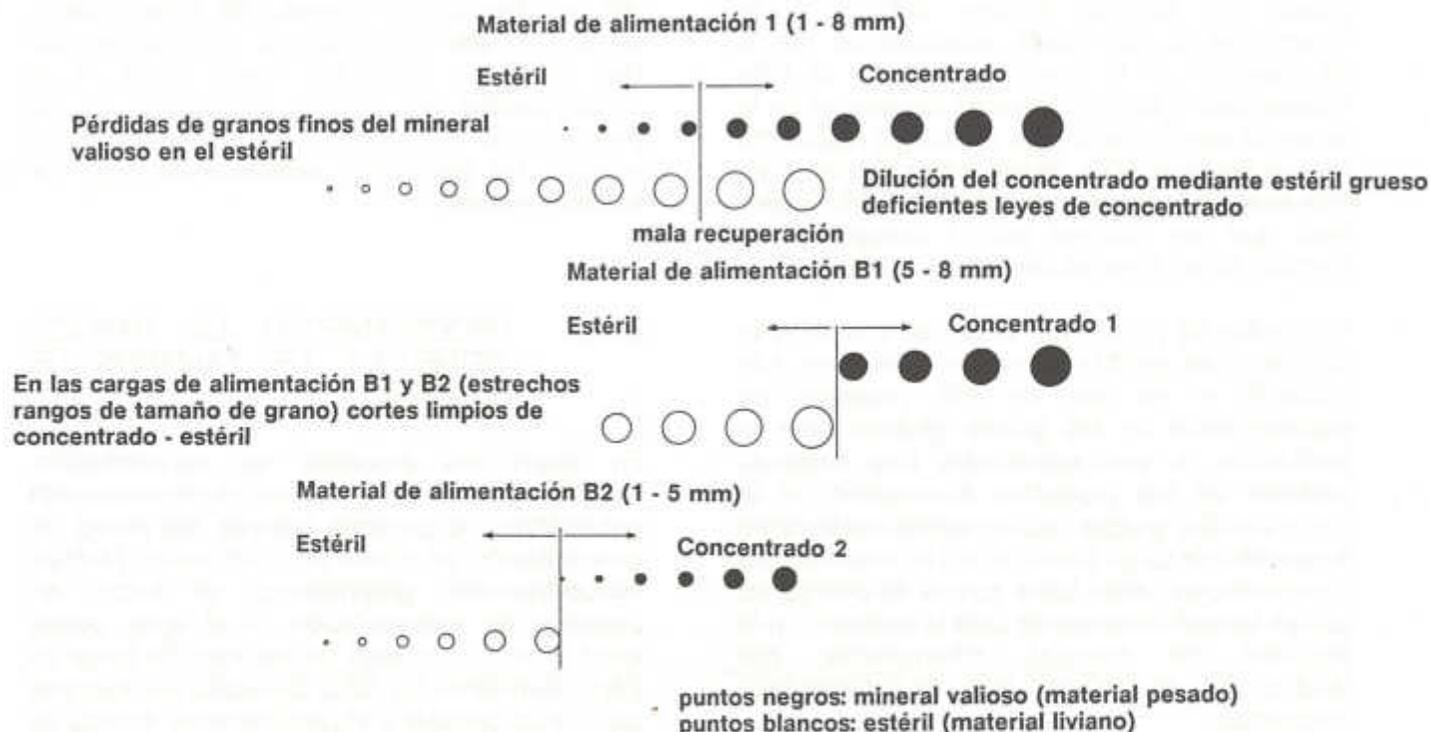
En todos los procesos de concentración, especialmente en los procesos de concentración gravimétrica, se presenta además del efecto de concentración, un efecto de clasificación. Muchas concentraciones gravimétricas se basan en procesos de sedimentación en el agua, donde entre otras, la velocidad de decantación juega un papel dominante. En estos procesos, por ejemplo, los granos grandes y específicamente livianos se comportan igualmente que los granos pequeños y específicamente pesados, lo que se expresa también en la misma velocidad final de caída. Para

minimizar los efectos de clasificación en una concentración clasificadora es necesario preclasificar la alimentación en su etapa de concentración de manera lo suficientemente estrecha y tratar solamente rangos estrechos de tamaño de granos. Muchas de las plantas tradicionales investigadas de la Pequeña Minería boliviana han dividido su material de alimentación, el cual consiste en granos con tamaños entre menores a 30 mm y fracciones de lama, solamente en cinco o menos fracciones de granos y de esta manera han entregado a la concentración rangos de tamaños de grano relativamente amplios. Las consecuencias son una recuperación total más baja de la planta y leyes de concentrados relativamente más bajas debido a que los concentrados están contaminados con partículas de estéril, las cuales en las etapas de concentración muestran las mismas propiedades hidráulicas que los granos del mineral valioso (compare dibujo abajo).

Para un buen resultado de separación en la clasificación y en la concentración las densidades de pulpa o sea el porcentaje de sólidos que se entrega en las instalaciones de clasificación, de concentración o de decantación son de importancia. Los valores máximos para cada tipo de aparato están expuestos en la siguiente tabla (según Trawinski, Priester):

Tabla: Valores de orientación para el porcentaje de sólido en la pulpa de alimentación de aparatos de clasificación, concentración y decantación.

	Porcentajes de sólidos en la alimentación	
Hidrociación cónica	max.	20 %-Vol
		en casos extremos hasta 40 %-Vol
Cición - CBC	max.	15 %-Vol
		en casos extremos hasta 25 %-Vol
Hidroclasificador de corriente ascendente		25 - 40 %-Vol
Clasificador a rastrillos		30 - 50 %-Vol
Clasificador a tornillos		30 - 50 %-Vol
Mesa	max.	15 - 20 %-Vol
Separador helicoidal	max.	15 - 20 %-Vol
Separador cónico	max.	20 %-Vol
Jig	max.	10 %-Vol
Cición de medio denso	max.	10 %-Vol
Separador de corriente ascendente	max.	25 %-Vol
Buddles	max.	10 - 15 %-Vol
Buddles circulares	max.	10 %-Vol
Turrlas de sedimentación	aprox.	30 - 50 %-Vol
Filtro de presión		15 - 40 %-Vol
Filtro de disco al vacío		10 - 20 %-Vol
Filtro de tambor al vacío		10 - 30 %-Vol
Filtro de cinta al vacío		20 - 40 %-Vol
Espesador	max.	5 - 10 %-Vol



Dib.: Representación esquemática de una concentración clasificadora con una clasificación con amplio rango de tamaño de grano en la carga alimentada (1) y dos clasificaciones con estrechos rangos de tamaño de grano en las cargas alimentadas (B1 y B2).

Tabla: Tamaños de grano de alimentación para diferentes máquinas y técnicas de beneficio (en  $\mu\text{m}$ ), con los correspondientes límites superiores e inferiores, o bien sus valores extremos entre paréntesis

Hidrociclón cónico	(5) 10 - 200
Clasificador a rastrillos	200 - 5000
Clasificador hidráulico	(20) 50 - 1000 (2000)
Criba húmeda	(50) 75 - 5000
Criba de clasificación seca	(40) 100 - 10000
Aereociclón	(10) 50 - 150
Trómel clasificador	250 - 50000
Selección a mano	5000 - (500 mm)
Ciclón CBC	20 - 500
Mesa vibradora	(20) 50 - 1000 (3000)
Espiral	(30) 50 - 1000 (3000)
Separador de cono/ Canaleta en abanico	(30) 50 - 1000 (3000)
Separador de medios densos	(400) 500 - 5000
Ciclón de medio denso	200 - 5000
Jig	(80) 100 - 5000 (10000)
Canaletas	(60) 100 - 1500 (3000)
Mesa Bartles-Mozley	(2) 5 - 100 (200)
Separador magnético húmedo de baja intensidad	(40) 50 - 2000 (5000)
Separador magnético húmedo de alta intensidad	(10) 20 - 500 (2000)
Flotación	(5) 15 - 500
Flotación de espuma	(100) 150 - 1500 (2000)
Aglomeración selectiva	2 - 50
Espesador	0 - 50
Concentrador de cinta de Bartles	(5) 10 - 100
Amalgamación	(20) 50 - 2000
Lixiviación de oro	0 - 750
Centrífugas de lecho fluidizado	20 - 2000
Flotación en canaletas	200 - 3000
Flotación en buddles	20 - 250
Fosas de lavado	100 - 2000
Buddles	(20) 50 - 1500
Mesa en forma de embudo (cónica)	10 - 500
Tinas de refinación según el proceso de Schanz	20 - 2000
Jigs a aire	30 (200) 500 - 2000
Concentradores a aire	50 - 600 (50 mm)
Separación magnética seca - baja intensidad	100 - 5000
- alta intensidad	80 - 1000
Concentración electrostática	(75) 100 - 1000 (1500)
Concentración electrodinámica	(40) 70 - 2000 (5000)
Inducción magnética	500 - 10000
Canaleta seca en abanico	75 - 1500
Canaleta vibradora de funcionamiento en seco	200 - 1500

### D.3.6 AUMENTO DE LA PRODUCCION UNITARIA ESPECIFICA

El uso de determinados aparatos de la técnica de beneficio tradicional limita la producción de la planta en su totalidad. Por ejemplo, los 'buddles que tratan un material de alimentación de grano de tamaño fino trabajan con tan baja producción que algunas minas han decidido renunciar totalmente al beneficio de los granos de tamaño fino. En vista que en las fracciones de tamaño fino se encuentran grandes cantidades de material valioso, esta decisión en relación a la recuperación total del beneficio resulta cuestionable. En vez de ello, se deben proponer soluciones como por ejemplo, las que se pueden observar en San Cristobal, Porco, Bolivia. Allí, para aumentar la producción unitaria específica de la etapa de concentración del grano fino se utilizan conexiones paralelas de buddles. Una conexión en paralelo de otros componentes de la planta es de igual manera posible con maquinaria del beneficio que trabaje en forma continua o semicontinua, por ejemplo, canaletas en forma de abanico, separadores helicoidales, mesas, concentradores cónicos, etc.

### D.3.7 HIDROCLASIFICACION VERSUS CLASIFICACION MEDIANTE CRIBA

Especialmente para los procesos de beneficio mecánicos húmedos, el tipo de clasificación es responsable del grado de corte del proceso de concentración. La clasificación hidráulica es considerablemente más apta como proceso de clasificación para las alimentaciones de máquinas de concentración como mesas, buddles y canaletas que la clasificación mediante criba. La razón es que el material hidroclasificado es clasificado según el principio de la caída uniforme, o sea que las partículas grandes de material liviano y las partículas pequeñas de material pesado se encuentran en una misma fracción. Si se alimenta una de las máquinas de concentración mencionadas con esta clase de material se realiza una mejor separación volumétrica que si se tratara de una alimentación clasificada mediante criba, debido a la deriva causada por efecto de la corriente en las superficies de los granos. Otra ventaja para la Pequeña Minería radica en la forma continua de trabajo de los clasificadores hidráulicos en operaciones no mecanizadas.

Actualmente en la Pequeña Minería tradicional de los países en desarrollo se clasifica principalmente mediante criba. Las desventajas como

- baja producción
- bajo grado de corte
- mayores gastos de manejo y
- forma de discontinua trabajo

se podrían vencer mediante la clasificación hidráulica.

### D.3.8 PRODUCCION DE PRECONCENTRADOS

Para evitar grandes flujos de material a través de la planta de beneficio uno de los primeros pasos debería ser la producción de preconcentrados. Especialmente cuando se trata de materiales de alimentación de bajas leyes, por ejemplo alimentaciones de mineral de estaño con contenidos de estaño de alrededor del 2 %, pero también tratándose de materiales de alimentación con mayores contenidos metálicos no se debería renunciar a la producción de preconcentrados. Esta puede realizarse de dos maneras o bien mediante sus combinaciones. El método más sencillo es en este caso el escogido a mano, cuya significación y empleo para la "minería selectiva semimecanizada" como solución a los problemas de beneficio específicos de la Pequeña Minería ya lo describió HORVAY en el año 1983. Por medio del escogido a mano se debería producir un concentrado seleccionado comercializable y un preconcentrado para alimentación de la planta de beneficio. El método alternativo de una producción de preconcentrados consiste en el empleo de máquinas de concentración con una producción unitaria específica grande.

Mientras que el escogido a mano generalmente representa una posibilidad práctica de preconcentración solo para los tamaños de grano por encima de aproximadamente 10 mm, se dispone de un gran número de maquinarias de concentración para producir preconcentrados para el rango total de tamaños de grano desde aproximadamente 30 mm hasta por debajo de 100  $\mu\text{m}$ . Estas son:

para tamaños de grano grueso: (aprox. 2 mm hasta 1 mm) jigs de émbolo

para tamaños de grano mediano: (aprox. 2 mm hasta 300  $\mu\text{m}$ ) canaletas, lavadoras, buddles, espirales

para concentración de grano de tamaño fino: (aprox. 500  $\mu\text{m}$  hasta aprox. 50  $\mu\text{m}$ ) canaletas en abanico

En el uso de una de las máquinas de concentración nombradas es necesaria una clasificación del material de alimentación para mantener, en lo posible, alta la recuperación en la preconcentración.

- Las ventajas de la producción de preconcentrados radican en la reducción de las cantidades de alimentación para las siguientes etapas de concentración. Suponiendo una recuperación de 100 % si se preenriquece una alimentación de 2 % al 4 % de estaño, se desechará un 50 % de la ganga. La producción mediante las siguientes etapas de concentración se reduce a la mitad.
- Para todos los concentrados comercializables obtenidos por el escogido a mano ya no se necesitan los otros gastos del beneficio (trituration, clasificación, concentración). Las pérdidas de recuperación para esta parte del mineral también pueden ser omitidas.

### D.3.9 HOMOGENEIZACION DE LAS CARGAS DE ALIMENTACION

En la Pequeña Minería boliviana los autores pudieron observar repetidas veces que los aparatos de concentración fueron alimentados con cargas totalmente heterogéneas, por ejemplo: en el beneficio de granos de tamaño fino mediante buddles se alimenta primero un producto intermedio de una etapa de concentración anterior; luego un mineral bruto, donde entonces la segunda alimentación se depositó sobre el cono de sedimentación de la primera carga. Mediante esta forma de proceder, debido a composiciones temporales muy diferentes de la pulpa de alimentación en cuanto a tamaño de grano porcentaje de minerales pesados, se pueden llegar a formar concentraciones diferentes en cuanto a volumen en el cono de sedimentación. Esta problemática se puede confrontar mediante una homogeneización previa de la carga de alimentación por medio de una mezcla de los componentes individuales. La homogeneidad de la carga de alimentación es siempre de importancia donde se llevan a cabo procesos continuos o semicontínuos, cuyos parámetros de proceso como cantidad de pulpa, longitud de mesa e inclinaciones transversales y adición de reactivos están acorde a las propiedades de la pulpa de alimentación.

Los métodos sencillos de la homogeneización de alimentación son frecuentemente suficientes, por

ejemplo, verter una sobre otra las diferentes cargas de alimentación sobre un cono formado con la carga. Las capas superiores del cono todavía son heterogéneas mientras que el material tomado de la parte lateral inferior está ya ampliamente homogeneizado.

### D.3.10 TRATAMIENTO POSTERIOR DE LOS PRODUCTOS INTERMEDIOS

En todos los procesos de beneficio tradicionales se producen productos intermedios condicionados por el proceso. Estos productos pueden ser de dos naturalezas:

- Producto intermedio que se ha formado debido a un grado de corte relativamente bajo de una máquina de concentración. En este producto los componentes están por cierto liberados, o sea el mineral valioso se encuentra como grano libre y ya no está entrecrecido con ganga, rocaja o partículas acompañantes, pero no está separado en granos de mineral valioso y granos de estéril. Esta clase de productos intermedios es frecuente en la concentración mecánica gravimétrica, especialmente cuando las propiedades específicas de las partículas de material valioso y de la ganga, por ejemplo en relación a la densidad, no se diferencian mucho.
- Producto intermedio que aún no está liberado por la anterior etapa de trituración o sea existen entrecrecimientos del fino y de la ganga en un grano. Esta clase de productos intermedios se produce naturalmente también en procesos de concentración con grados de corte extremos y no se pueden separar mediante una siguiente concentración sin una trituración previa.

Ambas clases de productos intermedios también pueden producirse combinados. Sin embargo, en todo caso se debe investigar de que clase de productos se trata, pues una trituración inmediata sería muy cara para los productos intermedios ya liberados (debido a los altos costos de molienda) y estaría unida a una baja recuperación (debido a la mala recuperación de las máquinas de concentración de granos de tamaño fino). La batea es un instrumento de investigación simple, rápido y económico, mediante la cual se puede decidir muy rápidamente que clase de producto intermedio y que clase de tratamiento posterior es necesario:

- Productos intermedios liberados se deben concentrar posteriormente,
- Productos intermedios aún no liberados se deben volver a triturar y luego ser concentrados nuevamente.

En la Pequeña Minería de los países en desarrollo los productos intermedios frecuentemente reciben tratamiento posterior incompleto o sencillamente son echados a los desmontes. Sin embargo, desde el punto de vista económico ésto no es justificable sobre todo debido a que para el tratamiento posterior de los productos intermedios no se origina ningún costo de explotación sino solamente costos bajos de trituración y concentración que por lo general pueden ser cubiertos totalmente por los contenidos valiosos obtenidos. Solo tratándose de productos intermedios de tamaño muy fino eventualmente se debería sopesar la venta a una mina con beneficio mecanizado.

### D.3.11 CLASIFICACION DE CARGAS DE ALIMENTACION EN MAQUINAS DE CONCENTRACION.

La discusión de los ingenieros sobre el método de clasificación inglés y alemán en la operación de procesos de beneficio se extiende ya a través de la literatura técnica del último siglo.

**El método alemán o del Harz** se sirve primeramente de la clasificación de la alimentación y luego de la concentración de fracciones con estrechos rangos de tamaños de granos; **el método inglés** aprovecha el efecto de clasificación en las máquinas de concentración húmedas y luego clasifica solo los productos. Por ejemplo, en caso de una concentración mediante buddle, el material de alimentación es cargado con amplio rango de tamaño de grano, luego concentrado y su producto concentrado es extraído y clasificado. El grano grueso es el concentrado final, el grano de subtamaño es considerado como preconcentrado para la concentración posterior.

La minería de metales no ferrosos en Latinoamérica, especialmente la minería del estaño durante el siglo XIX está principalmente influenciada por la minería anglosajona. Debido a ésto, también en la Pequeña Minería se ha impuesto ampliamente el método inglés del beneficio mecánico húmedo. Las ventajas de este método radican en que se clasifica solamente los concentrados y los productos intermedios, mientras que el material estéril es puesto en el desmonte sin clasificar. De esta manera se disminuyen los gastos de clasificación. Sin

embargo, se contraponen a este método algunas desventajas que hacen reflexionar sobre el empleo de la clasificación inglesa para la Pequeña Minería. Por un lado la concentración de material de alimentación con un amplio rango de tamaño de grano es operada con velocidades de pulpa tan altas que las fracciones de grano grueso también llegan a separarse. Estas velocidades de pulpa son tan altas que el material fino y finísimo, debido a sus grandes superficies específicas, a menudo es arrastrado y desechado juntamente con el estéril. Una clasificación del material de alimentación antes de la concentración tendría como consecuencia que las fracciones de granos finos y finísimos pudieran ser concentradas individualmente y con menores velocidades de pulpa. Por otro lado, las desventajas de una clasificación posterior durante el proceso de asentamiento son claras. Las fracciones con amplio rango de tamaño de grano se concentran con más gastos por el asentamiento que un material de alimentación clasificado con un estrecho rango de tamaño de grano. La causa de ello es el hecho de que fracciones con estrechos rangos de tamaño de grano se sueltan más fácilmente durante el proceso de asentamiento pulsante (por ejemplo jigs) y así necesitan menores energías motrices. Esta situación cobra significado especialmente en la concentración mediante jigs manuales en la Pequeña Minería en países en desarrollo.

#### D.3.12 BENEFICIO DE GRANOS DE TAMAÑO FINO

Un punto débil importante de las plantas de beneficio, tanto a gran escala como también en la Pequeña Minería en países en desarrollo, es el cuidado deficiente en la concentración del grano de tamaño fino. Las plantas de beneficio con bajas recuperaciones del material valioso (por ejemplo, marcadamente bajo el 50% en plantas de beneficio modernas mecanizadas de la minería boliviana nacionalizada COMIBOL en el beneficio de los minerales de estaño) pierden por lo general grandes cantidades del portador de su material valioso en las fracciones de tamaño de grano fino. Igualmente se encuentran plantas donde la concentración del tamaño de grano fino falta totalmente. Los minerales ricos en plata de Pulacayo (Bolivia) son beneficiados con métodos de la minería pequeña tradicional, donde por ejemplo, todo el material inferior a 1 mm se echa al desmonte. En vista de esta problemática no se puede señalar lo suficientemente claro el significado del beneficio de granos de tamaño fino.

Especialmente en dos clases de materias primas se debe esperar una concentración del material valioso en las fracciones de tamaños de grano fino y finísimo:

- En minerales brutos que muestran un entrecrecimiento fino y que deben ser molidos finamente para alcanzar la liberación. Los yacimientos de metales no ferrosos, por ejemplo, de génesis subvolcánica o submarina exhalativa o filones de sulfuros con el material valioso en forma de óxidos o yacimientos de estaño con formas estratigráficas como frecuentemente se encuentran en la región andina latinoamericana muestran este entrecrecimiento fino y se deben beneficiar considerando especialmente la distribución de granos de tamaño fino. Igualmente, los placeres aluviales de oro cuyo oro se presenta en granos finos pertenecen a este grupo de minerales brutos. Para esto, en la Pequeña Minería tradicional sin concentración especial de grano de tamaño fino, la recuperación se encuentra en algunos casos marcadamente por debajo del 10 %.
- En minerales brutos, en los cuales los portadores del material valioso son minerales friables que durante la trituración de la alimentación tienden fácilmente a una sobremolienda. La esfalerita, la casiterita y la scheelita son solo algunos ejemplos de esta clase de minerales friables (ver tabla pag. 14 ff). Un primer enriquecimiento se puede alcanzar incluso mediante una clasificación selectiva, es decir el grano de tamaño fino después de una etapa de trituración representa ya el preconcentrado. En todo caso, estas materias primas exigen también una consideración especial del beneficio del grano de tamaño fino.

Como ejemplo deberían servir hoy día las soluciones lamentablemente ya históricas que se podían encontrar en el beneficio húmedo de minerales de plata de Pulacayo antes del año 1952, en las cuales incluso las colas de las mesas fueron posteriormente concentradas para obtener concentrados de tamaño finísimo mediante buddles mecanizados. En la minería de placeres de oro para el beneficio del grano de tamaño fino se pueden emplear, por ejemplo, centrifugas para oro y ciclones; en la obtención de concentrados de minerales no ferrosos se empleaban, por ejemplo, los ya

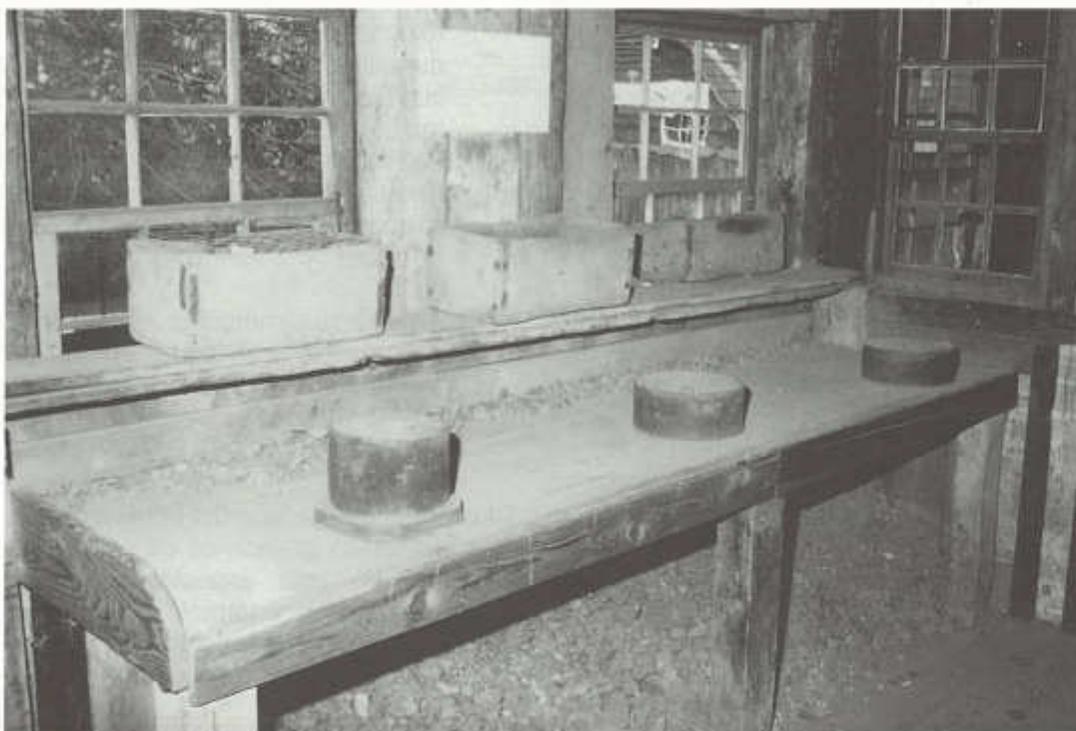
mencionados buddles mecánicos, mesas Bartles-Mozley, mesas de concentración con paño, etc.

La aproximación relativa de los valores de las velocidades finales de minerales con diferentes densidades en función del tamaño de grano decreciente en la concentración de granos de tamaño fino y finísimo por medio de métodos mecánicos húmedos resulta problemática. Esto conduce a que el beneficio de granos de tamaño finísimo es más costoso en comparación con las máquinas de concentración para fracciones más gruesas y alcanzan una recuperación más baja y menores factores de enriquecimiento. Sin embargo, en la mayoría de los casos por motivos económicos una etapa de concentración de granos de tamaños fino y finísimo es de gran significado.

### D.3.13 ESCOGIDO A MANO

El escogido a mano de minerales brutos, cargas de alimentación y concentrados en el beneficio de la Pequeña Minería en países en desarrollo tiene un gran significado, el cual ya fue señalado por

HORVAY (1983), entre otros. Los ejemplos de la minería de fluorita en Oberpfalz (hasta 1988) demuestran que el escogido a mano incluso bajo relaciones de costos de personal extremadamente altas, como en Alemania en la minería mecanizada, juega un rol importante. Mediante el escogido a mano se puede obtener tanto por medio de una selección negativa, o sea mediante el escogido de material estéril como por medio de una selección positiva, o sea por medio de una selección de pedazos de minerales puros, un preconcentrado o un concentrado. En ambos casos la planta de beneficio se ve marcadamente aliviada. En los concentrados seleccionados positivamente además desaparecen las pérdidas debidas a la mala recuperación del material valioso. Los rendimientos de escogido relativamente bajos son problemáticos en la Pequeña Minería de la región de Los Andes. Las causas son las pésimas condiciones de escogido. Estas podrían mejorar notoriamente, por ejemplo, mediante material grueso limpio clasificado por vía húmeda, buena iluminación, etc., sobre mesas o cintas de escogido.



Mesa de escogido, Museo Minero de Clausthal-Zellerfeld, Harz, Alemania.

#### D.4. ASPECTOS DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LA SALUD

Del beneficio resultan importantes contaminaciones para el medio ambiente.

**Contaminación por ruido** debida a la trituración y a las máquinas motrices.

**La contaminación del aire** resulta por varios aspectos:

- Contaminación por polvo, sobre todo en la concentración de carga de alimentación seca, por ejemplo, mediante la separación por viento y la clasificación seca.
- La contaminación del aire mediante vapores de mercurio en la destilación de amalgama en circuitos abiertos es frecuente en la minería aurífera y conduce a múltiples daños en la salud. La contaminación de mercurio conduce a la caída del cabello, descomposición de uñas, de huesos y puede tener consecuencias mortales (ver también cap.D.6.5.1).  
La amalgamación en circuito cerrado, es decir utilizando un matraz de destilación, es una posibilidad para solucionar este problema.

**Contaminación del agua:** la contaminación del cauce de los ríos debida al beneficio es especialmente grave y peligrosa. Esto se debe sobre todo al múltiple uso del agua de superficie. Especialmente en las zonas semiáridas con temporadas secas definidas los ríos son las últimas fuentes de agua. En general se puede observar la utilización del agua para tres objetivos principales.

1. como agua potable para la población, la cual en general utiliza el agua del río sin depurarla.
2. para fines de regadío en la agricultura y
3. como agua para el proceso de la pequeña industria, donde la minería es la principal rama de la economía que la utiliza debido a su distribución de superficie y a su alta demanda para el beneficio de los minerales brutos.

En los países andinos frecuentemente faltan regulaciones legales sobre derechos de agua, legislaciones sobre el medio ambiente, etc., o su cumplimiento no es controlado de manera que la competencia por el aprovechamiento del agua de superficie es un gran problema.

Además, es agravante el hecho de que los procesos bioquímicos de desintegración de las contaminaciones tóxicas del agua en lugares altos de los Andes, debido a la baja presión parcial del

oxígeno y a la muy baja temperatura del agua se desarrollan considerablemente mucho más lentos.

En forma particular debido al beneficio pueden producirse las siguientes sustancias contaminantes:

- Lamas, que se producen en todos los procesos mecánicos húmedos del beneficio y de la flotación.
- Reactivos de flotación tóxicos. En la Pequeña Minería de Latinoamérica se usan mayormente ácido sulfúrico, diesel e hidrocarburos de cadenas largas (espumantes y colectores), así como los xantatos. En la Pequeña Minería éstos llegan al cauce no decantados. La dosificación difícil de la adición de reactivos para los procesos discontinuos de flotación con muy poca cantidad de carga de alimentación resulta especialmente problemática. En comparación con la flotación a gran escala, las concentraciones de reactivos en la Pequeña Minería son extremadamente altas.
- Cianuros. Son utilizados en la flotación selectiva de sulfuros y en la lixiviación como sustancias activadoras y son altamente tóxicos. La desintegración de los cianuros dura alrededor de dos años y este proceso en las tierras altas es acelerado debido a la radiación intensa de rayos ultravioleta. Para la Pequeña Minería son urgentemente necesarios los diques de lama amurallados (diques de sedimentación) para la recepción de colas.
- Amalgama y mercurio. Ambas sustancias son liberadas en el agua en el proceso de amalgamación de oro en bocartes, canaletas, mesas y trapiches. Ver el artículo detallado en el cap. D.6.5.

Justamente el campo del beneficio es la fuente de los problemas gravísimos de contaminación de la minería. En este aspecto, son especialmente importantes los cambios y remedios para la Pequeña Minería. Por este motivo, en este manual se presta gran atención al campo del beneficio.

#### D.5. BENEFICIO DE DIAMANTES

Los diamantes son una rama importante de la explotación de piedras preciosas. El porcentaje de

la explotación de diamantes por la Pequeña Minería es alrededor del 10 al 15 % de la explotación total. La explotación y beneficio de diamantes según la geología del yacimiento se distingue en:

1. **Yacimientos primarios**, tobas brechosas de rocas alcalinas y ultraalcalinas con contenido de diamantes como chimeneas de volcanes, la así llamada kimberlita o blue ground, además peñas de olivino precámbricas.
2. **Yacimientos secundarios**, constituidos por productos de erosión de rocas con contenidos de diamantes. Estas pueden estar conformadas tanto de sedimentos solidificados, por ejemplo, en forma de conglomerados, como sedimentos sueltos en los cursos de los ríos o encima del yacimiento de blue ground como yellow ground.

En el beneficio de diamantes de los yacimientos primarios o de los sedimentos consolidados se debe tener cuidado que durante la trituración las rocas brutas valiosas no sean también trituradas. Debido a la alta fisibilidad de los diamantes es necesaria una trituración muy cuidadosa de la roca madre. En la minería de diamantes pequeña y mediana de Sudáfrica se desarrolló una forma especial de trituración que consistía en extender las rocas de alimentación después de la extracción en una capa delgada en la superficie y exponerla a una desintegración natural. Esta desintegración sobre los así llamados floors era fomentada por la adición de agua. La concentración de la carga de alimentación triturada puede realizarse de diferentes formas:

## OPTICA MECANICA

Mediante el **escogido a mano**, donde el material de alimentación es extendido en una capa delgada sobre una mesa de escogido, en la cual los diamantes que son notoriamente visibles debido a su alta refracción son seleccionados a mano. El tamaño de grano menor obtenible es de piedras de alrededor de 5 mg de peso (1/40 quilates).

Métodos modernos de separación óptica mecánica son los de **escogido fotométrico** o **escogido radiométrico** utilizando la luminiscencia artificialmente excitada de los diamantes. En estos métodos se hace pasar un flujo delgado del material ante detectores ópticos que reaccionan a las propiedades ópticas especiales de los diamantes y controlan una

válvula neumática que separa el diamante del flujo del material mediante soplado.

## GRAVIMETRICA

Gravimétrica, aprovechando la densidad del diamante de  $3.52 \text{ gr/cm}^3$

La Pequeña Minería en países en desarrollo utiliza frecuentemente los **jigs** en el beneficio de diamantes, mayormente jigs manuales, en los cuales el tamaño menor de grano recuperable debido a la pequeña diferencia de densidad entre cuarzo, como principal componente del sedimento, y el diamante como material valioso ( $q = 1.48$  para la separación en agua) es de aprox.  $150 \mu\text{m}$ . Para un aumento del grado de corte se emplean jigs con camas. En el caso del beneficio de diamantes, se utilizan bolas de cristal como material para las camas (cama de bolas de vidrio).

El empleo de **mesas con grasa** aprovecha la fuerte hidrofobia del diamante, haciendo pasar el material de alimentación suspendido en agua sobre la superficie de una mesa firme untada con grasa. Los diamantes son retenidos por la grasa y pueden ser luego extraídos individualmente.

Otros métodos para la separación gravimétrica son las **separaciones mediante medios densos** con pulpas de ferrosilicio en separadores de medios densos normales o en **ciclones con pulpa pesada**. El ferrosilicio que sirve como material para aumentar el peso y así elevar la densidad de la pulpa y que está en fracciones de 65 hasta 90 % < 0.05 mm, se recupera después de la concentración mediante separación magnética.

## ELECTROMECHANICA

En los **separadores electrostáticos** la concentración de las cargas de alimentación se realiza hasta un tamaño de grano máximo de 6 mm, donde se aprovechan para la separación las propiedades de semiconductor del diamante.

## D.6. BENEFICIO DEL ORO

### D.6.1 GENERALIDADES

El beneficio de materias primas de metales preciosos impone exigencias especiales a la técnica de la concentración. Las causas son las propiedades físicas y geoquímicas o bien yacimientológicas del oro. El oro se encuentra por

lo general en yacimientos cuyos tenores en el mineral bruto en yacimientos primarios es máximo de 100 - 200 g/t y mínimo 1 - 2 g/t. El límite inferior representa el cut-off de los yacimientos económicamente explotables. Yacimientos sedimentarios tienen contenidos metálicos entre 0.2 y aprox. 20 - 50 g/t. De acuerdo a esto, los factores de enriquecimiento en el beneficio tienen que ser hasta 100.000. Al mismo tiempo se tienen que explotar y beneficiar de manera comparativa grandes cantidades de mineral bruto para cubrir los costos de explotación y de beneficio. El bajo nivel de salarios en la mayoría de los países en desarrollo y su alto porcentaje de trabajo manual conducen a que la cantidad de aproximadamente 0.3 g de oro por hombre-retorno sea considerada como un volumen representativo de producción.

Otro problema del beneficio del oro, especialmente en la explotación de placeres de metales

preciosos, es el hecho de que muchas minas pueden trabajar solo en ciertas estaciones del año. En las temporadas de lluvia los ríos frecuentemente llevan cantidades de agua que impiden las operaciones mineras en su lecho o en las regiones de las orillas del río. Por eso, las operaciones de beneficio tienen que estar por encima del nivel de aguas altas o ser semimóviles de modo que puedan ser trasladadas al comenzar la temporada de lluvias.

Finalmente la forma de grano del oro tanto en los yacimientos sedimentarios como también después de la trituración es frecuentemente desfavorable para el beneficio hidromecánico gravimétrico. Los granos de pequeños tamaños en forma de escamas aplastadas son muy difíciles de concentrar gravimétricamente a pesar de la alta densidad específica del oro.



Canaleta natural en la tierra para la preconcentración de placeres auríferos. Con trancas de madera (cachos) el material liviano depositado encima es desechado, Río Telembi en Barbacoas, Nariño, Colombia (ver también 14.7)

## D.6.2 PROCESOS ALTERNATIVOS

De las técnicas generales de beneficio de minerales se emplean muchas especialmente para el beneficio de minerales auríferos. Entre ellas se deben diferenciar los métodos que como procesos de producción de preconcentrados no pueden

enriquecer concentrados finales comercializables y aquellos métodos que producen como producto final concentrados de oro de entre 90 y > 99 %. Estas alternativas están resumidas en las dos siguientes tablas. Las técnicas apropiadas para la Pequeña Minería están marcadas en negrilla.

Tabla: Métodos de beneficio de minerales auríferos para producción de preconcentrados

Clase de separación	Nombre	Pasos	Aparatos	Reactivos
mecánica	<b>BENEFICIO GRAVIMETRICO</b>	Concentración	Bates, Jigs, Canaletas (mojado + aéreo), Mesas (mojado + aéreo), Piel de animal, Centrifugas concentradoras, Espirales concentradores, Ciclón CBC, Trampas para material pesado	
	<b>SEPARACION POR MEDIO DENSO</b>	Beneficio por medio denso	Separador de medio denso, Matraz de vidrio	Metawolframato = 3.1 g/cm <sup>3</sup>
eléctrica	<b>BENEFICIO ELECTROSTATICO</b>		Separador electrostático	
tensión superficial mecánica	<b>FLOTACION</b> - indirecta	Acondicionamiento, Concentración, Lavado	Tanque de acondicionamiento, Celda de flotación	Espumante, Colector, Depresor, Activadores
	- directa	Acondicionamiento, Concentración, Lavado		Regulador de pH
magnética	<b>SEPARACION MAGNETICA</b>	Concentración	Separador magnético	

\* Solo como método analítico

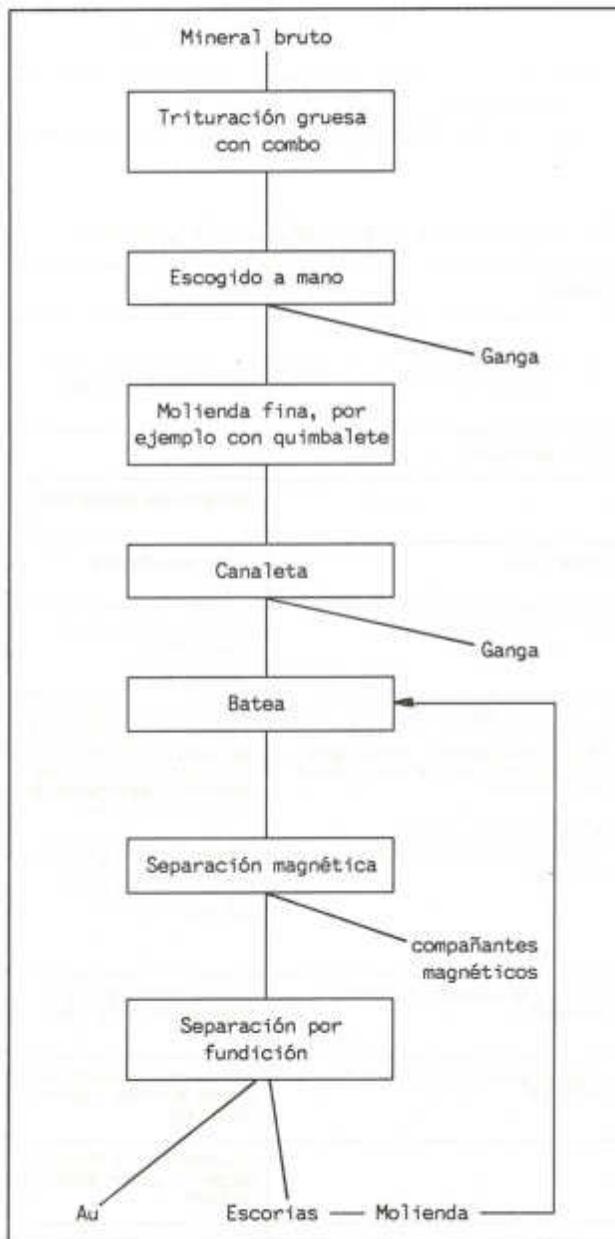
Tabla: Métodos de beneficio de preconcentración auríferos a concentrados de oro comercializables de gran valor

Clase de separación	Nombre	Pasos	Aparatos	Reactivos
mecánica	<b>ESCOGIDO A MANO</b>			
	AGLOMERACION CARBON ORO	Aglomeración, Separación, Destilación	Aparato para la reacción	Aceite, Carbón, Activado
térmica	<b>TOSTACION Y CRIBADO</b>	Tostación, cribado	Horno de tostación	
	VOLATILIZACION DE ORO	Tostación clorizada, Volatilización		Sal de cocina, Gas de cloro
	<b>SEPARACION POR FUNDICION</b>	Fundición, Separación del oro	Horno, Crisol	Bórax, Soda, Potasa
	<b>DOKIMASIA ENSAYO AL FUEGO</b>	Fundición con colectores de oro, Separación, Copelación	Horno de mufla, Crisol, Copela	Plomo de prueba, Bórax, Soda, Potasa
química	<b>AMALGAMACION</b> con circuito de mercurio cerrado a abierto	Aleación, Separación, Destilación	En Bocarte, Trapiche, Tambor de amalgamación, Trampas para el oro, Canaletas, Mesa de amalgamación, Batea, Centrifuga, Prensa de amalgamación, Matraz de destilación	Mercurio, eventualmente hidróxido de sodio, amalgama de sodio, Cloruro de amonio, Cianuro o ácido nítrico para unión de perlas finísimas de mercurio, tensoactivos
	<b>LIXIVIACION CON CIANURO</b> como Lixiviación en pilas, Lixiviación en tanques, Lixiviación de agitación con procesos Merrill-Crowe, CIP-, CIC-, CL- o precipitación de zinc	Solución química como complejo, Adsorción, Destilación	Tanques de lixiviación, Aparatos de adsorción	Cianuro de sodio, CaO para ajustar el valor pH, Zinc, (evit + PbNO <sub>3</sub> ) o Carbón activado
	LIXIVIACION CON TIUREA	Solución química como complejo, Adsorción, Destilación	Tanques de lixiviación, Aparatos de adsorción	Tiurea, Reactivos de pH, Polvo de Al o de Fe, SO <sub>2</sub>
	CLORINACION PROCESO BIO-D-LEACHANT	Formación de complejos halógenos (p.ej. complejo de tetracloro)	Tanques de reacción, Tanques de lixiviación	Gas de cloro, Bromodimetil hidrato (complejo orgánico de bromo)
	LIXIVIACION BRINE			Soluciones de sal, Peróxido de permanganeso, Acido sulfúrico
	LIXIVIACION CON SOLUCIONES DE TIOSULFATO, RODONATO, POLISULFURO O DE NITRILLO			
biológica	LIXIVIACION BACTERIAL			Bacterias, aire como medio de oxidación

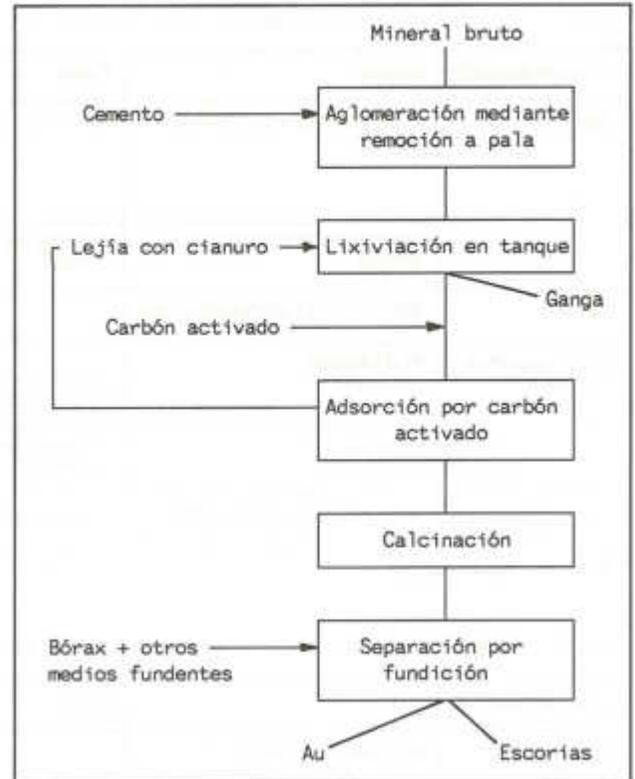
\* Solo como método analítico

### D.6.3 DESARROLLO DE PROCESOS

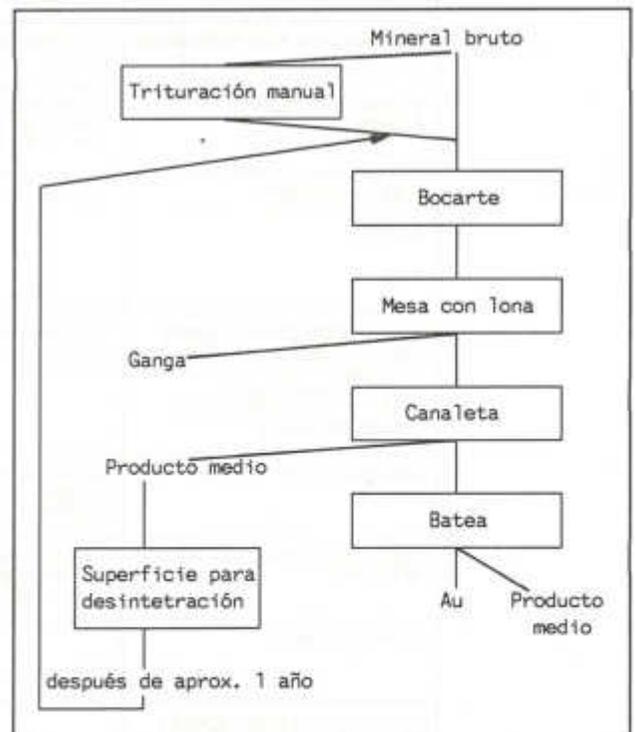
Según la clase del mineral bruto y las posibilidades de la mina en relación al equipamiento con bienes de inversión para el beneficio siempre se dan desarrollos de procesos que concluyen en un método para la producción de concentrados finales. Algunos flujogramas escogidos del beneficio del oro de diferente tamaño y mineral bruto se exponen en las siguientes páginas.



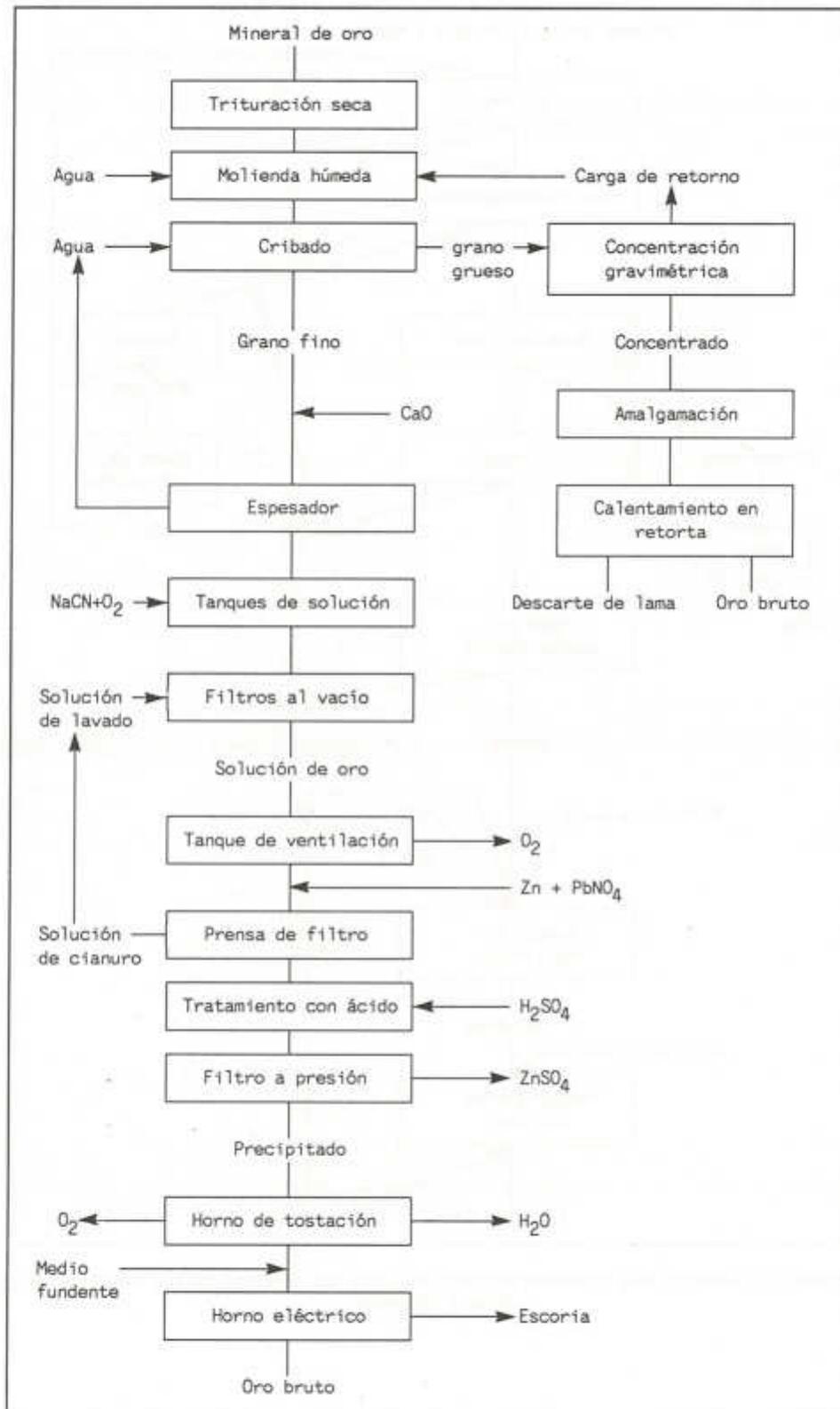
Flujograma de una planta manual de beneficio de mineral aurífero a pequeña escala en la minería filipina



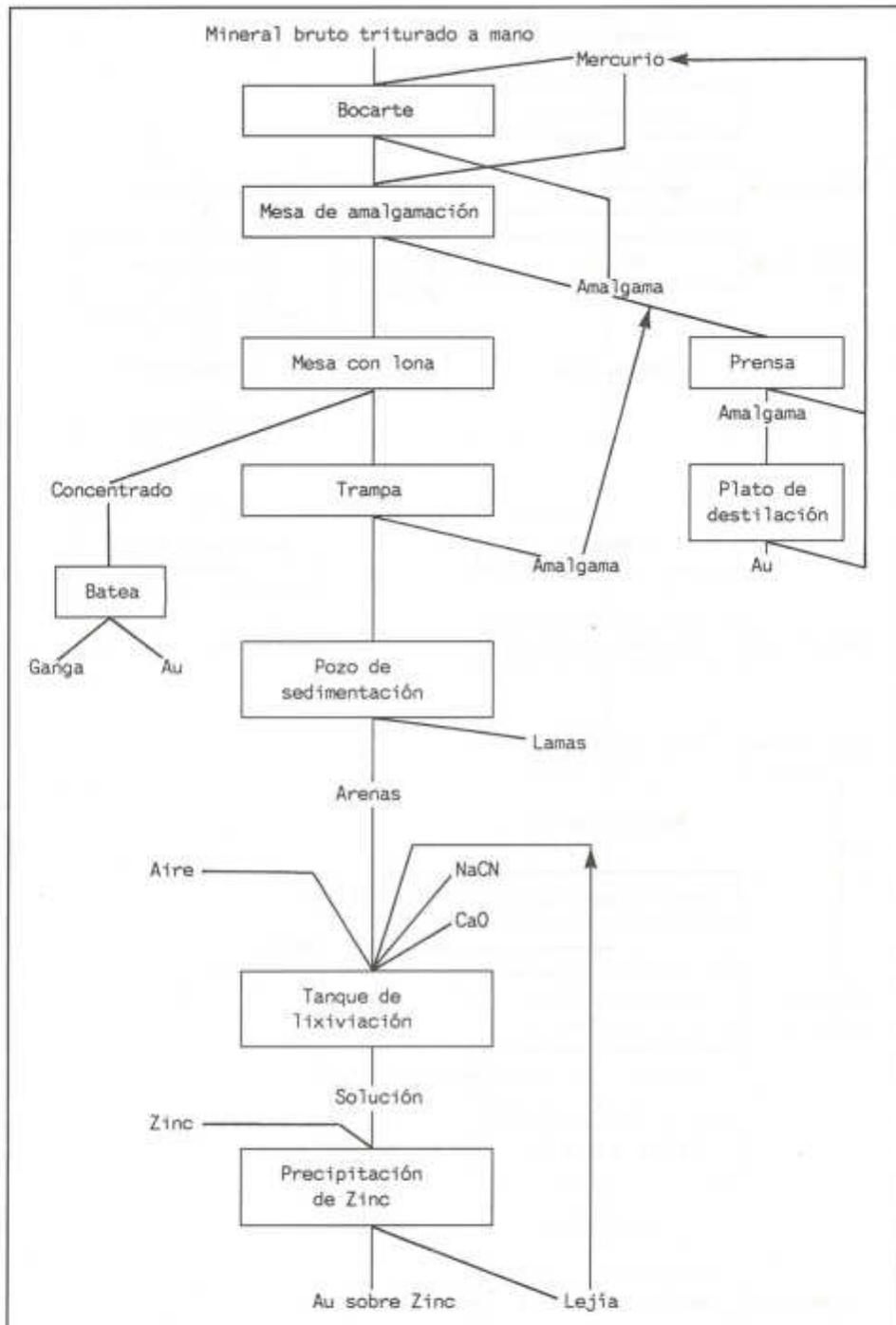
Flujograma de una lixiviación en recipiente a pequeña escala de colas con oro libre y adsorción con carbón activado fabricado localmente, Brasil.



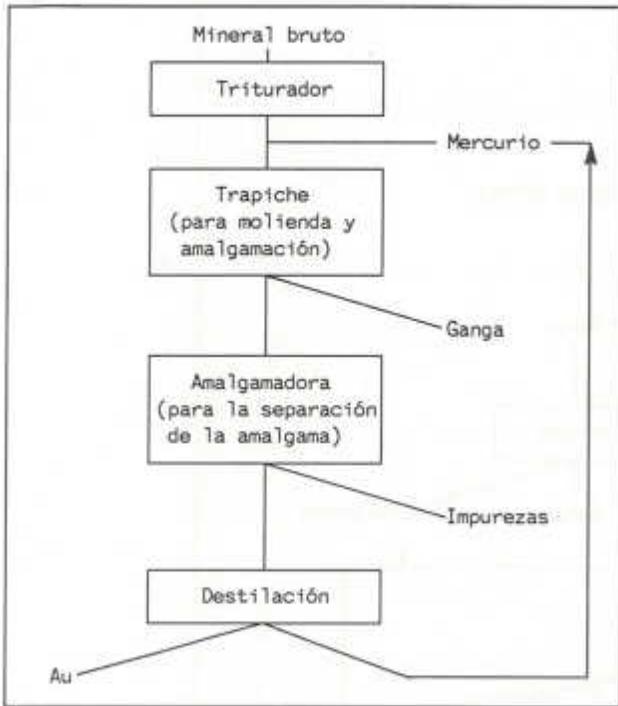
Flujograma de una pequeña planta de beneficio gravimétrico para minerales auríferos primarios en el andino Nariño, Colombia.



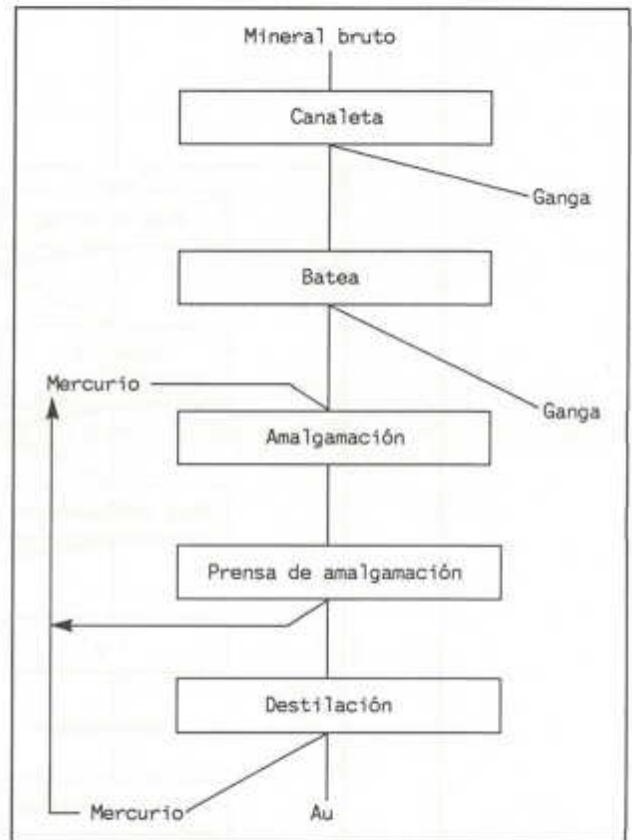
Fujograma de una planta de beneficio grande mecanizada para minerales auríferos primarios con un proceso combinado gravimétrico y de lixiviación. Los preconcentrados recuperados hidromecánicamente son amalgamados, el material fino tratado por lixiviación en tanque y por el proceso de Merrill-Crowe y refinado por separación de fundición.



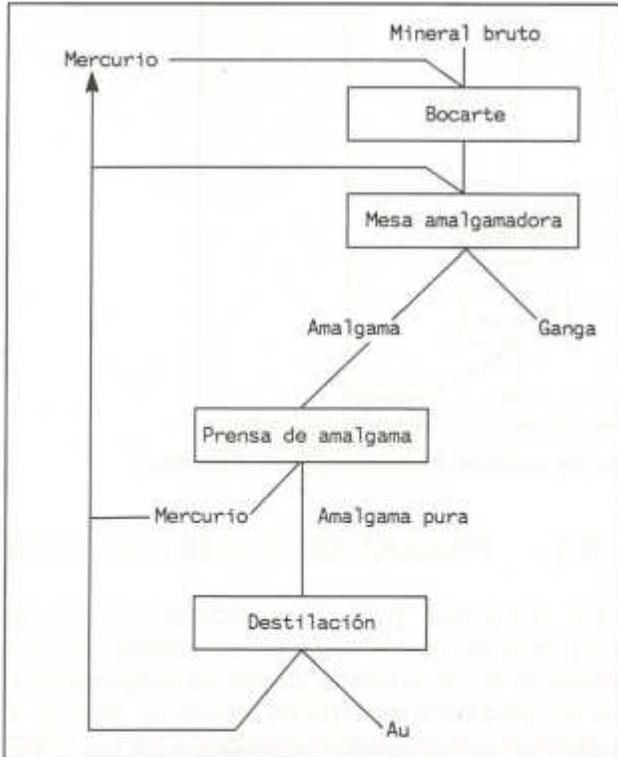
Flujograma de una planta de beneficio para minerales primarios auríferos con amalgamación y lixiviación de la mina Los Guavos, Nariño, Colombia.



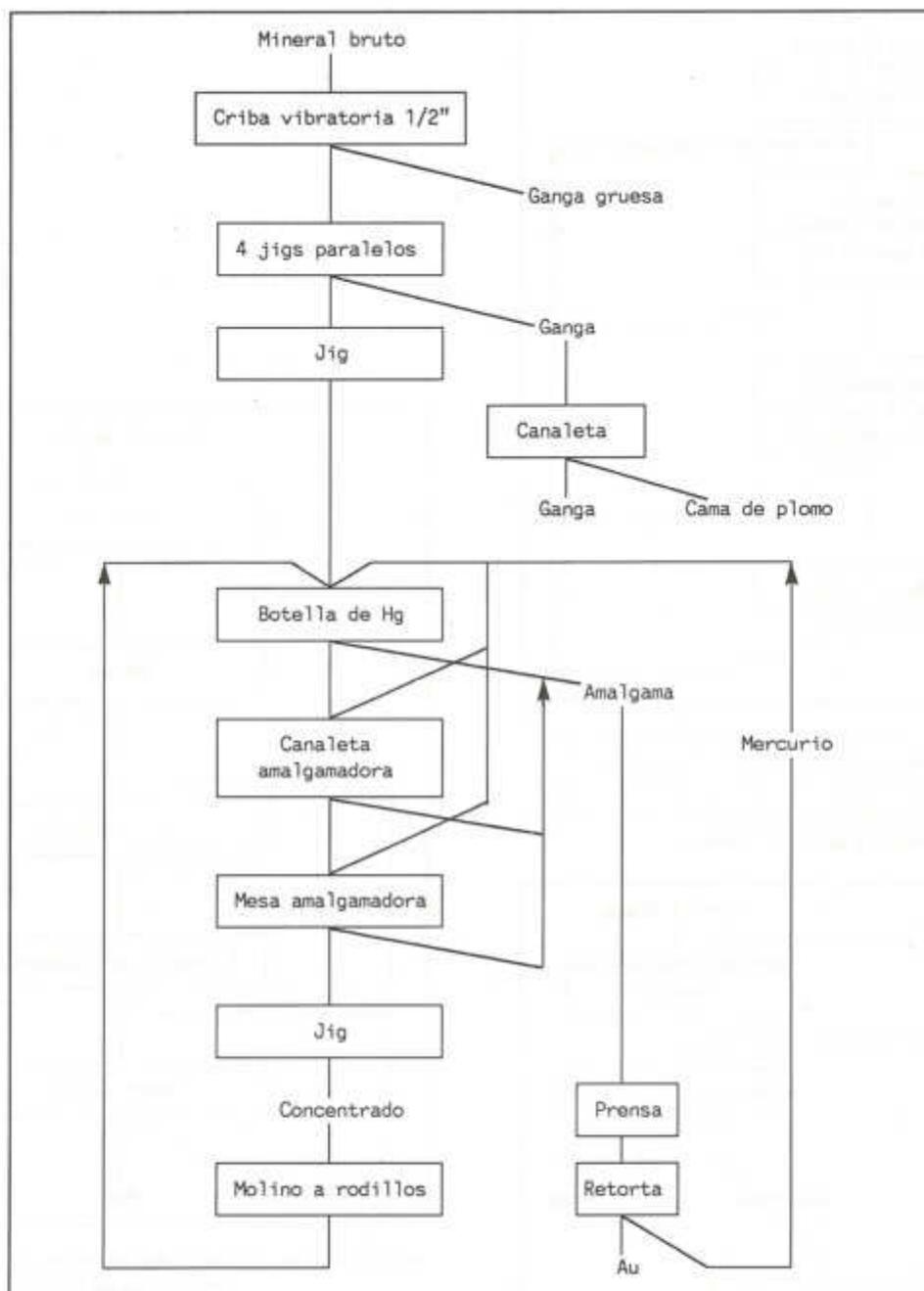
Flujograma de una planta de beneficio mecanizada para minerales de oro primarios de Bolivia (Mina Luchusa/Departamento La Paz), la cual es también sin embargo típica para operaciones pequeñas y medianas en la minería aurífera chilena.



Flujograma de una pequeña planta de beneficio manual de oro aluvial en Brasil.



Flujograma de una planta de beneficio aurífera pequeña en la minería filoniana del Ecuador.



Flujograma de una planta de beneficio mecanizada de oro de placer en Barbacoas, Nariño, Colombia

En la Pequeña Minería aurífera en los países en desarrollo tiene significado predominante la gravimetría para la producción de preconcentrados y la amalgamación para la producción de productos finales comercializables. Las optimizaciones técnicas para el aumento de la recuperación y de las leyes de los productos previos, como se propuso en las partes técnicas correspondientes, juegan un rol importante en el mejoramiento de los resultados de las operaciones.

#### D.6.4 PRODUCCION DE SUBPRODUCTOS

Otra estrategia para el mejoramiento de la economía de operaciones de explotación de oro radica en la comercialización de los subproductos. En los yacimientos primarios decide la génesis, y con ella la composición mineralógica paragenética del yacimiento, sobre los subproductos económicamente recuperables.

Estos pueden ser:

- Antimonita
- Calcopirita
- Minerales de uranio
- Galena
- Scheelita
- Minerales de bismuto
- Plata y Minerales de plata
- Esfalerita

y muchos otros.

## PLACERES AURIFEROS

Los placeres de minerales pesados fluviales, entre los cuales se cuentan los importantes yacimientos de oro, representan las deposiciones físicas de minerales pesados resistentes a la erosión, de tal manera que el oro buscado está acompañado paragenéticamente de varios otros minerales adicionales. Estos en parte se pueden recuperar fácilmente como subproductos y comercializarlos en forma separada (el nombre del mineral de estos productos está impreso en negrillos y marcado con \*).

Tabla: Composición potencial de placeres de oro con sus principales propiedades

Mineral	Fórmula química	Color	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Dureza según Mohs	Observaciones
Oro puro *	Au(+Ag)	oro amarillo	15.6 - 19.3	2.5	
Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	negro	5.2	5.5 - 6.5	brillante, fuertemente magnético
Ilmenita	(Mg,Fe)TiO <sub>3</sub>	negro	4.5 - 5.0	5.6	debilmente magnético
Granate	M <sup>2+</sup> <sub>3</sub> M <sup>3+</sup> <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>32</sub>	rojo, marrón	3.8	6.5 - 7.5	brillo vidrioso, cristales redondeados
Circón *	ZrSiO <sub>4</sub>	marrón, amarillo claro, incoloro	4.7	7.5	brillo diamantino
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	gris acerado oscuro, negro	4.9 - 5.3	5.5 - 6.5	granos redondeados
Cromita	FeCr <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	negro ferroso - negro marrón	4.1 - 4.9	5.5	eventualmente debilmente magnético
Olivino	(Mg,Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	verde oliva	3.3 - 3.4	6.5 - 7.0	brillo vidrioso, transparente hasta diáfano, buena divisibilidad
Epidota	HCa <sub>2</sub> (Al,Fe) <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>11</sub> V <sub>3</sub>	verde pistacho	3.2 - 3.5	6.7	
Pirita	FeS <sub>2</sub>	amarillo bronce	4.9 - 5.1	6.0 - 6.5	granos esquinados, brillo metálico
Monacita *	(Ce,La,Di)PO <sub>4</sub> +ThO <sub>2</sub>	amarillo	4.9 - 5.3	5.0 - 5.5	brillo resinoso o grasoso, granos redondeados
Limonita	2Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·3H <sub>2</sub> O	marrón oscuro	3.6 - 4.0	5.0 - 5.5	
Rutilo	TiO <sub>2</sub>	marrón rojizo rojo	4.2	6.0 - 6.5	brillo metálico diamantino
Platino *	Pt (también posible Ir)	blanco acerado	16.5 - 18.0	4.0 - 4.5	malleable, laminillas + granitos
Iridio *	Ir (también Pt, etc.)	blanco plata tira a gris	22.6 - 22.8	6.7	granos esquinados
Osmio-iridio *	Ir, Os	blanco estañífero hasta gris acerado	19.3 - 21.1	6.7	granos planos, duro, bien fisiónable

Mineral	Fórmula química	Color	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Dureza según Mohs	Observaciones
Cinabrio	HgS	rojo	8.0 - 8.2	2.0 - 2.5	
Wolframita *	(Fe,Mn)WO <sub>4</sub>	negro, gris oscuro	7.2 - 7.5	5.0 - 5.5	brillo semimetálico, buena divisibilidad en una dirección
Scheelita *	CaWO <sub>4</sub>	blanco, amarillo claro, marrón o gris	5.9 - 6.1	4.5 - 5.0	brillo diamantino hasta grasoso, diáfano
Casiterita*	SnO <sub>2</sub>	marrón o negro	6.8 - 7.1	6.0 - 7.0	friable, granos redondeados
Corindón *	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	marrón, amarillo	3.9 - 4.1	9.0	brillo diamantino hasta vidrioso
Safiro	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	azul	3.9 - 4.1	9.0	brillo diamantino hasta vidrioso
Rubí	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	rojo	3.9 - 4.1	9.0	brillo diamantino hasta vidrioso
Diamante *	C	blanco, incoloro pálido	3.5	10.0	brillo diamantino hasta grasoso
Mercurio nativo	Hg	blanco estañífero	13.6		pequeñas bolas líquidas opacas
Amalgama	Hg,Ag,Au	blanco plata	13.0 - 14.0		friable hasta duro
Galena	PbS	gris plomizo	7.4 - 7.6	2.5 - 2.7	brillo metálico, buena divisibilidad cúbica, quebradizo
Plata *	Ag	blanco plata	10.1 - 11.1	2.5 - 3.0	duro, maleable, coloración negra
Cobre	Cu	marrón rojizo	8.8 - 8.9	2.5 - 3.0	duro, flexible
Bismuto	Bi	blanco estañífero	9.8	2.5	friable, brillo metálico
Cerusita	PbCO <sub>3</sub>	incoloro, blanco	6.5	3.0 - 3.5	brillo diamantino
Columbita * Tantalita	(Fe,Mn)(Nb,Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	negro ferroso, gris, marrón-negro	5.3 - 7.3	6.0	brillo irisado semimetálico, buena divisibilidad
Cuarzo	SiO <sub>2</sub>	incoloro	2.6	7.0	brillo vidrioso o grasoso, ninguna divisibilidad
Feldespato	Silicato con K,Na, Ca,Al,etc.	incoloro, blanco, amarillo claro, crema, rosado	2.5 - 2.7	6.0 - 6.5	buena divisibilidad, brillo vidrioso

#### D.6.5 PROBLEMATICA TECNICA Y ECOLOGICA DE LA AMALGAMACION

La amalgamación es uno de los procesos más importantes de la recuperación de oro en la Pequeña Minería en los países en desarrollo. El oro en el lodo del mineral es ligado con mercurio formando así la amalgama, la cual mediante calentamiento es separada en oro y vapor de mercurio.

La sencillez de esta técnica y su buena recuperación de oro favorecen a la amalgamación en los ojos de los pequeños mineros. Sin embargo, los riesgos para la salud y los peligros ecológicos no se toman en cuenta. Debido a la deficiente aplicación del proceso se reciben siempre nuevas denuncias de los países en desarrollo sobre envenenamientos masivos con mercurio que lamentablemente no se pueden calificar como accidentes aislados. También de Latinoamérica, donde según apreciaciones ya se encuentran trabajando directamente en la minería del oro

1 millón de personas; solamente en el Brasil son más de 650.000 personas. Otros países productores de oro importantes de Sudamérica con problemas son Bolivia, Chile, Ecuador, Colombia, Venezuela y Surinam. Pero también de países de otros continentes, por ejemplo, de las Filipinas, Nueva Guinea y Ghana son conocidos los crecientes problemas de contaminación ambiental por el uso del mercurio.

La sensibilización en el Brasil en cuanto a los problemas ecológicos en relación con la exterminación de los bosques tropicales ha llevado a que la investigación sobre la problemática del mercurio sea aquí reforzada.

Apenas existen cifras exactas sobre la magnitud de la inmisión de Hg en el ecosistema tropical, sobre todo debido a que no se dispone de estadísticas de las compras de mercurio por parte de la Pequeña Minería y a que la producción real de oro, la cual permite deducciones, es marcadamente superior a la anunciada oficialmente. Según datos brasileños el consumo se mueve entre 35 y 200 t Hg/a. La última prohibición de mercurio decretada en Brasil ha quedado ampliamente sin efecto.

#### D.6.5.1 TOXICOLOGIA DEL MERCURIO Y DE SUS COMBINACIONES

La toxicidad del mercurio depende fuertemente de la clase de combinación y del estado de oxidación del mercurio.

El mercurio en forma de vapor, como el que deja libre la destilación de la amalgama en circuito abierto es reabsorbido por el pulmón del organismo humano hasta en aproximadamente 75-80%. Llega a los riñones por medio de la sangre y es eliminado del cuerpo como combinaciones de mercurio y albúmina con un período de semidesintegración de aprox. 2 meses. El efecto tóxico se debe a los iones de  $\text{Hg}^{2+}$ . Los síntomas de un agudo envenenamiento debido a inhalaciones de vapor de mercurio se presentan por fases:

1. Cólicos, vómitos e inflamaciones del estómago e intestino
2. Dolores de riñones y de uretra
3. Inflamación aguda del intestino
4. Formación de abscesos en las encías (Stomatitis mercurialis), unido a una fuerte sensibilidad ante la luz (Fotofobia).

En caso de inhalar vapor de mercurio por mucho tiempo se presentan envenenamientos crónicos (Mercurialismus). Los síntomas son:

- Formación de úlcera
- Deposiciones de  $\text{HgS}$  en el cuerpo
- Convulsiones y
- Trastornos en el habla, debilidad en la concentración y otros.

Un gran número de "garimpeiros" (buscadores de oro en portugués brasileiro) está afectado por agudos y crónicos envenenamientos por mercurio.

Las combinaciones inorgánicas de  $\text{Hg}^{2+}$  muestran efectos de intoxicación semejantes.

Las combinaciones orgánicas de mercurio, sobre todo el metilmercurio ( $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ), son altamente tóxicas para el hombre. Se ingieren por la alimentación y debido a su estabilidad y magridez son absorbidas por la sangre produciendo daños en los extremos de los nervios.

El mercurio metálico no es asimilado por el cuerpo y no es tóxico en esa forma.

#### D.6.5.2 CIRCUITO DEL MERCURIO

El mercurio liberado en la atmósfera mediante la evaporación con el paso del tiempo y bajo la influencia del ozono, de la humedad, del aire y de los rayos ultravioletas se oxida a  $\text{Hg}^{2+}$  y  $\text{Hg}^+$ . Las precipitaciones transportan estos iones al suelo. Otros detalles sobre el circuito del mercurio en la biosfera y el registro del mercurio metálico por medio de la minería se pueden obtener del dibujo de la página 242. Las transformaciones bacteriales anaeróbicas pueden conducir a una metilización del mercurio, sobre todo en un ecosistema acuático y en el suelo.

Las combinaciones inorgánicas y orgánicas del mercurio mencionadas arriba llegan al cuerpo humano por medio del agua potable, de la alimentación y del aire que se respira. Un punto crítico especial es la concentración de mercurio mediante la cadena alimenticia de los peces, los cuales pueden acumular este elemento en su organismo en un mayor porcentaje en comparación a la concentración de su medio ambiente. Este efecto se multiplica debido al hecho de que la transformación de mercurio en metilmercurio y su absorción en aguas (en función

de la temperatura y de las condiciones de Eh-pH) calientes tropicales es especialmente alta.

Nuevas investigaciones del ecosistema brasilero dieron como resultado marcadas extralimitaciones de los valores límites válidos MAK y WHO para el mercurio y sus combinaciones (ver datos enmarcados).

Valores límites WHO y MAK para mercurio		
Agua potable		máx. 4 $\mu\text{g/l}$
Pescado	o bien	máx. 0.5 $\mu\text{g/g}$ peso fresco;
	o	máx. 0.2 mg Metil-Hg por persona y semana
		máx. 0.3 mg Hg inorgánico
Frutas del campo		máx. 0.03 mg/kg peso fresco
Aire de respirar	para Hg <sup>0</sup>	máx. 0.1 mg/m <sup>3</sup> (MAK)
	para combinaciones orgánicas de Hg	máx. 0.01 mg/m <sup>3</sup> (MAK)

Se comprobaron contenidos de Hg en:

agua potable hasta	11 $\mu\text{g/ltr}$
peces hasta	2.7 $\mu\text{g/g}$ peso fresco
desove de peces hasta	3.8 $\mu\text{g/g}$
aire de respirar	0.3 mg/m <sup>3</sup>

(los últimos cerca de instalaciones de destilación de amalgama). Los valores extremos medidos sobrepasan las medidas referenciales correspondientes al agua potable en un factor de 250, en los peces en un factor de aproximadamente 300 y en el aire de respirar en el factor de 14.000. Lamentablemente se tuvo que comprobar que las concentraciones de Hg no están limitadas localmente, sino que producen anomalías significativas de Hg incluso a 200 km a la redonda de los lugares mineros.

Estas se manifiestan también en los valores medidos de Hg en la sangre humana, en la orina y en los cabellos, especialmente en comparación con los valores normales indicados entre paréntesis:

<u>en la sangre</u>	<u>en la orina</u>	<u>en los cabellos</u>
ppb Hg	ppb Hg	$\mu\text{g/g}$ masa seca
hasta 175	hasta 225	hasta 40.0
(10 - 13)	(0.5 - 8)	(0.7 - 3)

La población indígena se encuentra en forma especial fuertemente afectada por las epidemias de mercurio del medio ambiente, ya que ella se alimenta casi exclusivamente de las proximidades

del medio en que viven. Los peces del río constituyen para este grupo étnico la principal fuente de proteína animal. Además se suma en forma agravante la competencia con los invasores buscadores de oro por su hábitat.

### D.6.5.3 AMALGAMACION DEL ORO EN LA PEQUEÑA MINERIA

La primera utilización de la amalgamación para la recuperación del oro data supuestamente de la minería en Bosnia bajo el Emperador Nerón (54 - 68 después de Cristo). Hasta ahora la Pequeña Minería utiliza esta técnica en forma muy intensiva.

Para la amalgamación el grano de oro elemental es apropiado, liberado y no encostrado, por ejemplo mediante óxidos finos de Fe, con un tamaño de grano entre 2 mm y 20 - 50  $\mu\text{m}$ . El tamaño de grano menor es fuertemente determinado por las tensiones superficiales del mercurio y del agua como también por la forma del grano.

La amalgamación se usa tanto para **minerales sedimentarios** como también para los minerales primarios entrecrecidos. En la minería de los placeres el oro ya liberado se pone en contacto solo con el mercurio. Para esto sirven principalmente las canaletas con trancas, donde los espacios entre ellas se llenan con mercurio. Sobre las trancas pasa toda la carga que está en forma de suspensión en la pulpa. Sin embargo, durante el proceso la pulpa arranca de las trancas alrededor del 5 - 30 % del mercurio, para el cual generalmente no existe ninguna instalación de retención conectada en serie. La adición de grandes cantidades de jabones o tensoactivos similares puede aumentar el éxito del beneficio al disminuir la pérdida de mercurio.

Los **minerales primarios** exigen la liberación del mineral valioso. El minero amalgama tanto directamente durante la trituración como en un paso separado del proceso después de la molienda. Para la amalgamación y trituración simultánea la Pequeña Minería utiliza trapiches, bocartes, molinos a bolas o quimbaletes. Para la amalgamación posterior se emplean tambores de amalgamación, mesas de amalgamación (ver ficha técnica correspondiente) y para la amalgamación manual, la batea (chua) (ver foto página 239).



Amalgamación de preconcentrados en batea. El minero batanea el oro con una piedra grande en el mercurio. Guaysimi, Ecuador.

Las pérdidas de mercurio metálico en las instalaciones de concentración o bien de amalgamación son en promedio alrededor de 40-50 % del total de pérdidas. (ver dibujo página 242)

La mezcla de oro y amalgama recuperada es separada en la amalgama altamente viscosa ( $Au_2Hg$  y  $Au_3Hg$ ) y el mercurio líquido mediante el exprímido dentro de un cuero o paño (en general la camisa del minero).

La recuperación del oro se realiza mediante el calentamiento de la pella de amalgama envuelta en papel (con aproximadamente 50-60 % de peso de Hg, 40-50 % de Au) en un plato de cerámica abierto con la ayuda de un soplete para soldar bajo temperaturas de 350-600° C (ver foto inferior página 249). El mercurio evaporado llega directamente a la atmósfera, el que representa alrededor del 50-60 % del total de la emisión del mercurio.

Investigaciones de los autores en Ecuador y Colombia dieron como resultado que las retortas (ver ficha técnica 15.7) para la destilación del mercurio en circuito cerrado son conocidas y a menudo están a disposición, pero que éstas son usadas muy raras veces. Las principales causas son las coloraciones del oro después de la destilación en la retorta probablemente debido a las combinaciones de Fe-, lo que ocasiona una disminución del valor del producto por parte de los compradores. Este ejemplo muestra que también soluciones técnicas simples de problemas fracasan debido a la deficiente aceptación de los mineros pequeños o de los compradores. Se debería investigar hasta que punto podría alcanzarse una aceptación para la destilación en matraz mediante mejoras técnicas.

En algunos casos, especialmente cuando el mercurio se hace escaso, para la recuperación parcial de éste sirve el colocar una hoja fresca de plátano sobre el plato de evaporación en cuya superficie se condensa el mercurio.



Destilación de amalgama en circuito abierto en un plato de cerámica. Como fuente de calor sirve un soplete de soldar a bencina. Guaysimi, Ecuador.

#### D.6.5.4 MEDIOS PARA LA DISMINUCION DE LA LIBERACION DE MERCURIO DURANTE LA AMALGAMACION

Como se expuso en los párrafos anteriores, la emisión de mercurio puede suceder tanto en forma metálica durante la amalgamación como también en forma de vapor mediante la separación de la amalgama en mercurio y oro. Este capítulo pone a discusión medios para evitar ambas fuentes de contaminación.

**El mercurio metálico** es evacuado de los aparatos de amalgamación casi exclusivamente como mercurio machacado en forma de pequeñas perlas, el así llamado "floured mercury". Las superficies de estas pequeñas bolitas son por lo general inactivas debido a suciedades mecánicas (partículas de minerales finísimas, restos de aceite y grasa del agua y otros) o a transformaciones químicas (por ejemplo recubrimientos de amalgama de antimonio) y por la alta tensión superficial propia, o sea ellas no pueden amalgamar ni fusionar oro y son evacuadas por las altas velocidades de la pulpa.

Un impedimento de estas pérdidas de mercurio en la **minería filoniana** es posible mediante la separación de la amalgamación y trituración simultánea en trapiches (como en Chile) o en baterías de pisones (como en Ecuador y

Colombia) en dos pasos de proceso. Así se evita el efecto de las altas velocidades de la pulpa durante la amalgamación.

En la **minería aurífera de placeres** se debería, en lo posible, evitar el empleo del mercurio en las canaletas lavadoras las cuales especialmente evacuan grandes cantidades de mercurio en el medio ambiente. En vez de ellas se recomienda en ambos ramos mineros primeramente la producción de preconcentrados en lo posible de alto valor. Como aparatos apropiados para la concentración gravimétrica húmeda con alta producción específica se dispone, entre otros, de las centrifugas de lecho fluidizado (Knelson), separadores helicoidales, separadores de cono, jigs para granos finos con camas, mesas o canaletas mejoradas (ver fichas técnicas). Por medio de un enriquecimiento posterior mediante el desecho de minerales acompañantes por ejemplo separación magnética, se pueden mejorar aún más los preconcentrados.

Seguidamente se pueden amalgamar las cantidades de concentrados comparativamente pequeñas en instalaciones de amalgamación apropiadas como ser tambores de amalgamación cerrados (nombre local en Ecuador: chanco) o molinos de amalgamación (por ejemplo: Berdan pan). Estos aparatos permiten también la adición de reactivos para mejorar la actividad de la

superficie del mercurio, por ejemplo, NaOH, amalgama de sodio, cloruro de amonio, cianuro, ácido nítrico o tensoactivos.

Una medida mínima en operaciones en las que no es posible un cambio en el proceso sería la planificación de trampas conectadas en serie, las cuales retendrían el "floured mercury".

Para **evitar la liberación de vapor de mercurio** el "quemador" (aquel que destila la amalgama) tiene que destilar en un circuito cerrado de mercurio. Las prensas de amalgamación y las retortas de destilación bajan las pérdidas de mercurio hasta por debajo de 0.1 % por cada destilación. En la construcción de los matraces de destilación se debe prestar atención sobre todo en la elección de los materiales y en el sistema de refrigeración, de manera que los aparatos construidos sean agradables para el manejo.

Alternativamente la amalgama puede ser separada químicamente. En esta separación, el mercurio desprende ácido nítrico diluido caliente y el oro se precipita juntamente con lama. De la solución de nitrato de mercurio producida, nuevamente se precipita el mercurio con metales innobles. Los minerales con contenido de plata producen una sucesiva concentración de plata en el mercurio, la cual necesita de una destilación para su limpieza.

En general parece aconsejable la centralización de la amalgamación y/o destilación en la cual los mineros dejan procesar posteriormente preconcentrados o bien amalgamas en instalaciones centrales.

#### D.6.5.5 ALTERNATIVAS TECNICAS PARA LA SUSTITUCION DE LA AMALGAMACION

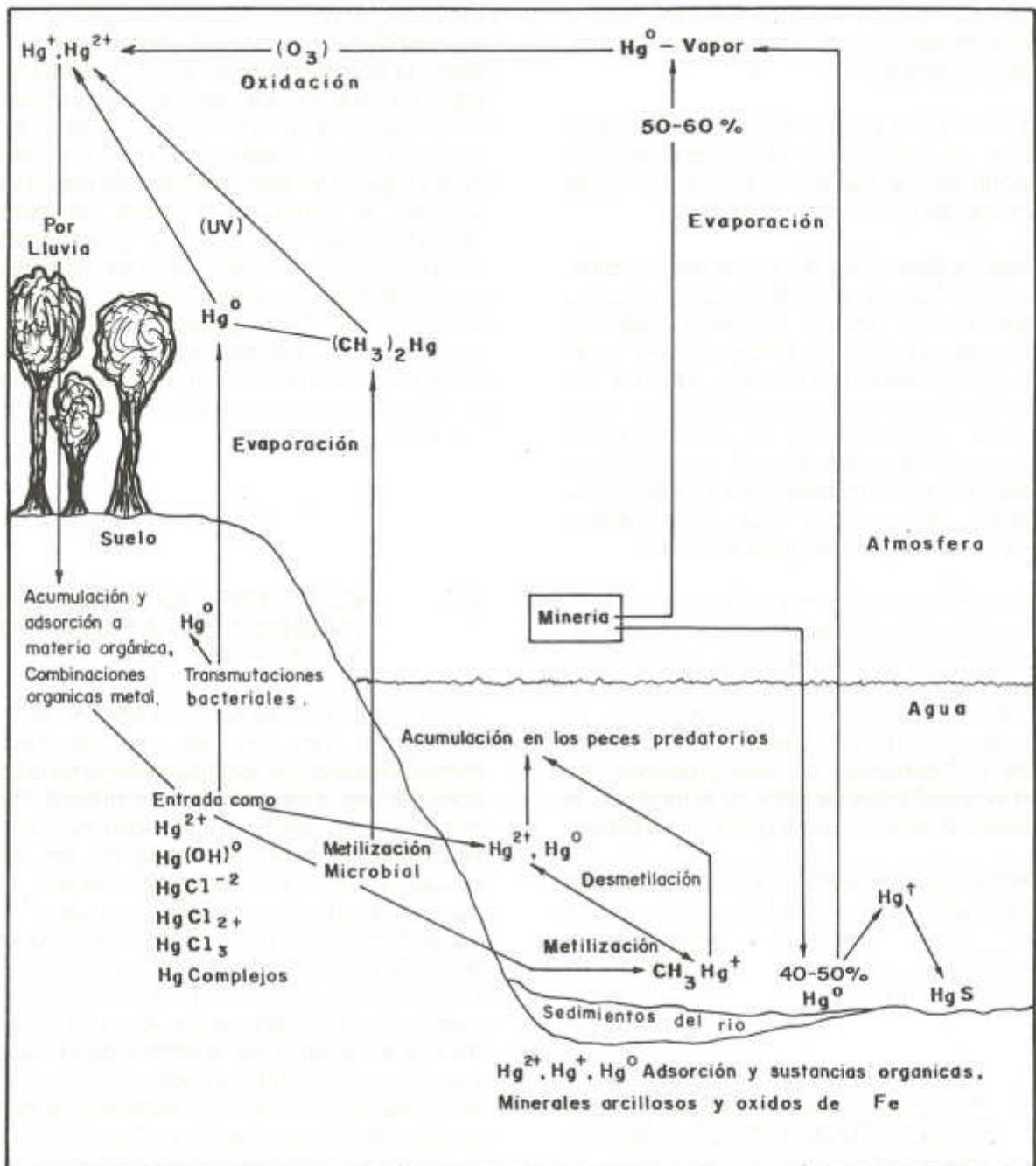
Como alternativas para la amalgamación se dispone de una variedad de métodos de recuperación de oro (ver tablas página 229). Sin embargo, la mayoría de estas técnicas no han encontrado aceptación hasta hoy en la minería. Se podría nombrar la "gold-coal-agglomeration", la cual desde su invención hace aprox. 70 años no ha encontrado cabida en la técnica del beneficio. Otros métodos, como por ejemplo la lixiviación con cianuro en la minería grande, han desplazado considerablemente la amalgamación. Debido a complicadas etapas de procedimiento, al difícil control, a la dependencia de grandes cantidades de reactivos, etc., estas técnicas, sin embargo, son

menos aptas para la Pequeña Minería. Los últimos desarrollos de la técnica del beneficio gravimétrico, como la concentración en campos centrífugos, el uso creciente de los aparatos vibradores o la combinación del beneficio gravimétrico con otros procesos físicos, corresponde más a la demanda de la Pequeña Minería. Esta clase de máquinas, por ejemplo la centrífuga Knelson, posibilitan la producción de muy valiosos preconcentrados, cuyas definitivas transformaciones en productos comercializables se realiza en otro y último paso del proceso. Este puede consistir en una separación del preconcentrado por fundición en oro y escoria con bórax como medio fundente - un proceso que por lo general lo realizan los mismos "mineros".

#### D.7 EL BENEFICIO DE MATERIAS PRIMAS FOSFATADAS PARA ABONOS DE P

Aproximadamente 85 % de los abonos de fósforo se extraen hoy en día de las fosforitas, mineralizaciones de fosfatos sedimentarios. Estas consisten en finos cristallitos de mineral. Para su empleo en los países en desarrollo es sobre todo interesante el beneficio simple de los abonos. Frecuentemente una aplicación directa de la materia prima no es práctica debido a que la solubilidad de la fosforita sin tratar es relativamente pequeña. Un medio de ayuda en este caso es una corta molienda activadora. Esta conduce a que por medio de la trituración de las estructuras del mineral se alcance un aumento de la superficie específica y mediante las fracturas de la textura de los cristallitos se aumente considerablemente la erosionabilidad y por medio de ella la solubilidad.

La segunda materia prima importante de los abonos de fosfatos es la apatita. Este mineral es todavía menos soluble que la fosforita. Si se aplica directamente la apatita en los campos el efecto de abono recién se daría después de 10 a 15 años. En la Pequeña Minería de Zambia actualmente se prepara un abono mineral bastante soluble a partir del mineral bruto de apatita con un contenido de alrededor de 10 a 20 % de  $PO_x$ , mediante reacciones con ácido sulfúrico. Operaciones pequeñas con capacidades hasta de 2t/d emplean mezcladoras de cemento como tanques para las reacciones en el tratamiento con ácido sulfúrico.



Dib.: Entrada y circuito del mercurio en el ecosistema debido a la minería del oro.

## Capítulo técnico 12: Trituración

### 12.1 TRITURADORA DE MANDIBULAS

**Minería en general  
(Mineral, Carbón  
Rocas + Suelos)**

**Beneficio  
Trituración**

Español:	chancadora de mandíbulas
Inglés:	jaw crusher
Aleman:	Backenbrecher, Knackwerk
Fabricante:	Millan, Volcan, Denver Perú, Denver USA, FUNSA, MAFUQUI, Alquexco, Eq. Ind. Astecnia, IAA, INCOMAQ, COMESA, FAHENA, FIMA, FUnD, Callao, H.M., MAGENSA, MAEPSA, Met. Callao E.P. S., Met. Mec. Soriano, Talleres Mejía, ASEA, FAMESA, MEPSA

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 0.7 x 0.7 x 1.5 m mínimo.
Peso:	aprox. 350 kg mínimo.
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado
Potencia motriz:	3 - 10 kW para $\leq 2$ t/h
Tipo de energía motriz:	eléctrica, motor a combustión, a diesel o a bencina.
Posibilidades alternativas:	con mucho éxito con impulso de turbina y transmisión.
Forma de trabajo:	continua
Producción/Rendimiento:	desde 350 kg/h

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	entre 1000 US\$ (350 kg/h) y 4000 US\$ (1.5 t/h), producción boliviana entre 4000 US\$ (1 t/h) y 18.000 US\$ (2 t/h) Precio CIF La Paz.
Costos de operación:	Costos de personal, costos de energía y bajos costos de reparación, desgaste de muelas.

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos  altos
Gastos de mantenimiento:	bajos  altos
Exigencias al personal:	pocas
Tamaños de granos de la alimentación:	según el modelo de la trituradora: aquí $\leq 20$ cm diámetro
Recuperación:	relación de trituración 5 : 1 hasta 10 : 1; el tamaño más pequeño de grano final aprox. 5 - 10 mm; puro esfuerzo de presión: tamaño de grano máximo de alimentación hasta 1.000 mm; material a triturar: aprox. 100 mm (principal margen de uso)
Aparato que puede reemplazar:	bocarte
Divulgación regional:	mundial
Experiencia del operador:	muy buena  mala
Contaminación ambiental:	baja  muy alta
Contaminación acústica y de polvo:	
Facilidad de fabricación local:	muy buena  mala
Bajo qué condiciones:	Empresas locales de construcción de maquinarias
Tiempo de vida:	muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Taggert, Schubert, v. Bernewitz, Priester, Gerth, DBM, Callon, Althaus

## 12.1 TRITURADORA DE MANDIBULAS

Minería en general  
(Mineral, Carbón  
Rocas + Suelos)

Beneficio  
Trituración

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

La trituradora de mandíbulas tritura la carga en un espacio en forma de cuña entre una muela fija y otra móvil. La muela móvil pendula alrededor de su eje (al lado de la alimentación) superior. En su parte inferior es movida por medio de un sistema de palanca acodado, accionado por un excéntrico, por lo que el espacio de trituración se agranda y achica. El grano es triturado durante la disminución del espacio de trituración y cuando éste se agranda el grano se desliza hacia abajo en el mismo espacio hasta que alcanza su tamaño final y cae por la abertura de la trituradora.

### FORMAS DE EMPLEO:

Pretrituración y trituración del mineral bruto.

### OBSERVACIONES:

La mecanización mediante turbinas es muy exitosa, en la cual el momento de rotación de arranque más favorable de las turbinas tiene un efecto positivo, por ejemplo, cuando la trituradora se tranca. El rendimiento se puede graduar mucho menos que con motor eléctrico.

El mineral bruto debe ser cribado previamente --> alimentación disminuída, costos de energía menores.

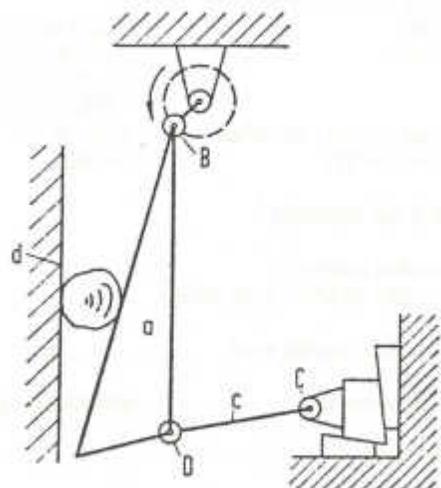
El desgaste de las muelas de la trituradora depende mucho de la tenacidad de la carga de alimentación, por ejemplo, los minerales ripiosos ricos en cuarzo pueden gastar un juego de muelas ya después de aprox. 30.000 t, los minerales de galenablanda en grauvaca después de aprox. 60.000 t y los minerales de hierro carbonatados incluso hasta después de 300.000 t (Gerth, et. al.).

Las trituradoras de mandíbulas finas trabajan con muelas más anchas y a mayor número de revoluciones, mayormente tienen una muela de forma cóncava de tal manera que el espacio de trituración se mueve casi en flancos paralelos. Esto disminuye la producción de grano finísimo.

El revestimiento de muelas de trituradoras con materiales de soldadura (11.1) conduce a una prolongación del tiempo de vida.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Desde el punto de vista constructivo las trituradoras de mandíbulas son las máquinas más sencillas para la trituración gruesa y también fabricables en talleres mecánicos de países en desarrollo. La introducción de trituradoras de mandíbula puede llevar a incrementos notorios del rendimiento en el beneficio.



Dib.: Principio de la trituradora oscilante, de Ullmann  
a palanca oscilante; c placa de apoyo; d placa de presión; B vástago del excéntrico; C soporte de la placa de apoyo.

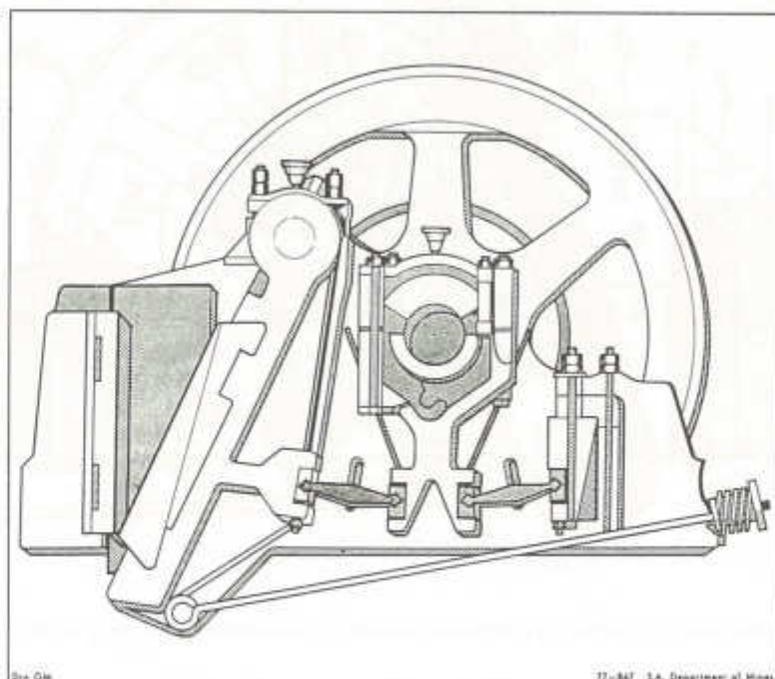
## 12.1 TRITURADORA DE MANDIBULAS

Minería en general  
(Mineral, Carbón  
Rocas + Suelos)

Beneficio  
Trituración



Trituradora de mandíbulas accionada por motor eléctrico y correa trapezoidal para la trituración de minerales de antimonio y oro en la Mina Luchusa, La Paz, Bolivia.

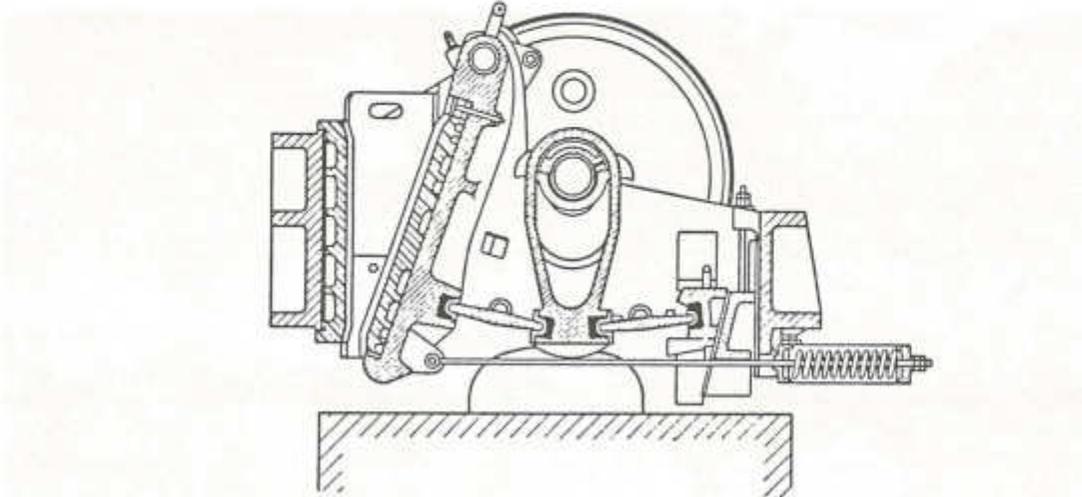


Dib.: Trituradora de mandíbulas, de Armstrong

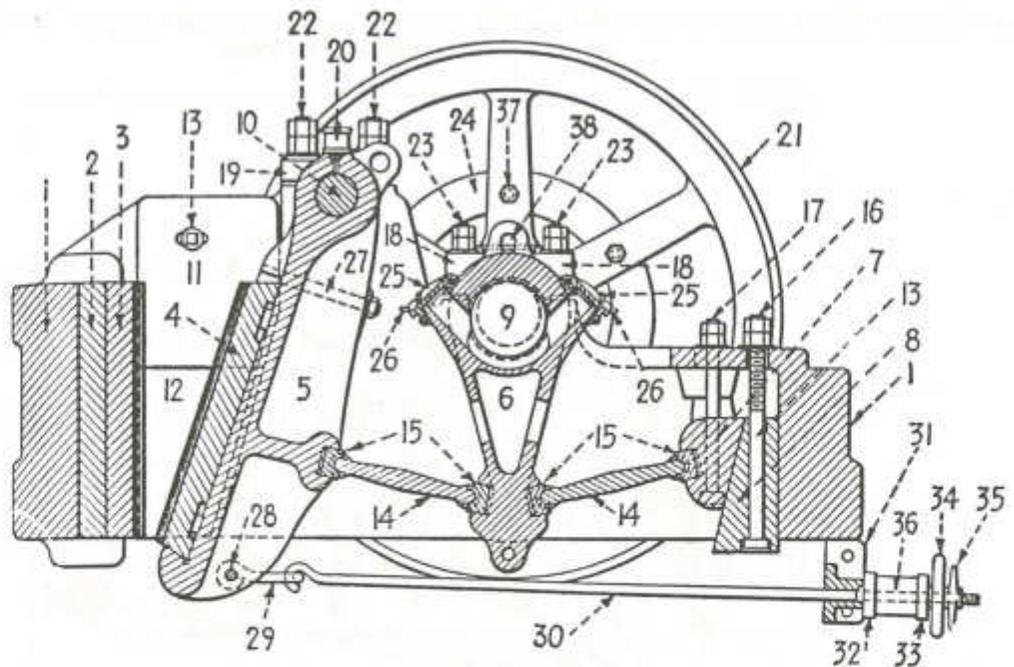
## 12.1 TRITURADORA DE MANDIBULAS

Minería en general  
(Mineral, Carbón  
Rocas + Suelos)

Beneficio  
Trituración



Dib.: Trituradora de mandíbulas, de Gerth



Dib.: Detalles de una trituradora de mandíbulas, de Bernewitz.

## 12.2 TRITURADORA DE RODILLOS

Minería en general  
(Mineral, Rocas + Suelos)

Beneficio  
Trituración

Español:	chancadora de rodillos, molino de discos, laminador, molinos a rodillos
Aleman:	Walzenbrecher, Walzwerk, Walzenmühlen
Fabricante:	Millan, Volcan, Denver

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 0.7 x 0.7 x 1.5 m, diámetro de rodillos desde 25 cm
Peso:	aprox. 350 kg
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado
Potencia motriz:	desde aprox. 5 kW
Tipo de energía motriz:	motor eléctrico, motor a combustión
Posibilidades alternativas:	eventualmente hidromecánica
Forma de trabajo:	continua
Producción/Rendimiento:	aprox. 700 kg/h
Grado de rendimiento técnico:	grados de trituración entre 3 : 1 y 4 : 1

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	Denver 2 t/h: 18.900 US\$, Volcan 500 kg/h: 5000 US\$, Millan FOB La Paz: aprox. 6500 DM motor incluido.
Costos de operación:	Bajo desgaste, costos de personal, costos de energía.

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal:	pocas		
Tamaño de grano de la alimentación:	> 20 - 25 mm (máx. 100 mm)		
Recuperación:	100 % < a 1.5 mm con distribución de granos especialmente homogénea		
Aparato que puede reemplazar:	molinos		
Divulgación regional:	poca, rara		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
sobre todo contaminación por polvo y ruido			
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller metal-mecánico capaz de tratar acero		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: M. Priester, Schennen, Treptow, Gerth, Callon, Schubert

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Dos rodillos que rotan en sentido contrario trituran el material de alimentación hasta que caiga por la ranura. Si las presiones son muy altas, los rodillos ceden hacia afuera y aumentan el ancho de la ranura y de esta manera, el tamaño final del grano.

### **FORMAS DE EMPLEO:**

Trituración de minerales frágiles para la preparación de la concentración gravimétrica hidromecánica de granos medianos.

## 12.2 TRITURADORA DE RODILLOS

Minería en general  
(Mineral, Rocas + Suelos)

Beneficio  
Trituración

### **OBSERVACIONES:**

Las trituradoras de rodillos se caracterizan por el bajo porcentaje de grano finísimo en el producto molido.

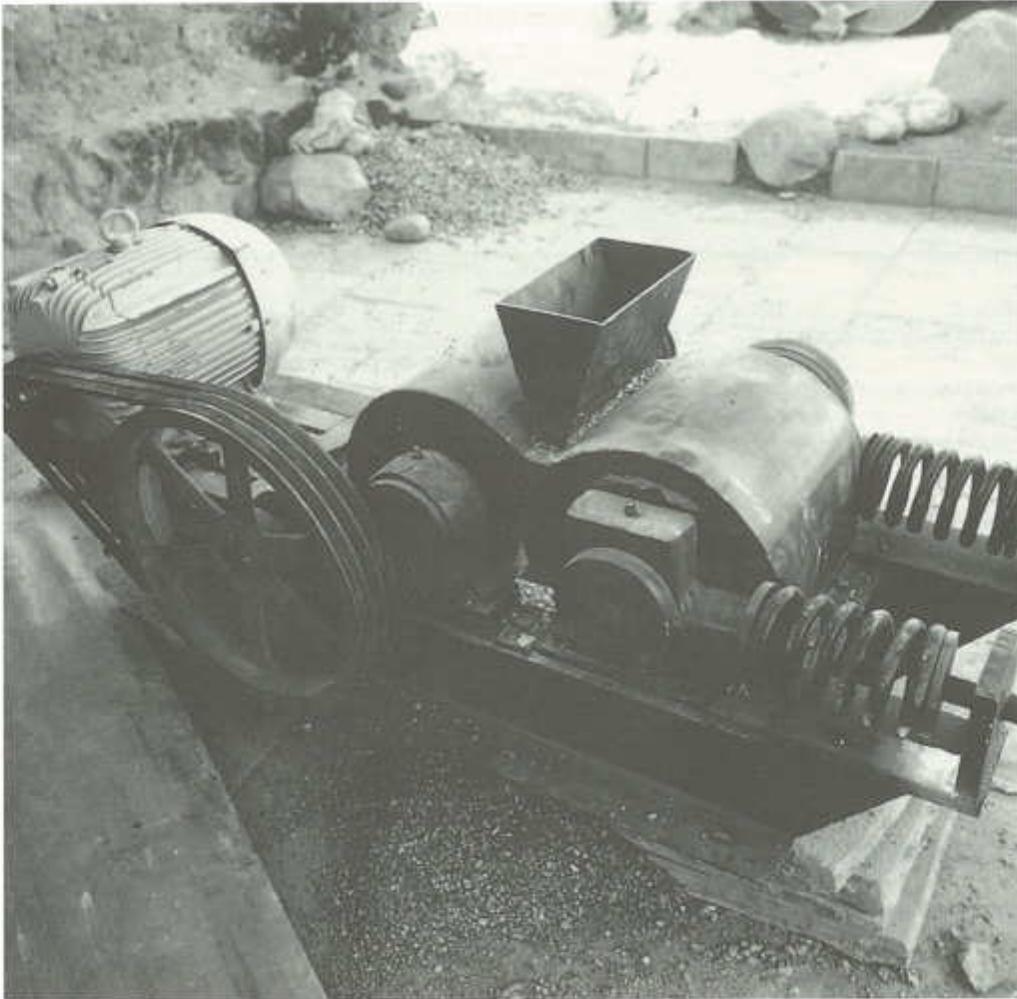
El desgaste es de 30 a 200 grs. de acero duro por tonelada de producción, según la dureza y tenacidad de la alimentación.

En las trituradoras de rodillos para trituración de material duro (rocas eruptivas, minerales duros, sedimentos pedernalinos), los rodillos son lisos; en las máquinas para trituración de material medianamente duro a suave (por ejemplo, cales, anhídrita, minerales de hierro sedimentario, etc. o bien sales, arcillas, lignito suave y otros) se usan rodillos estriados o dentados.

El diámetro del rodillo debe ser alrededor de 20 veces el tamaño superior del grano de la alimentación.

### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Las trituradoras de rodillo son maquinarias apropiadas para la trituración fina, la cual conduce a una amplia liberación de la alimentación en minerales con entrecrecimiento relativamente grueso, lo que en tal caso, hace innecesaria la molienda.

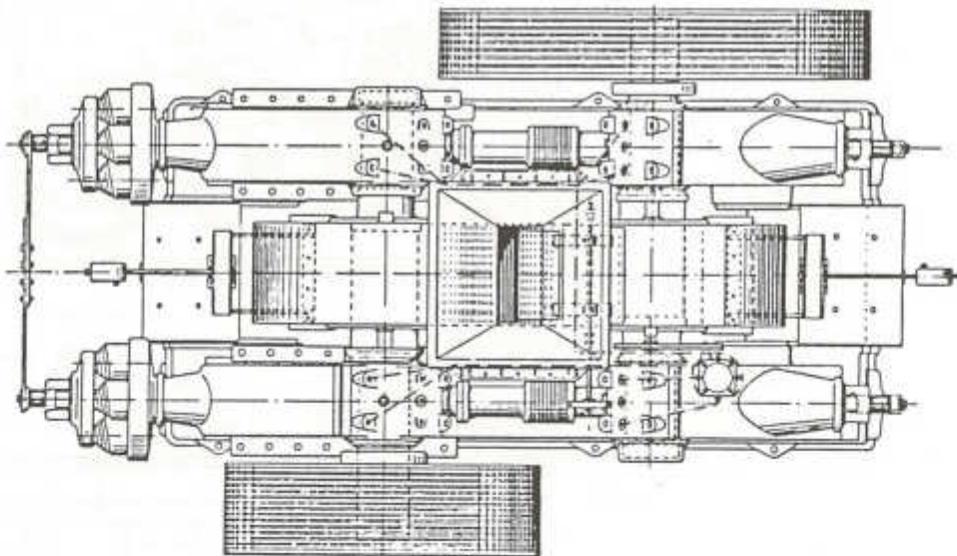
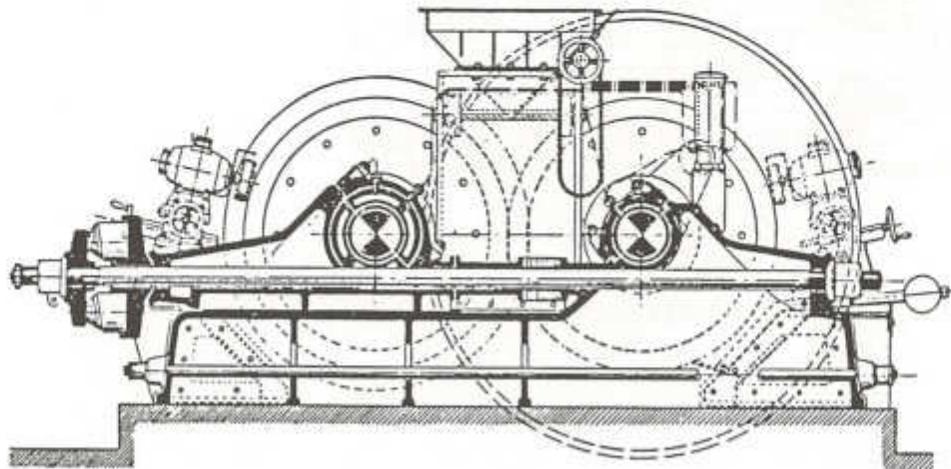


Chancadora de rodillos para la trituración fina de fabricación boliviana. Como fuerza motriz sirve un motor eléctrico de 5 kW. Precio alrededor de 6500 DM. Planta Piloto de la Cooperativa Villa Imperial, Potosí, Bolivia.

## 12.2 TRITURADORA DE RODILLOS

Minería en general  
(Mineral, Rocas + Suelos)

Beneficio  
Trituración

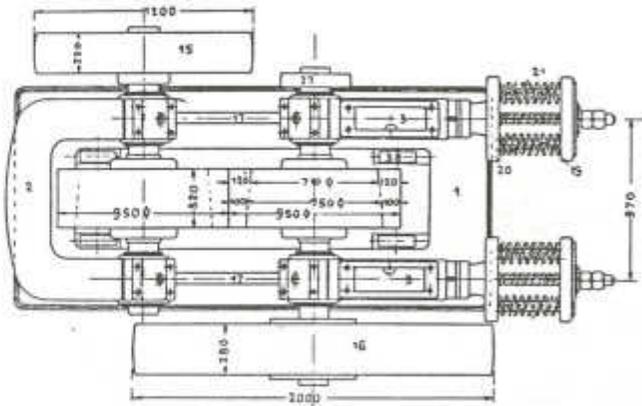


Dib.: Trituradora de rodillos, de Gerth  
arriba: vista lateral  
abajo: vista frontal

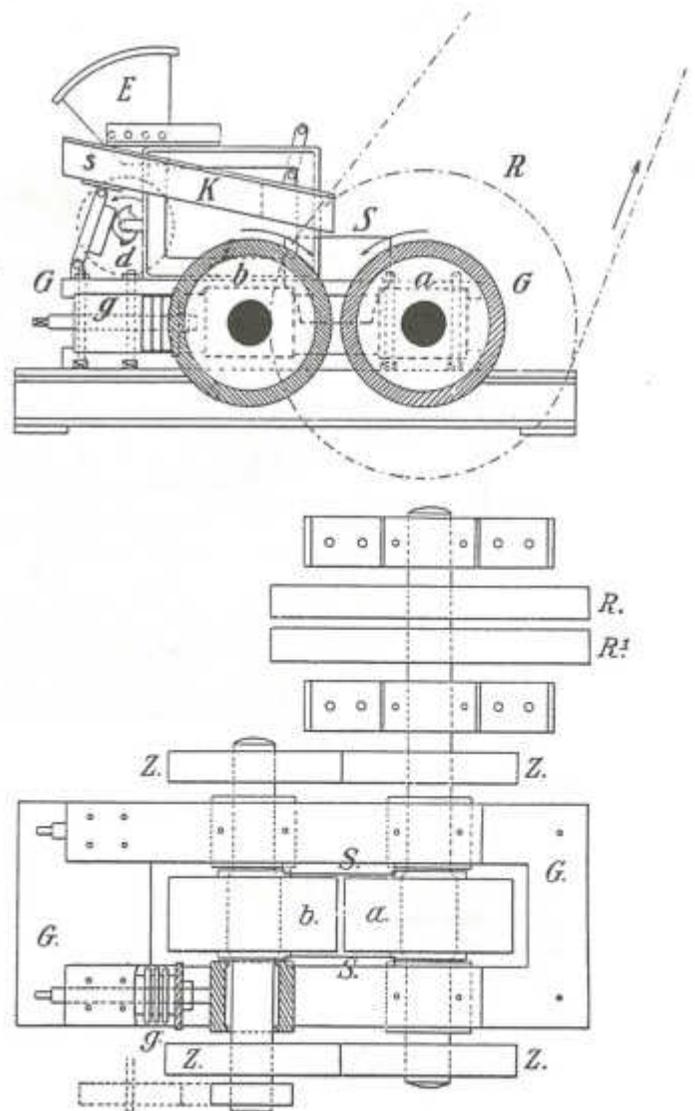
## 12.2 TRITURADORA DE RODILLOS

Minería en general  
(Mineral, Rocas + Suelos)

Beneficio  
Trituración



Dib.: Vista en planta de una trituradora de rodillos con rodillo oscilante, de Schennen



Dib.: Trituradora de rodillos, de Treptow  
arriba: vista lateral  
abajo: vista frontal

**12.3 MOLINO A BOLAS****Minería en general  
(Mineral, Rocas + Suelos)****Beneficio  
Trituración**

Español:	molino de bolas, molino de bolas a mano	
Inglés:	ballmill, manual ballmill	
Aleman:	Kugelmühle, Handkugelmühle	
Fabricante:	Millan, KHD, Volcán, Denver, Alquexco, Eq. Ind. Astecnia, IAA, Talleres Mejía, Buena Fortuna, COMESA, Met. Mec. Soriano, FAMESA, FAHENA, FIMA, Fund. Callao, H.M., MAGENSA, MAEPSA, Met. Callao E.P.S.	

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 1.5 x 1 x 1 m	
Peso:	aprox. 150 kg	
Grado de mecanización:	manual hasta totalmente mecanizado, según la clase de fuerza motriz	
Potencia motriz:	desde 100 W hasta varios kW	
Tipo de energía motriz:	eléctrica	
Posibilidades alternativas:	manual, accionamiento a pedal, hidromecánica con rueda hidráulica	
Forma de trabajo:	semicontinua/continua, por ejemplo, aprox. 7.5 kWh/t de demanda de energía para la trituración de minerales sulfurosos volcánicos; hasta 50 kWh/t para la molienda de cuarcitas duras o similares	
Producción/Rendimiento:	1 t/h : 11 - 12 kW	
Materia: Cuál:	agua	elementos moledores (bolas)
Cantidad:	volumen a granel alrededor de 25 - 45 % del contenido del molino	

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	molino a bolas manual: aprox. 1000 DM, fabricación local, Millán: 4500 US\$, Volcán: 10.000 US\$, Denver: 22.000 US\$ para molinos de capacidad de alrededor 1 t/h	
Costos de operación:	desgaste de los elementos moledores	
Costos derivados:	eventualmente espesador, debido a que el producto de la molienda sale como pulpa	

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	----- ■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	----- ■-----	altos
Exigencias al personal:	bajas		
Exigencias al lugar:	debe haber agua a disposición, de lo contrario no hay molienda		
Tamaños de grano de la alimentación:	aprox. < 30 mm		
Aparato que puede reemplazar:	quimbaleta para molienda fina		
Experiencia del operador:	muy buena	----- ■-----	mala
Contaminación ambiental:	baja	----- ■-----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- ■-----	mala
Bajo qué condiciones:	pequeños molinos a bolas se pueden construir localmente en buenos talleres metalmecánicos. Por ejemplo en Filipinas se fabrican localmente los molinos a bolas completos.		
Tiempo de vida:	muy largo	----- ■-----	muy corto

Literatura, Fuente: Moneda Potosí, Ullman, Schubert, Taggart, Stewart

## 12.3 MOLINO A BOLAS

Minería en general  
(Mineral, Rocas + Suelos)

Beneficio  
Trituración

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Molino a bolas accionado por manivela para molienda fina con cucharón de alimentación en forma de caracol. El molino a bolas es una maquinaria de trituración en forma de cilindro rotatorio en el cual bolas de acero, como elementos moledores, trituran la carga golpeándola, cortándola y aplastándola. Durante la rotación del cilindro las bolas y el material a moler adquieren un movimiento en forma de cascada. La permanencia del material a moler en el molino determina el tamaño de grano final. El agua circulante extrae el material fino.

### FORMAS DE EMPLEO:

Molienda fina de productos intermedios, minerales brutos o preconcentrados.

### FORMAS ESPECIALES DE EMPLEO:

Para procesos especiales de molienda, en los cuales los productos deben estar libres de hierro, en vez de bolas se utilizan rocas duras como pedernal, granito, etc., por ejemplo para la molienda de grafito.

### OBSERVACIONES:

En la trituración autógena el material de la alimentación en el cilindro se mueve solo por la rotación, donde grandes partes de la carga y granos trabajan como elementos moledores y trituran el material de alimentación o solamente porciones suaves de ella, como por ejemplo, para la liberación de conglomerados auríferos levemente consolidados.

Todos los tipos de molinos a bolas producen altos porcentajes de grano fino, lo cual conduce fácilmente a una sobremolienda especialmente en minerales frágiles, por ejemplo, scheelita, wolframita, casiterita, blenda, etc. y como consecuencia ésto lleva a una mala recuperación del material valioso. En este caso se debe moler con cuidado, o sea, con un cribado previo e intermedio y realimentación del grano mayor.

En la descarga el material pesado se queda mayor tiempo en el molino juntamente con la pulpa porque se resiste al lavado durante más tiempo; por eso se debe moler con cuidado o elegir otra forma de evacuación, por ejemplo con criba.

### INDICACIONES DE CONSTRUCCION:

Los apoyos de eje de autos son apropiados para el soporte de molinos a bola manuales.

En accionamientos mediante correas o cadenas, éste se realiza sobre la cubierta del molino.

El número óptimo de revoluciones de los molinos a bolas se encuentra en el 75 % del número crítico de revoluciones o del número de revoluciones en el cual los elementos moledores son centrifugados

$$n_{opt} = \frac{32}{\sqrt{D}} \quad \begin{array}{l} n \text{ en } \text{min}^{-1} \\ D \text{ diámetro del molino en metros} \end{array}$$

Para este número de revoluciones se puede determinar el rendimiento para un grado de relleno de 30 % según la siguiente estimación

$$N \text{ (kW)} = 10 G_K \text{ (t)} \times \sqrt{D \text{ (m)}}, \quad G_K = \text{peso de la bola en 1.000 kg}$$

Para un grado de relleno de 20 % el rendimiento se encuentra más o menos 10 % más alto, para un relleno con bolas de 40 %, 15 % más bajo.

El número de revoluciones de la molienda gruesa se encuentra algo más alto que el número de revoluciones de la molienda fina.

$$\text{Diámetro máximo de elementos moledores} \leq \frac{D}{20}$$

Recortes de rieles viejas de ferrocarril cementadas son un revestimiento interior barato y duradero.

## 12.3 MOLINO A BOLAS

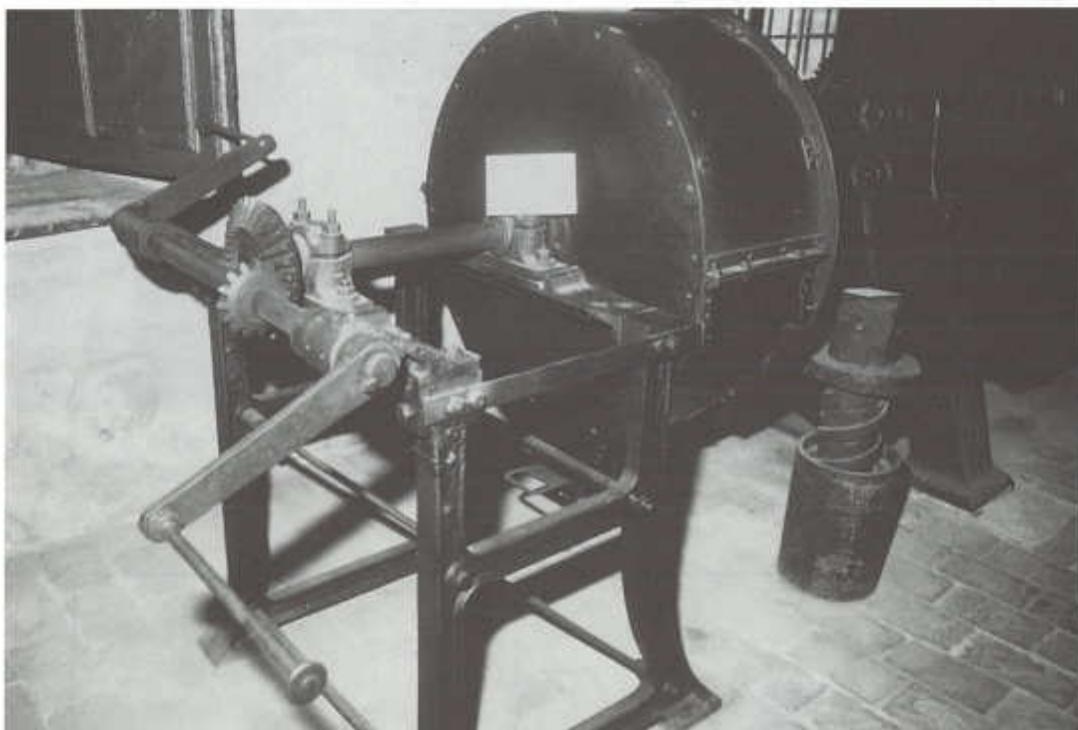
**Minería en general  
(Mineral, Rocas + Suelos)**

**Beneficio  
Trituración**

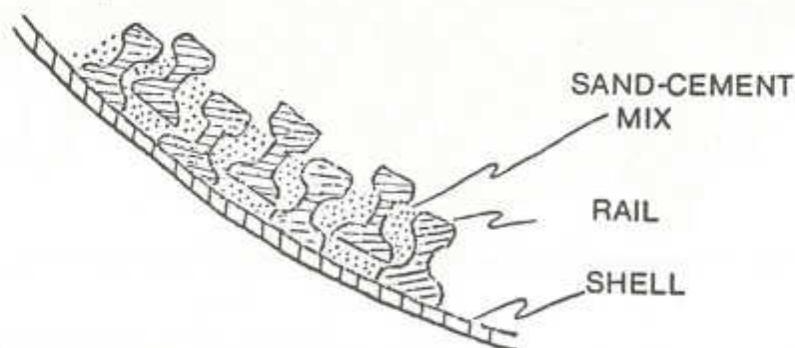
Además de los apoyos del extremo del árbol con cojinete de bolas o rodamientos, también se usa el apoyo de la camisa del molino sobre rodillos o lantás. En este tipo de apoyo también es posible el accionamiento por medio de los rodillos o las lantás. Entonces esto permite un buen acceso a los lugares de alimentación y evacuación del molino.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

El empleo de molinos a bolas manuales es relativamente limitado debido a su baja capacidad. Principalmente para molienda ulterior de productos intermedios. El uso de pequeños molinos a bolas mecanizados es práctico en la Pequeña Minería cuando los minerales finamente entrecrecidos exigen un tamaño fino de grano liberado. Desde un principio se debe prever un buen almacenamiento de repuestos y de elementos de desgaste.



Molino a bolas manual con doble manivela. Museo Casa de la Moneda, Potosí, Bolivia.

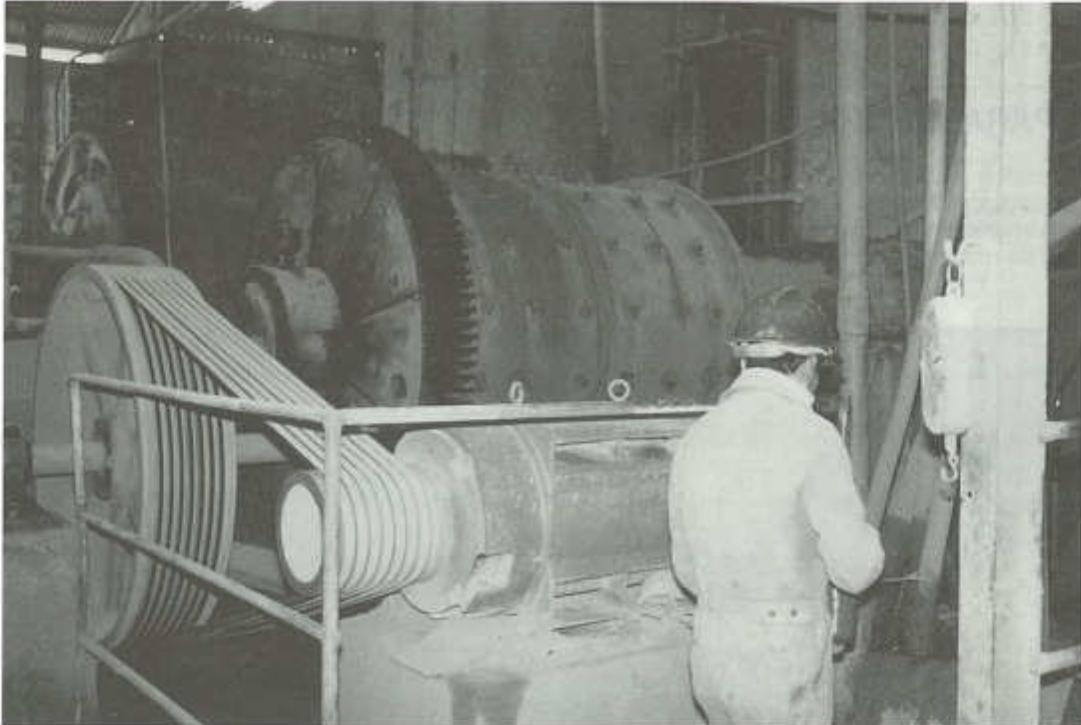


Dib.: Revestimiento de un molino con rieles viejas de ferrocarril, de Stewart

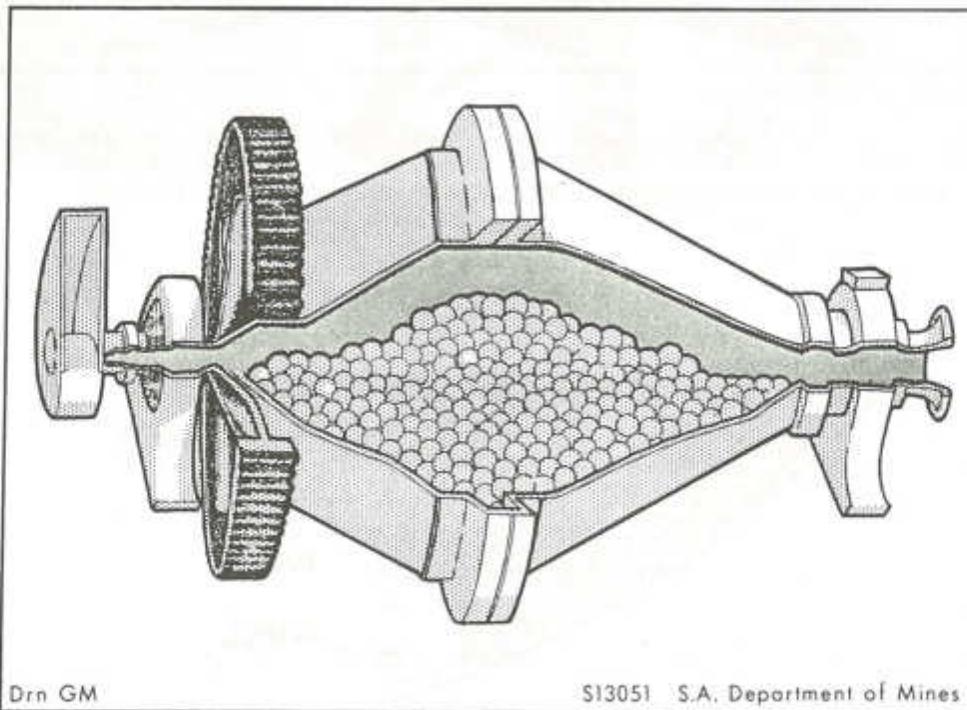
## 12.3 MOLINO A BOLAS

Minería en general  
(Mineral, Rocas + Suelos)

Beneficio  
Trituración



Molino a bolas de tamaño mediano totalmente mecanizado con motor eléctrico, accionamiento por correa trapezoidal y engranaje de ruedas dentadas rectas para la molienda de minerales de zinc y plata en Porco, Potosí, Bolivia



Dib.: Representación esquemática de un molino a bolas, de Armstrong

## 12.4 BOCARTE

**Minería metálica  
(Minerales auríferos,  
Minerales tenaces)**

**Beneficio  
Trituración**

Español:	batería de pisones, molino antioqueño, molino californiano, mortero (K.)
Inglés:	Stamp mill
Aleman:	Pochwerk, Hammerwerk

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 4 x 2 x 1 m, 400 - 700 mm profundidad de la batea del bocarte en bocartes húmedos según el tamaño del grano final (aprox. 1 mm)
Peso:	varias toneladas, pisón del bocarte aprox. 150 kg
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado
Potencia motriz:	según el tamaño, hasta 10 kW
Tipo de energía motriz:	mecánica por medio de la fuerza de agua, motor a combustión; aprox. 300 mm altura de elevación; aprox. 60 min. <sup>-1</sup> /pisón del bocarte; aprox. 0.6 PS pisón del bocarte
Forma de trabajo:	intermitente/semicontinua/continua
Producción/Rendimiento:	aprox. 0.8 - 2.5 t por 24 horas y pisón de bocarte
Materiales: Cuál:	agua en los bocartes húmedos
Cantidad:	0.4 - 0.8 pie <sup>3</sup> /min. pisón

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	batería de pisones de acero aprox. 10.000 DM incluyendo motor (en Colombia), batería de pisones de madera: aproximadamente 1000 DM para la construcción de madera de una batería de pisones con tres pisones, otros 100 DM por cada zapata de bocarte. Los bocartes de madera son notoriamente más baratos debido a que por lo general la materia prima es más barata y su labrado mucho más sencillo.
Costos de operación:	según la mecanización
Costos derivados:	Fuerza motriz, por ejemplo, en Colombia para una rueda hidráulica de madera, aproximadamente 1300 DM

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos 	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos 	altos
Exigencias al lugar:	agua	
Tamaño de grano de la alimentación:	menor a 100 mm	
Recuperación:	alto grado de trituración, tamaños finales de grano < 2 mm	
Aparato que puede reemplazar:	trituradora, molinos, trapiche	
Divulgación regional:	históricamente muy divulgado, hoy día raramente, en Asia para oro y arroz, en la minería aurífera del Brasil, Ecuador y Colombia; en la etapa después de la cosecha, bocarte de elevación accionado a pedal, (por ejemplo, en Nepal para el pelado de arroz), en la minería aurífera del antiguo Japón (martillo de cola).	
Experiencia del operador:	muy buena 	mala
Contaminación ambiental:	baja 	muy alta
	En la batería de pisones de madera, contaminación por polvo, sino sobre todo contaminación por ruido. Para la fabricación de baterías de pisones de madera es necesario el consumo de madera, pero por lo general no es grave debido a que la madera necesaria se dimensiona en el mismo lugar sin mucho recorte y a que el tiempo de vida de la batería de pisones es larga. La demanda de energía para la fabricación de las partes fundidas de las baterías de pisones de acero representa una mayor influencia en el medio ambiente.	
Facilidad de fabricación local:	muy buena 	mala

## 12.4 BOCARTE

**Minería metálica  
(Minerales auríferos,  
Minerales tenaces)**

**Beneficio  
Trituración**

Bajo qué condiciones: para batería de pisones de acero: buen taller metalmeccánico, eventualmente los pisones de hierro de ferrocarril; para batería de pisones de madera: trabajo de carpintería, el cual frecuentemente se realiza en el mismo lugar. Las zapatas de los pisones se adquieren de las fundiciones de metal.

Tiempo de vida: Desgaste casi solamente en la zapata del pisón  muy largo | muy corto

Literatura, Fuente: Treptow, Priester, Agricola, Calvör, Wagenbreth, Schennen, Reitermeier, Villefosse, Gaetzschmann, Rittinger, Cancrinus, de Hennezel, Diderot, Callon, Treptow/Sado, Clennell, DBM, Uslar, Kirschner

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Un pisón del bocarte es elevado por medio de una pieza de arrastre sobre el eje motriz y cae por su propio peso al suelo del bocarte en la batea del bocarte. Esta está provista, en el lado de la alimentación, de una pared alta sobre la cual se patea el material a la batea del bocarte. En el lado de la evacuación están dispuestas cribas, ranuras o presas. En el fondo de la batea se encuentra el piso firme del bocarte o una capa lo suficientemente espesa de material grueso sobre la cual se realiza la trituración mediante golpes del material de alimentación. En los bocartes húmedos (aconsejable) se pisonea bajo agua y se extrae el grano final mediante agua adicional. Las baterías de pisones con varios pisones tienen por lo general 4 hasta 6 pisones.

### **FORMAS DE EMPLEO:**

Para la trituración de minerales gruesos, húmedos o secos.

### **FORMAS ESPECIALES DE EMPLEO:**

Para la trituración y amalgamación de minerales auríferos (batea de amalgamación).

### **OBSERVACIONES:**

Estaño, wolfram y otros minerales friables son sobremolidos debido a las altas puntas de carga. Por eso, en la minería metálica excluyendo al oro, el bocarte ha sido reemplazado por la trituradora.

Se descubrió en Harz como bocarte seco de un pisón, bajo Enrique El Joven (1489 - 1568).

También existen formas de construcción como martillo de cola, martillo de cabeza, martillo de lanzamiento, etc.; estas formas de construcción con el pisón echado son apropiadas para el accionamiento por balancines de agua cuyo contrapeso es elevado mediante el llenado lento de un recipiente de agua, por lo cual el recipiente de agua se vacía por sí solo hacia atrás.

Las fuerzas motrices de las baterías de pisones fueron casi generalmente hidromecánicas con ruedas hidráulicas, en forma excepcional se utilizaban baterías de pisones accionadas a vapor.

La zapata y el pozo del pisón deberían ser siempre construídos en dos partes para poder cambiar la zapata del pisón cuando ésta se desgaste. Pero la zapata y el pozo del pisón tienen que estar unidos mediante una unión rígida, para que no existan pérdidas de rendimiento por resbalamiento.

Los pisos de bocartes de madera deberían estar siempre protegidos contra el desgaste por medio de material a pisonear y así mostrarían entonces buenas resistencias al desgaste, similares a las de los pisos de bocarte de hierro.

Lo importante para la trituración es la frecuencia del pisoneo: una frecuencia de apisonamiento muy baja lleva a una sedimentación del material fino y con ello a una molienda muy fina con una producción muy baja. Las frecuencias de pisoneo óptimas se encuentran a aproximadamente  $30 \text{ min}^{-1}$  para molienda fina hasta aproximadamente  $90 \text{ min}^{-1}$  para procesos de molienda gruesa.

Para la operación de baterías de pisones en la minería aurífera es importante que la pulpa esté libre de aceite y de grasa. O sea es esencialmente importante evitar que goteen lubricantes en la batea del bocarte. Esto conduciría inmediatamente a la flotación del oro fino en instalaciones de concentración conectadas posteriormente.

En la minería del oro de Ghana y de Ecuador, para la trituración manual a golpes o mediante el bocarte se usan morteros fabricados localmente. Para ello, como cabezales sirven ejes de autos o los extremos salientes del árbol, fabricados de aceros durísimos. Nombre local en Ecuador: porrón.

## 12.4 BOCARTE

**Minería metálica  
(Minerales auríferos,  
Minerales tenaces)**

**Beneficio  
Trituración**

En total, la producción de las baterías de pisonos es relativamente baja. Esto se debe a que las operaciones mecanizadas de la minería del oro han preferido utilizar trituradoras para la trituración gruesa y trapiches para la molienda fina.

En la minería del oro, la pared del lado de evacuación de la batea del bocarte está provista de un tamiz (por ejemplo, en Colombia cubrejunta de goma agujereada, zarandas), mientras que en el lado de entrada están instaladas planchas de cobre cambiables impregnadas con mercurio o mejor con amalgama de plata.

El material pesado grueso frecuentemente se concentra en la batea del bocarte.

### **EXPERIENCIAS DE USOS:**

En la minería aurífera de Colombia las baterías de pisonos fabricadas localmente son los aparatos de trituración más divulgados en las operaciones en la zona andina. Las baterías de pisonos de madera de chachajo son generalmente accionadas por ruedas hidráulicas de carga superior. Las tres a cuatro piezas de arrastre por pisón están fijadas directamente al árbol del eje de la rueda hidráulica. Se opera con baterías de tres, hasta de cinco pisonos. El tiempo de construcción es de alrededor de tres semanas para toda la instalación. Las zapatas del pisón son de hierro y se renuevan aproximadamente cada seis meses. Como cojinetes se emplean mayormente cojinetes de fricción. Las baterías de pisonos de hierro se consiguen en empresas nacionales metal-mecánicas y generalmente son accionadas por motores a diesel con engranajes de correa o cadena. El eje de arrastre descansa sobre cojinetes de rodillos o de bolas.

Para evitar la flotación por la solución de lubricantes el minero colombiano muele conjuntamente pedazos de hoja de Sisal (cabuya, fique, en latín: *Fourcraea macrophylla* Baker) (ver también técnica 15.2).

### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

En caso que las baterías de pisonos se fabriquen económicamente y se disponga de una fuerza motriz hidromecánica directa de bajas revoluciones la batería de pisonos tiene ventajas en comparación a otras máquinas trituradoras (trituradora de mandíbulas, trituradora de rodillos) que pueden ser accionadas por pequeñas turbinas. Las baterías de pisonos son especialmente muy apropiadas para la molienda de minerales auríferos duros.



Batería de pisonos de madera con tres pisonos con rueda hidráulica de carga superior para la trituración de minerales de oro. La Llanada, Nariño, Colombia.

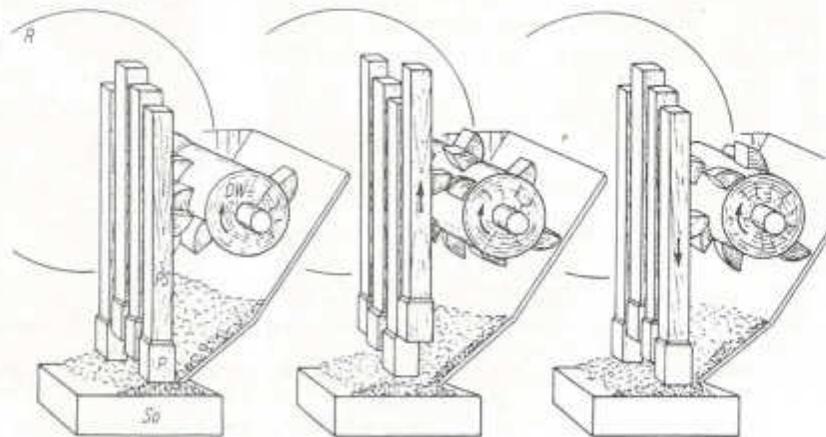
## 12.4 BOCARTE

**Minería metálica  
(Minerales auríferos,  
Minerales tenaces)**

**Beneficio  
Trituración**



Batería de pisones de tres pisones con batea abierta. Se notan claramente las zapatas de hierro incorporadas, por encima el eje de la rueda hidráulica con las piezas de arrastre para los pisones. En primer plano, una mesa de lona sin la cubierta de paño. La Llanada, Nariño, Colombia.



Dib.:

Esquema de funcionamiento de una batería de pisones, de Wagenbreth

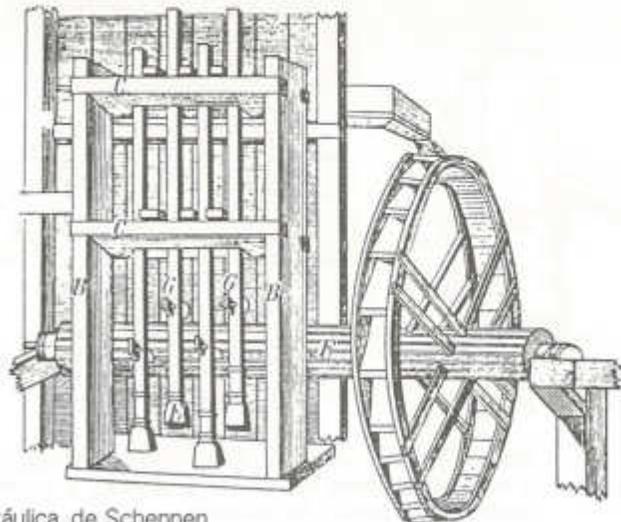
## 12.4 BOCARTE

Minería metálica  
(Minerales auríferos,  
Minerales tenaces)

Beneficio  
Trituración



Batería de pisones de hierro con engranaje de transmisión a correa de un motor diesel. En el dispositivo de evacuación de la batería de pisones la cubrejunta de goma agujereada como tamiz evacuador. En primer plano, mesa de lona para la concentración de oro. La Llanada, Nariño, Colombia.



Dib.: Batería de pisones seca, accionada por rueda hidráulica, de Schennen

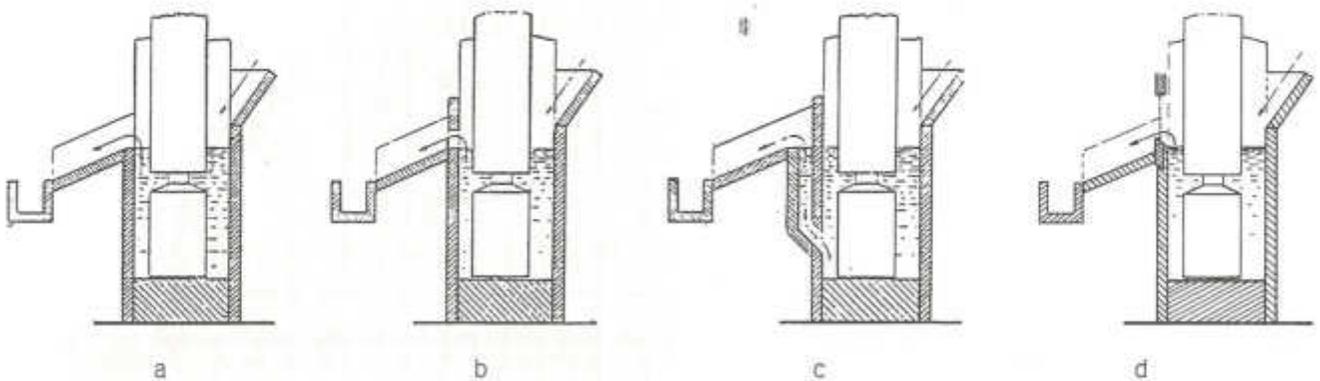
## 12.4 BOCARTE

**Minería metálica  
(Minerales auríferos,  
Minerales tenaces)**

**Beneficio  
Trituración**



Mortero apisonador manual (porrón) para molenda de minerales auríferos ricos en Guaysimí, Ecuador.

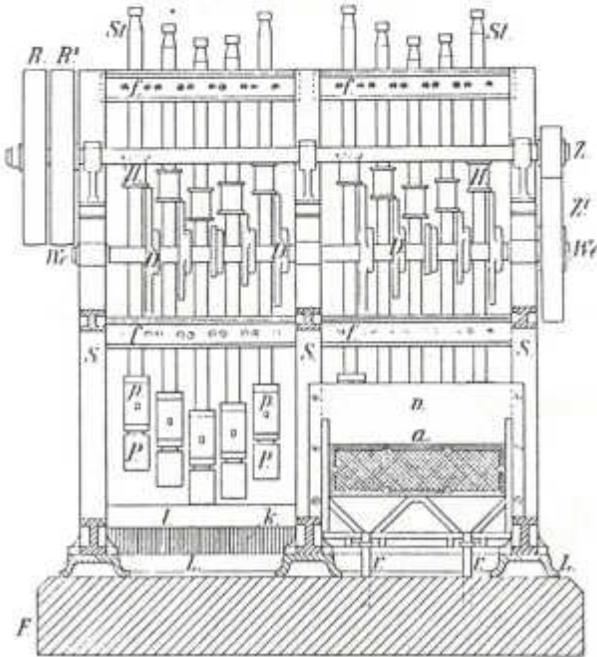


Dib.: Dispositivos de evacuación en batería de pisones húmeda, de Treptow a evacuación sobre la pared; b evacuación a través de una ranura; c dispositivo para evacuar granos uniformes; d evacuación a través de una criba

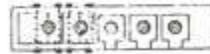
## 12.4 BOCARTE

Minería metálica  
(Minerales auríferos,  
Minerales tenaces)

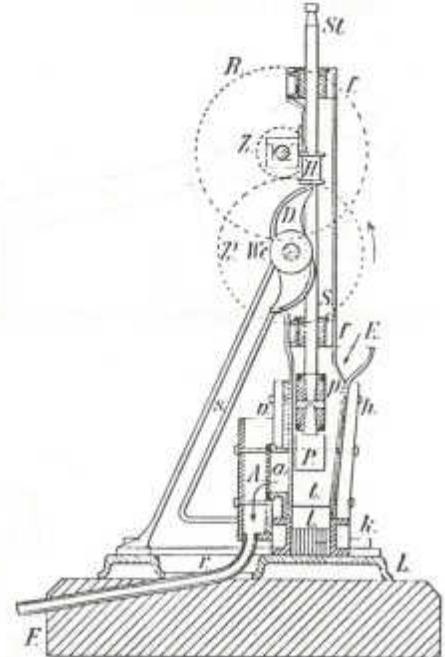
Beneficio  
Trituración



Vista longitudinal



Guía del pistón

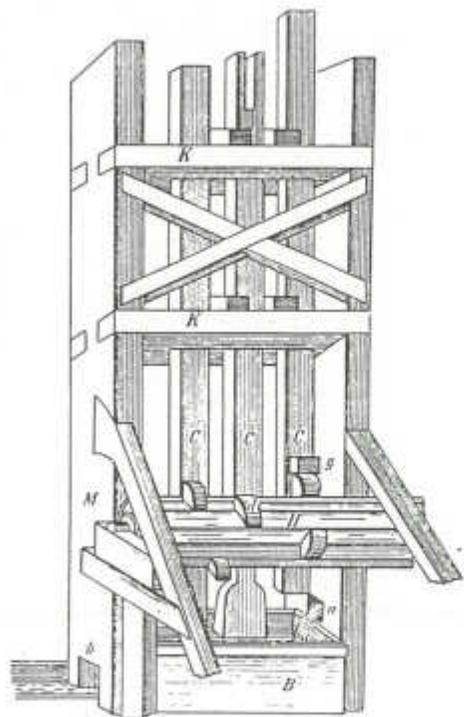


Corte

Dib.: Batería de pisones de California con dispositivo de criba de rebalse, de Treptow.



Dib.: Batería de pisones húmeda, de Agrícola



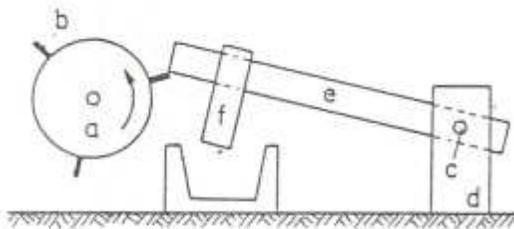
Dib.: Batería de pisones húmeda, de Schennen

12.4 BOCARTE

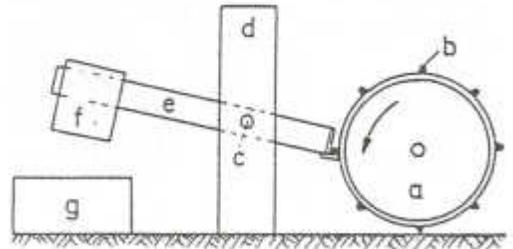
Minería metálica  
(Minerales auríferos,  
Minerales tenaces)

Beneficio  
Trituración

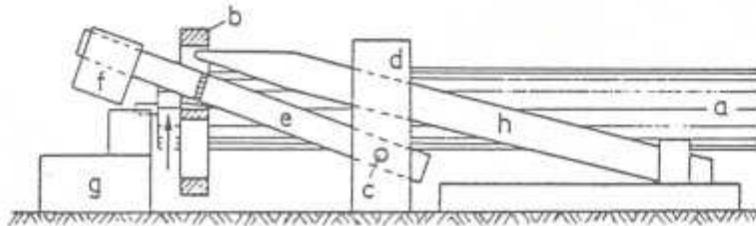
MARTILLO DE FRENTE



MARTILLO DE COLA

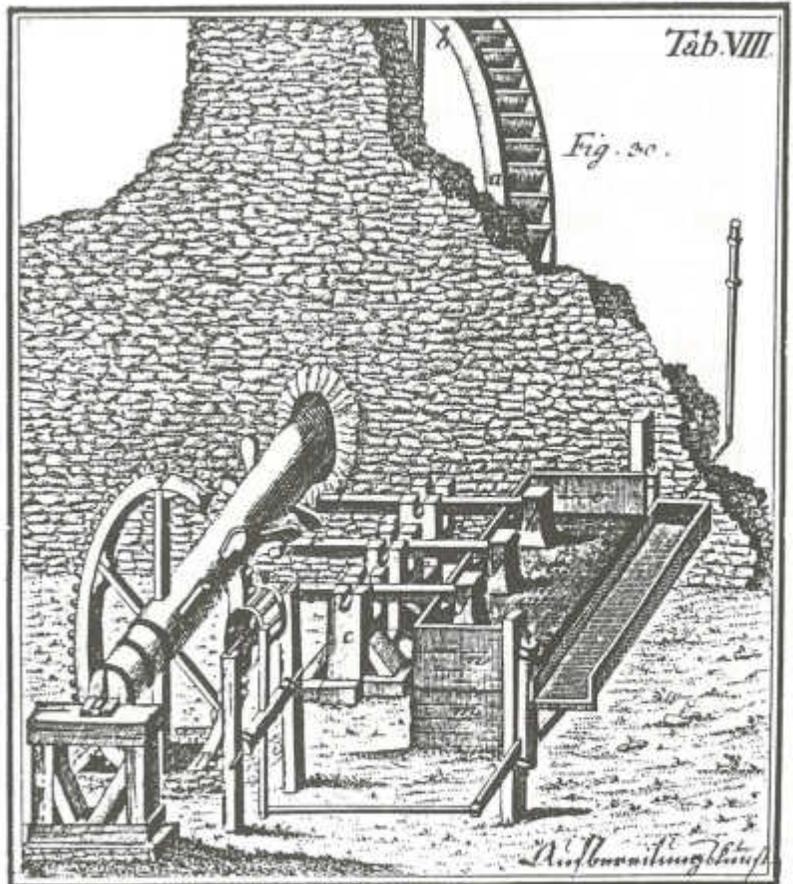


MARTILLO DE LANZAMIENTO



a = ARBOL DEL EJE, b = LEVA, c = EJE, d = PILAR DEL EJE, e = CASCO, f = MARTILLO, g = YUNQUE, h = PALANCA

Dib.: Sistemas de martillo, de Eckholdt



Dib.: Martillo de cola, de Cancrinus

## 12.5 TRAPICHE

**Minería Metálica**  
**(minerales auríferos,**  
**minería de rocas + suelos**  
**(tierras colorantes))**

**Beneficio**  
**Trituración**

Español:	molino de muelas, molino chileno, molino de ruedas;
Inglés:	chilean mill
Aleman:	Kollergang, Rollquetsche
Fabricante:	Millan, Volcán/ ambos en La Paz, Bolivia, Talleres J. G.

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 2 x 2 x 2 m alto, ancho, profundidad + motor
Peso:	> 1.000 kg
Grado de mecanización:	totalmente macanizado
Potencia motriz:	5 - 7 kW + 15 kW motor de arranque
Tipo de energía motriz:	eléctrica
Posibilidades alternativas:	hidromecánica, noria
Forma de trabajo:	continua
Producción/Rendimiento:	aprox. 1.000 kg/h
Material:	
Cuát:	agua

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	aprox. 5000 - 6000 DM (fabricación local en Bolivia)
Costos de operación:	según la clase de fuerza motriz

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	■ -----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■ -----	altos
Exigencias al personal:	pocas		
Tamaño del grano de la alimentación:	hasta 20 mm		
Propiedades específicas de la alimentación:	se pueden triturar incluso cargas de dureza abrasiva		
Recuperación:	grados de trituración muy altos; tamaño final del grano muy pequeño		
Aparato que puede reemplazar:	molinos a bolas, molinos amalgamadores, baterías de pisones		
Divulgación regional:	Chile, Ecuador, Bolivia, antiguamente mundial, hoy día principalmente para la molienda de frutas oleosas (molino para aceite) en la agricultura		
Experiencia del operador:	muy buena	■ -----	mala
Contaminación ambiental:	baja	----- ■	muy alta
En la amalgamación; de otra manera, baja			
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- ■	mala
Bajo qué condiciones:	Taller metal-mecánico, fundición		
Tiempo de vida:	muy largo	----- ■	muy corto

Literatura, Fuente: M. Priester, v. Bernewitz, Gerth, Schennen, Schabel, Diderot, Gaetzschmann, Treptow

## 12.5 TRAPICHE

**Minería Metálica**  
**(minerales auríferos,**  
**minería de rocas + suelos**  
**(tierras colorantes))**

**Beneficio**  
**Trituración**

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

El trapiche es una máquina de trituración típica del beneficio de oro de filones primarios auríferos en cuarzo. Dos ruedas de hormigón cubiertas de acero con un peso frecuentemente mayor a media tonejada oscilan sobre una solera circular y alcanzan a producir productos finos hasta muy finos con altos grados de trituración. El tamaño final de grano es regulado mediante el tiempo de permanencia o mediante la velocidad del agua circulante.

### FORMAS DE EMPLEO:

Para molienda fina y finísima.  
 Para molienda y amalgamación de minerales auríferos

### OBSERVACIONES:

La verdadera ventaja que ofrece el trapiche como máquina de beneficio es la molienda y amalgamación simultánea de minerales de oro, donde el oro fino es abatanado en el mercurio y las partículas finas de oro llegan a amalgamarse, las cuales, sin el proceso de abatamiento mediante las ruedas molidoras, no llegarían a amalgamarse debido a la alta tensión superficial del mercurio. Al mismo tiempo, las superficies del oro liberado durante la molienda son las más limpias, o sea aún no corroídas nuevamente.

Las condiciones de arranque de las masas extremadamente grandes resultan problemáticas, las cuales dado el caso, condicionan el uso de un fuerte motor de arranque. El extremo saliente del árbol es en parte guiado con ayuda de una cadena para disminuir las altas fuerzas de elevación.

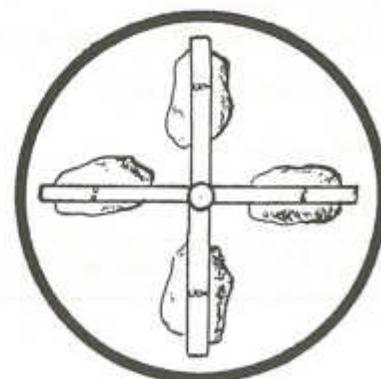
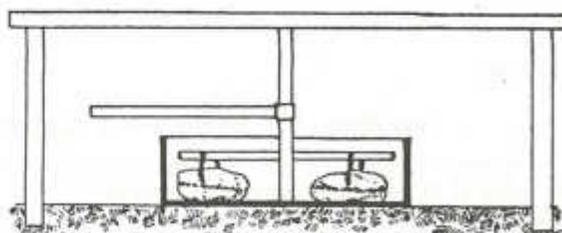
En la minería aurífera del norte de Chile, para apoyar la amalgamación simultánea se cubre en parte el borde cónico de la solera con planchas de cobre como mesas amalgamadoras. Esto ayuda a ligar el "floured mercury" finamente distribuido.

En general, las pérdidas de mercurio en la amalgamación en trapiches son relativamente altas. El mercurio finamente machacado y lavado y la amalgama tienen que ser separados mediante una concentración gravimétrica posterior, por ejemplo, en una trampa hidráulica para material pesado.

En la minería aurífera de Ecuador, a continuación de los trapiches se instalan planchas de cobre para la amalgamación.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Especialmente para la Minería aurífera a pequeña escala, los trapiches con amalgamación simultánea son muy aptos si se consideran los peligros para el medio ambiente. Para el resto de la minería metálica es apto solo de manera condicionada, por ejemplo, para minerales muy finamente entrecrecidos. Para todos los otros tipos de alimentación la producción de grandes fracciones de grano finísimo es problemática.



Dib.: Molino de arrastre, una forma antigua del trapiche, de Uslar  
 Izq.: Vista lateral, der.: Planta

## 12.5 TRAPICHE

**Minería Metálica**  
**(minerales auríferos,**  
**minería de rocas + suelos**  
**(tierras colorantes))**

**Beneficio**  
**Trituración**



Vista total de un trapiche accionado por un motor eléctrico con transmisión a correa y engranaje cónico. Copiapó, III Región, Chile.

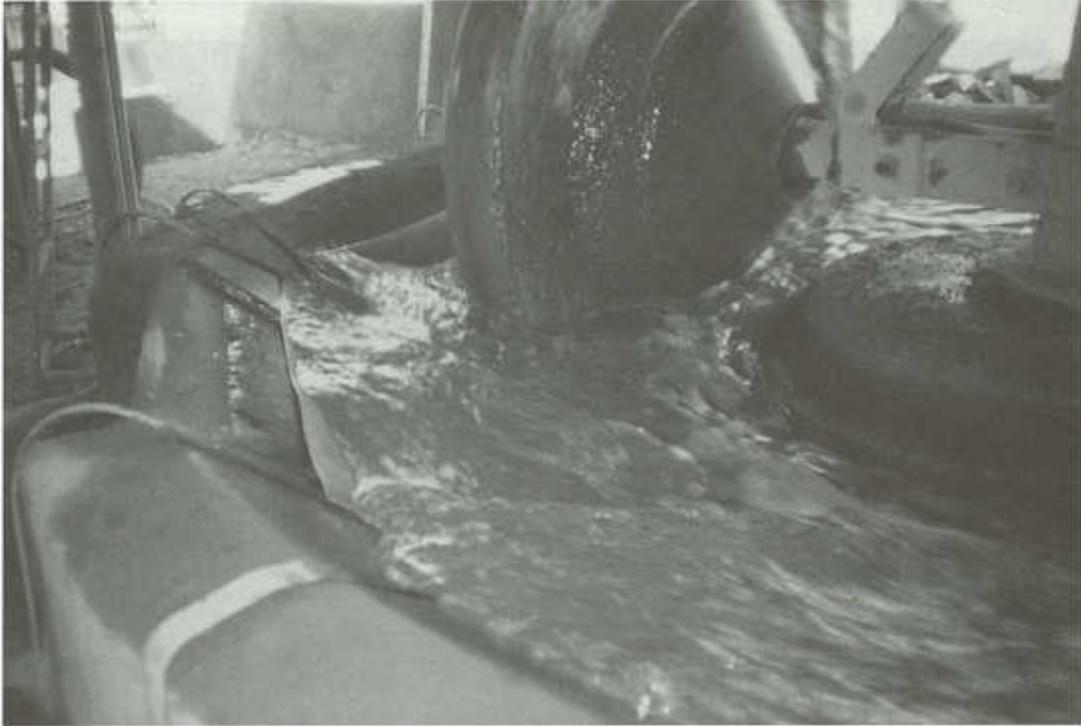


Molino de arrastre para la molienda fina de minerales auríferos filonianos en la zona minera de California, Santander, Colombia

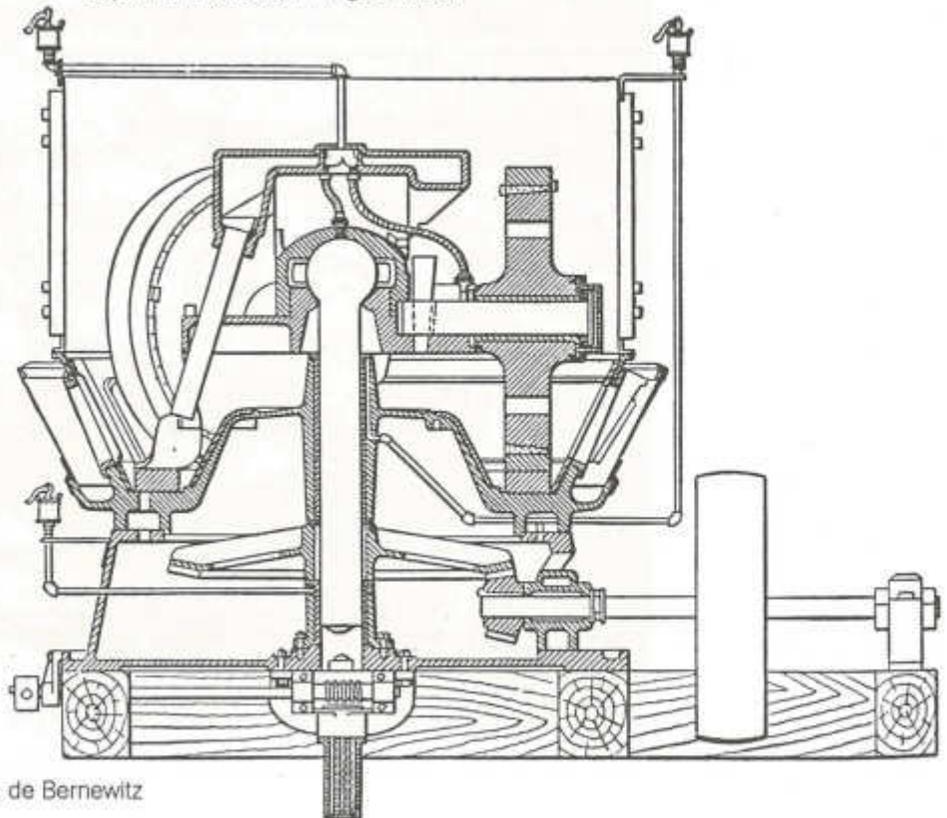
## 12.5 TRAPICHE

**Minería Metálica**  
**(minerales auríferos,**  
**minería de rocas + suelos**  
**(tierras colorantes))**

**Beneficio**  
**Trituración**



Planchas de cobre impregnadas de amalgama de plata para la amalgamación de oro colgadas lateralmente en la solera de un trapiche. Andacollo, IV Región, Chile.

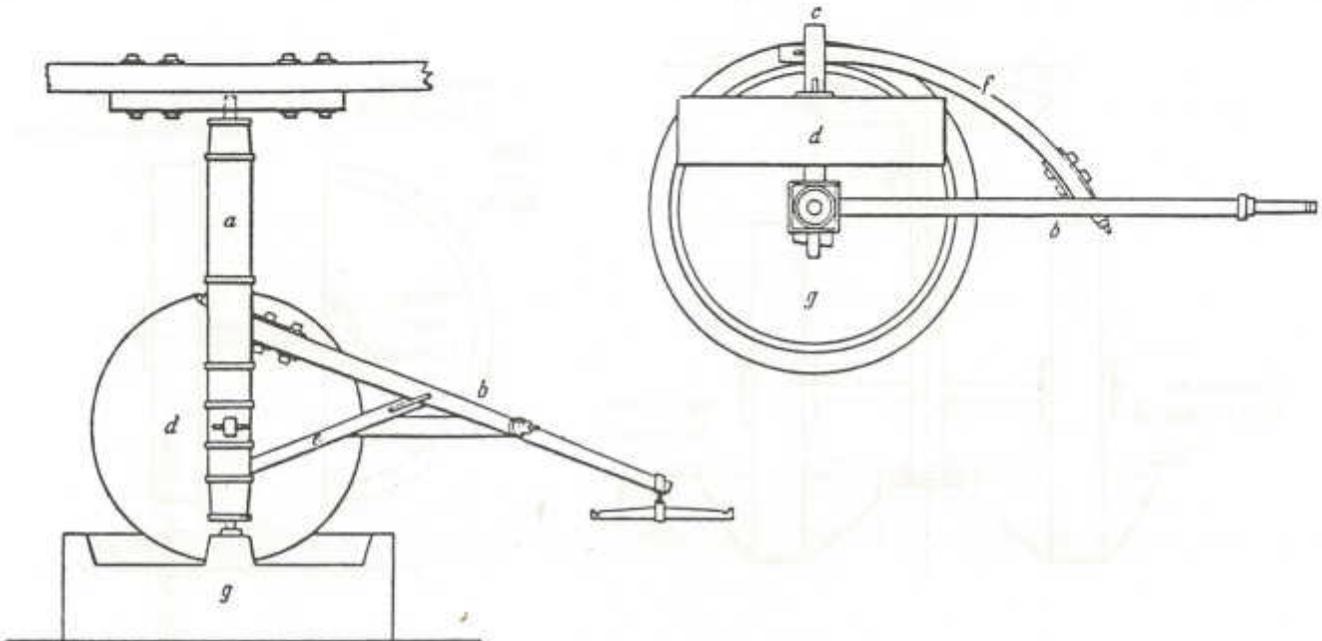


Dib.: Bosquejo de un trapiche, de Bernewitz

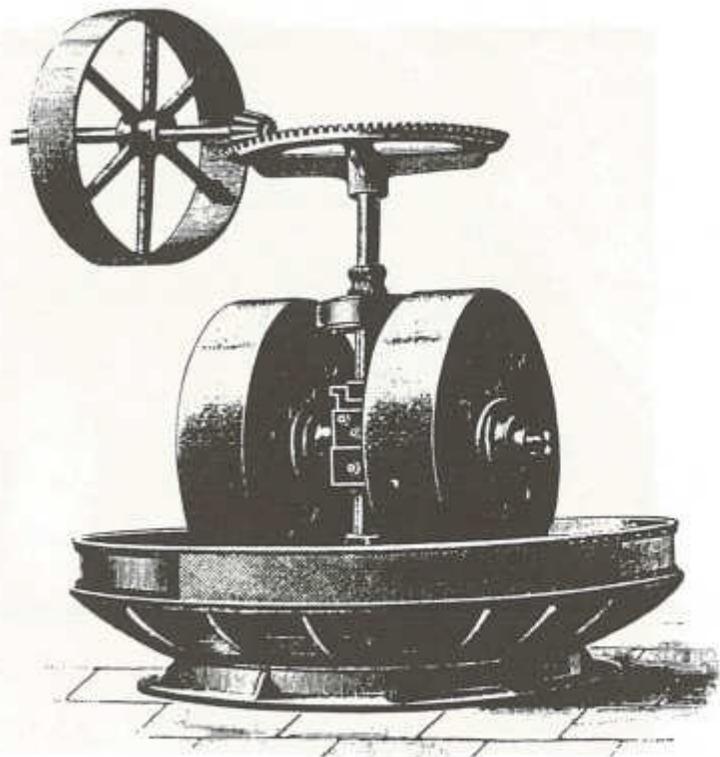
## 12.5 TRAPICHE

**Minería Metálica**  
 (minerales auríferos,  
 minería de rocas + suelos  
 (tierras colorantes))

**Beneficio**  
**Trituración**



Dib.: Forma antigua del trapiche como molino de rodillo con accionamiento de noria, de Schennen  
 Izq.: Vista lateral, der.: Planta



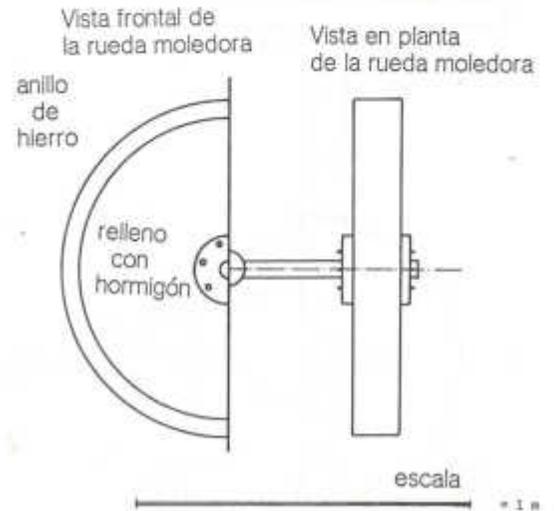
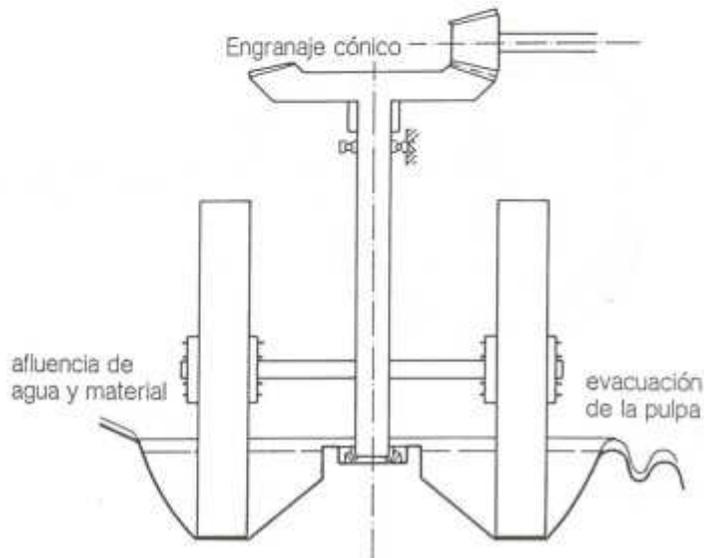
Dib.: Trapiche, de Schnabel

## 12.5 TRAPICHE

**Minería Metálica**  
**(minerales auríferos,**  
**minería de rocas + suelos**  
**(tierras colorantes))**

**Beneficio**  
**Trituración**

Corte



Dib.: Bosquejo de la construcción de un trapiche de fabricación boliviana, de Priester



Trapiche para la molienda fina con amalgamación simultánea. Se observan claramente las dos ruedas de hormigón con revestimiento de acero en su periferia. Mina Luchusa, La Paz, Bolivia.

**12.6 QUIMBALETE****Minería Metálica  
Trituración****Beneficio**

Español: maray  
Aleman: Wiegezerkleinerer

**DATOS TECNICOS:**

Medidas: aprox. 1.5 x 1 x 2 m alto, ancho, profundidad  
Peso: hasta  $\geq 2$  t  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Tipo de energía motriz: manual  
Posibilidades alternativas: en Perú, en parte hidromecánica con rueda hidráulica  
Forma de trabajo: semicontinua  
Producción/Rendimiento: 0.7 - 1.5 kg/hombre x min

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: generalmente construcción propia  
Costos de operación: solamente costos de personal

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	----- -----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	----- -----	altos
Tamaño de grano de la alimentación:	hasta aprox. 5 - 10 cm		
Recuperación:	grado de trituración muy alto, se rige según la duración del tratamiento: normalmente 1 : 5 hasta 1 : 20, tamaño final de grano según la clase de construcción hasta alrededor de 100 % < 100 $\mu$ m, distribución homogénea del grano del producto de molienda		
Aparato que puede reemplazar:	molinos, trapiches, baterías de piones		
Divulgación regional:	Bolivia, Perú, Chile, Honduras, Filipinas		
Experiencia del operador:	muy buena	----- -----	mala
Sin considerar la intensidad del trabajo de la técnica:	muy buena		
Contaminación ambiental:	baja	----- -----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- -----	mala
Bajo qué condiciones:	quimbaletes de material de roca dura (granito, gneis, etc.) o de partes de chatarra soldadas, eventualmente rellena con rocas u hormigón, sobre una placa de acero o de roca, se las fabrica principalmente localmente		
Tiempo de vida:	muy largo	----- -----	muy corto
	Prácticamente ningún desgaste		

Literatura, Fuente: M. Priester, Seminario Latinoamericano en Hannover, Ahlfeld, Hentschel, Rittinger

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Quimbaletes o bien trituradoras a balancines. Los balancines de piedra o de acero con peso propio muy alto se balancean mediante una palanca por encima del material a moler sobre planchas de roca o de metal. De esta manera la trituración con el quimbaletes corresponde al proceso de la trituradora a rodillos. Mediante leves giros sobre los puntos muertos se coloca el quimbaletes sobre la plancha de molienda.

**FORMAS DE EMPLEO:**

Molienda de granos gruesos hasta medianos en el beneficio. En muchas minas se tritura exclusivamente con quimbaletes.

## 12.6 QUIMBALETE

### Minería Metálica Trituración

### Beneficio

#### **FORMAS ESPECIALES DE EMPLEO:**

Para la trituración fina y la trituración posterior de productos intermedios finos se utilizan basculadores rotatorios cóncavos.

#### **OBSERVACIONES:**

Se pueden triturar incluso cargas abrasivas. El desgaste en los quimbaletes es muy pequeño. Lo problemático es el empleo de mucha fuerza que tiene que ser aplicada manualmente. En la minería aurífera en el norte de Perú en parte son accionados por ruedas hidráulicas.

Una buena forma de la superficie de molienda facilita bastante el trabajo. El centro geométrico tiene que estar por encima del centro de gravedad de la masa.

Con los quimbaletes se tritura en forma seca o húmeda. La trituración húmeda produce menos granos finos y un tamaño de grano final homogéneo. Además produce menos polvo de silicato reactivo en suspensión.

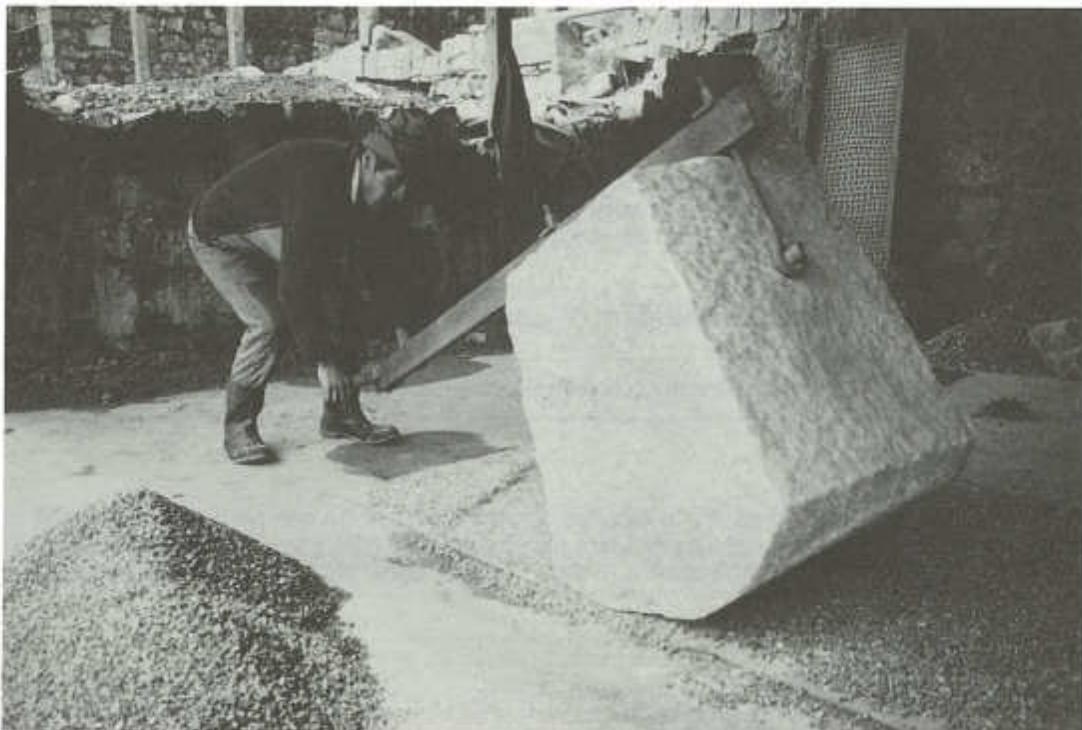
Eventualmente sería posible una trituración húmeda en una canaleta donde el grano fino fuese extraído por la corriente del agua.

Según Rittinger algunos minerales de cuarzo muy duros han sido en parte quemados para ser ablandados antes de la trituración. Así, la demanda de energía en la trituración se redujo aproximadamente en 15 %.

En la minería aurífera del norte de Chile se utilizan los así llamados marajes que son cuerpos de molienda de hormigón vaciado, los cuales trabajan en tinas de roca u hormigón y son movidos mediante un mango o dos palancas sencillas de madera para la trituración húmeda y amalgamación .

#### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Como un aparato tradicional de trituración y ampliamente divulgado en la Pequeña Minería en Latinoamérica existe una buena posibilidad de empleo como antes, si se trata de pequeñas cantidades de carga, por ejemplo, la postmolienda de productos medios. A pesar de ser una técnica intensiva en trabajo, el quimbalete es el aparato de trituración no mecanizado más efectivo.

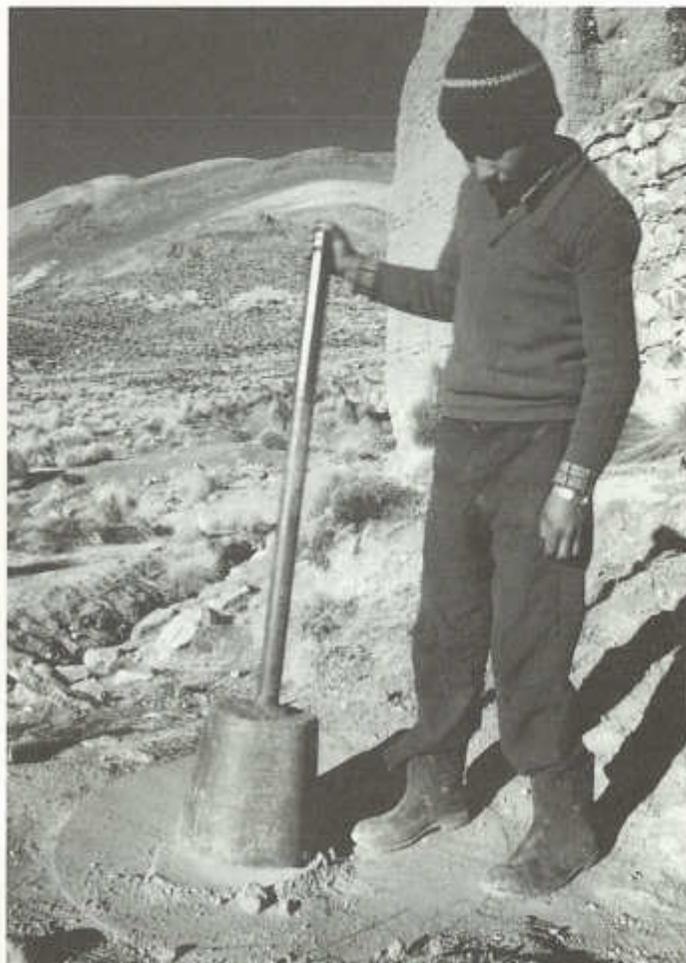
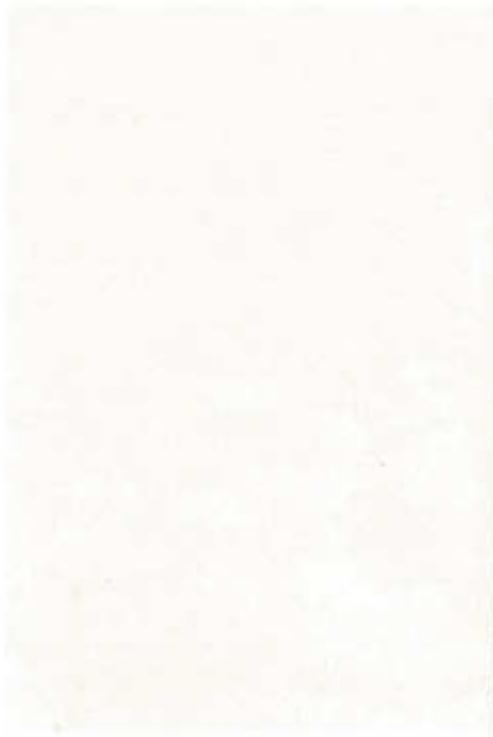


Quimbalete de roca para la trituración de minerales de estaño sobre una plancha de acero. Kaluyo, La Paz, Bolivia.

## 12.6 QUIMBALETE

Minería Metálica  
Trituración

Beneficio



Basculador rotatorio de hierro sobre plancha cóncava de hierro para la trituración fina de productos intermedios. Mina Candalaria, Sud Lípez, Bolivia.



Quimbalete de acero para la trituración de minerales de wolfram sobre plancha de acero. Añatuyani, Kami, Bolivia.

**12.6 QUIMBALETE****Minería Metálica**  
**Trituración****Beneficio**

Quimbalete de acero relleno de rocas para la trituración de minerales de estaño en San Cristobal, Porco, Bolivia.



Triturador basculante (maray) para amalgamación simultánea de minerales de oro en una solera de hormigón con un cabezal de cemento manejado por una palanca de madera, Copiapó, II Región, Chile.

## Capítulo técnico 13: Clasificación

### 13.1 CLASIFICACION EN TAMICES FIJOS

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

Español:	clasificación por tamaño en tamiz, harnear, instalacion de tamices escalonados, parrilla
Inglés:	grizzly
Aleman:	Siebklassierung in starren Sieben, Durchwurf, Reibgatter, Grizzly

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	desde 30 x 40 cm de superficie de tamiz para tamices individuales de una instalación de tamices escalonados hasta 2 x 2 m para criba gruesa (Grizzly)
Peso:	Desde 5 kg según el tamiz
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	alimentación y eventualmente extracción manual
Forma de trabajo:	semicontinua
Producción/Rendimiento:	depende mucho del tamaño de grano
Material:	
Cuál:	eventualmente agua para tamizado húmedo

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	por ejemplo para instalación de tamices escalonados con tres tamices: 300 DM
Costos de operación:	solamente costos de personal

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	----- ■ -----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■-----	altos
Exigencias al lugar:	eventualmente agua		
Tamaños de grano de la alimentación:	varios decímetros hasta 100 $\mu$ m de tamaño de separación de grano		
Propiedades específicas de la alimentación:	ningún material pegajoso, rico en arcilla		
Aparato que puede reemplazar:	otras máquinas de clasificación		
Divulgación regional:	mundial		
Experiencia del operador:	muy buena	----- ■ -----	mala
Contaminación ambiental:	baja	■-----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- ■-----	mala
Bajo qué condiciones:	Taller de carpintería, taller metal-mecánico para la fabricación de los marcos, los que se pueden fabricar muy bien localmente; las mallas generalmente se importan debido a que el mayor desgaste siempre ocurre en ellas y por eso son necesarias muy buenas calidades de material		
Tiempo de vida:	muy largo	----- ■ -----	muy corto

Literatura, Fuente: Stout, Schennen, Stewart, Priester, Reitemeier, Villefosse, Gaetzschmann, Cancrinus

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La clasificación en tamices fijos se puede realizar en forma seca o húmeda. La clasificación seca se realiza en tamices inclinados con alimentación a pala (harnear) y se emplea para fracciones de granos gruesos secos. La clasificación húmeda se realiza en una instalación de varios tamices colocados en forma escalonada en una especie de canaleta y con mallas de tamaño en orden decreciente de arriba hacia abajo. El grano de subtamaño es alimentado mediante el agua de proceso a la siguiente etapa fina de clasificación. La extracción del grano de sobretamaño y la distribución sobre la base del tamiz se realiza con una espátula.

## 13.1 CLASIFICACION EN TAMICES FIJOS

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

### FORMAS DE EMPLEO:

Clasificación de granos gruesos y medianos antes de la alimentación a instalaciones de concentración.

### FORMAS ESPECIALES DE EMPLEO:

Clasificación selectiva de productos de procesos de clasificación, concentración o trituración.

### OBSERVACIONES:

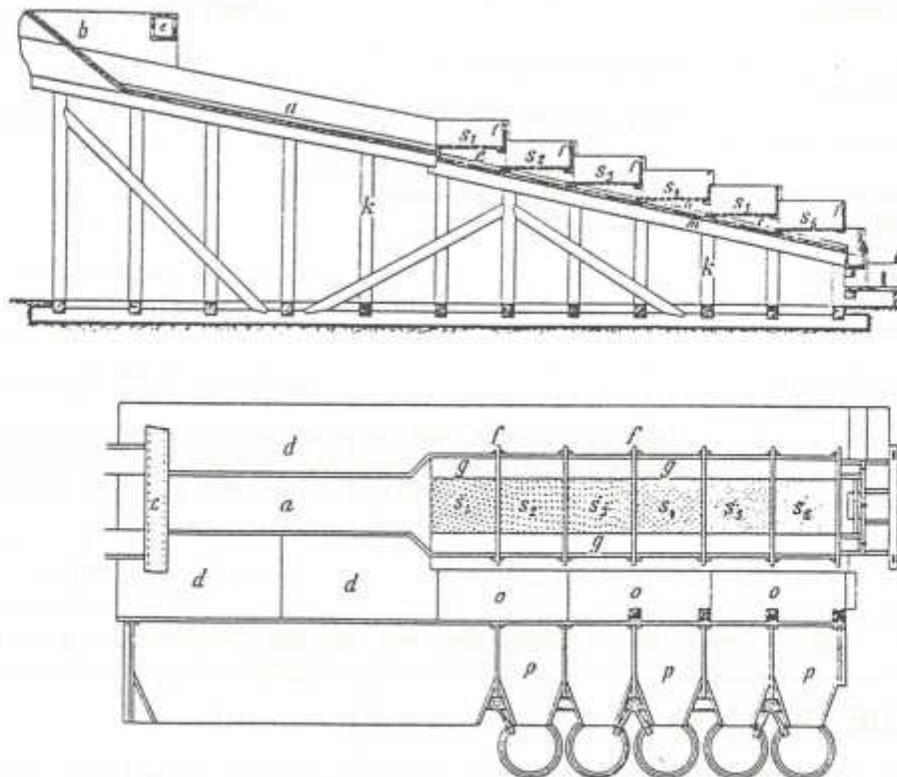
La desventaja radica en el bajo grado de separación del cribado seco en el "harnear" debido a los granos extraviados por estar adheridos.

El cribado húmedo en cribas fijas y la distribución del material sobre la malla con una espátula conduce a una cantidad heterogénea de pulpa con partículas de granulación inferior. Si se instalan procesos de concentración que reaccionan en forma sensible a los cambios de la corriente de pulpa alimentada directamente después de la clasificación, se deben entreconectar aparatos para la homogeneización (por ejemplo, canaletas en abanico). Los tamices se utilizaron ya en la antigüedad en la minería griega. Cuando el agua de proceso es ácida se deben utilizar necesariamente pisos de tamices de acero galvanizados o material plástico. En el tamizado húmedo se debe prestar atención en recolectar la fracción finísima en un pozo de sedimentación o concentrarla inmediatamente en los buddles. Caso contrario las pérdidas de material valioso son muy altas.

Las parrillas (grizzlies) deben tener una inclinación de 25 a 30° para que la fracción gruesa ruede desde el sector de alimentación para ser triturada posteriormente.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

El cribado húmedo en instalaciones de cribas escalonadas es una posibilidad económica, sencilla, rápida de clasificación con buen grado de separación para los granos medios y gruesos. Especialmente si se deben tratar pequeñas cantidades no es necesaria la mecanización de la clasificación.

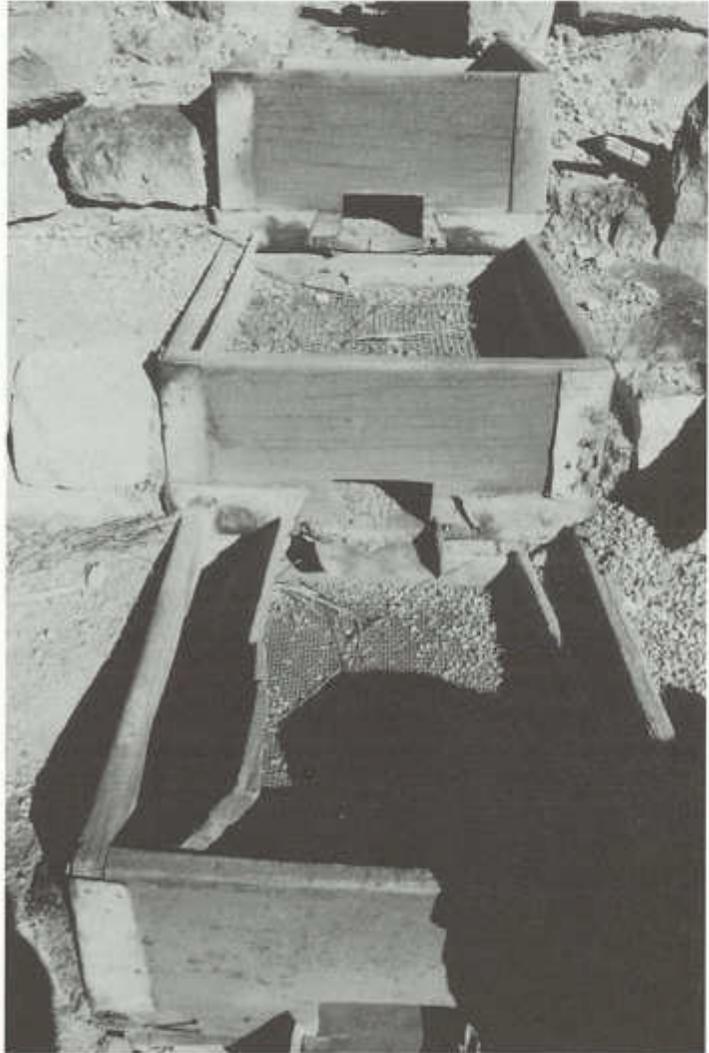


Dib.: Instalación de cribas escalonadas para clasificación húmeda en tamices fijos, Fuente: Schennen.

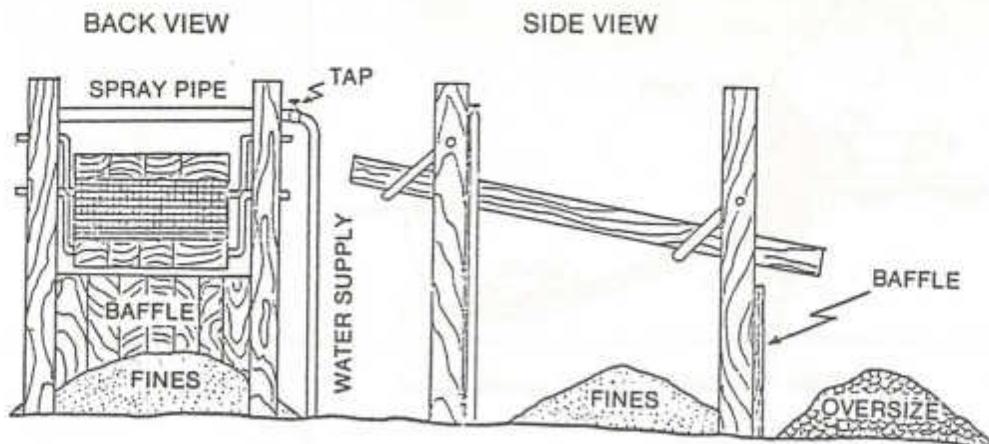
## 13.1 CLASIFICACION EN TAMICES FIJOS

Minería en general

Beneficio  
Clasificación



Instalación de cribas escalonadas para clasificación húmeda de granos gruesos. Son visibles los dispositivos de evacuación para la granulación inferior, la cual alimenta directamente la próxima etapa de clasificación más fina. Mina Candelaria, Sud Lpez, Bolivia.



Dib.: Tamiz manual sencillo con regado de agua, de Stewart

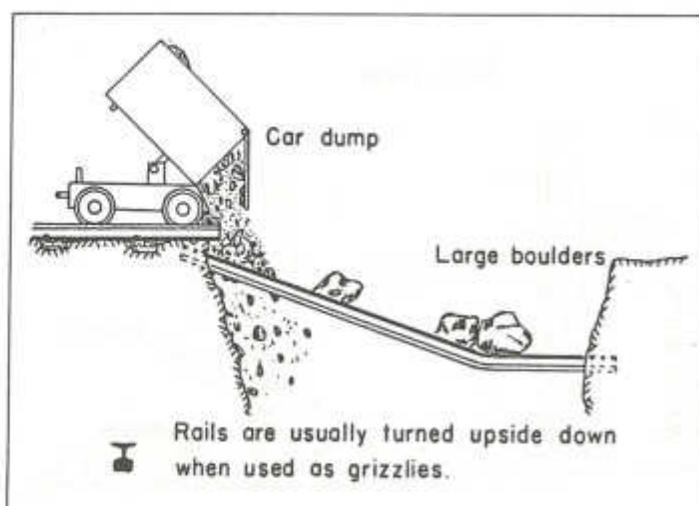
## 13.1 CLASIFICACION EN TAMICES FIJOS

Minería en general

Beneficio  
Clasificación



Criba de madera para tamaño grueso, para el desecho de carbón grueso bajo una rampa de descarga para carros metaleros de descarga trasera. Minería del carbón en la Región Río Checua, Cundinamarca, Colombia.



Dib:

Grizzly, parrilla fija para tamaño grueso para el desecho de bloques, fabricada de rieles de ferrocarril, de Stout.

**13.2 CRIBA VIBRADORA****Minería en general****Beneficio  
Clasificación**

Español:	instalacion de tamiles con movimiento circular
Aleman:	Rüttelsiebe, Schwingsiebe, Rätter
Fabricante:	Schneck, Jöst, Mogensen, Eduardo, INCOMEC, Milag, Met. Cancha, Volcán, Alquexco, Eq. Ind. Astecnia, IAA, INCOMAC, CO-MESA, FAHENA, Telsmith, FIMA, FAMINCO, Famia, Fund.Callao, H.M., MAGENSA, MAENSA, MAEPSA, Met. Callao E.P.S.

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	desde 30 x 40 cm hacia arriba, 10 a 20° de inclinación, frecuencia de oscilación o de vibración 80 a 100 min <sup>-1</sup>
Peso:	desde aprox. 50 hasta varios 1.000 kg
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado
Potencia motriz:	pequeña, máximo 1 PS/m <sup>2</sup> de superficie de tamiz
Tipo de energía motriz:	mecanismo de golpe hidromecánico, mecanismo de golpe manual
Posibilidades alternativas:	accionamiento a pedal
Forma de trabajo:	continua
Grado de rendimiento técnico:	comparado con las cribas fijas, mayor
Material: Cuát:	agua
Cantidad:	60 - 80 % del volumen de la alimentación

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	manual desde 100 DM hacia arriba según el tamiz en fabricación local
Costos de operación:	solo costos de personal, eventualmente costos de energía
Costos derivados:	fuerzas motrices

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	—■—■—■—	altos	Según el grado de mecanización
Gastos de mantenimiento:	bajos	—■—	altos	
Es necesaria la extracción de granos atascados				
Exigencias al lugar:	agua			
Tamaños de grano de la alimentación:	< 50 mm hasta > 50 µm			
Aparato que puede reemplazar:	cribas fijas			
Divulgación regional:	en construcción semimecanizada, desconocido en la Pequeña Minería latinoamericana; solamente en la clasificación húmeda en los jigs			
Experiencia del operador:	muy buena	—■—	mala	
Contaminación ambiental:	baja	—■—	muy alta	
Facilidad de fabricación local:	muy buena	—■—	mala	
Bajo qué condiciones:	carpintería y taller metal-mecánico			
Tiempo de vida:	muy largo	—■—	muy corto	

Literatura, Fuente: Calvör, Agrícola, Fischer, Schennen-Jüngst, Liwehr, Villefosse, Dellus, Gaetzschmann, Rittinger, Cancrinus, de Hennezel, Gerth

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Al contrario de las cribas fijas, en los cedazos movidos por sacudidas se da un movimiento a lo largo o a lo ancho que mueve el material sobre la malla y facilita el traspaso de ésta. Debido a ésto, se realiza la separación en grano de sobretamaño y de subtamano.

## 13.2 CRIBA VIBRADORA

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

### FORMAS DE EMPLEO:

Clasificación seca o mojada de alimentaciones de fracciones gruesas, medianas y finas.

### OBSERVACIONES:

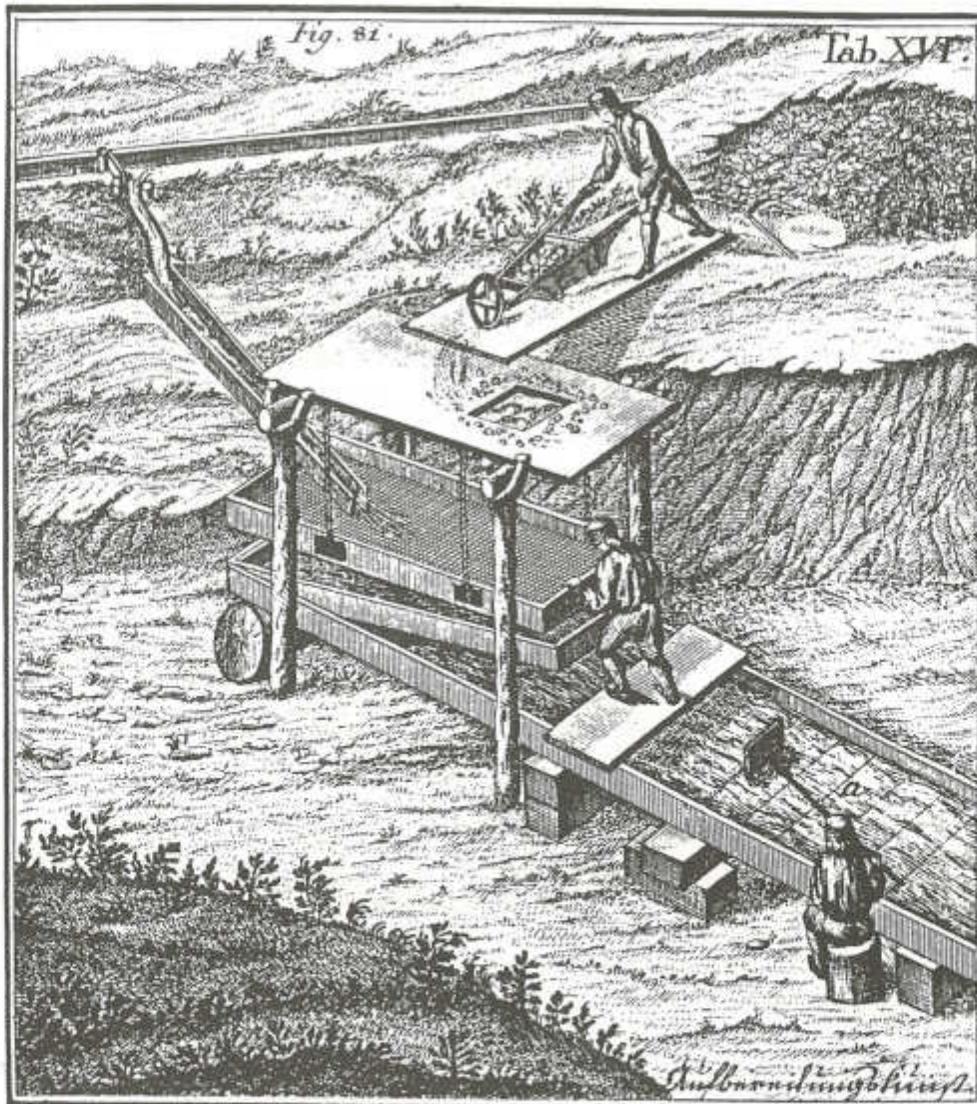
Desviaciones en instalaciones de vibración 55 - 80 mm  
en instalaciones de golpe 25 - 55 mm

La demanda de espacio de los cedazos movidos por sacudidas es mucho menor que de las instalaciones de clasificación con cribas fijas. Se pueden instalar calotas una sobre otra para la separación en varias clases de granos. Se pueden utilizar resortes de auto como resortes vibratorios y amortiguadores.

La relación favorable entre longitud de la criba: ancho, aprox. 2.7 : 1

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

Frente a las cribas fijas, los cedazos movidos por sacudidas aún en formas poco mecanizadas son preferibles, debido a su alto rendimiento, a su baja demanda de agua y espacio y a su capacidad de separar tamaños de grano más finos.

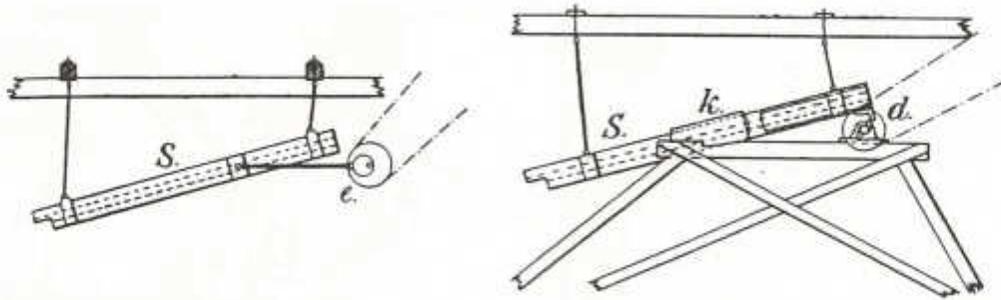


Dib.: Cedazo movido por sacudidas manuales, de Cancrinus

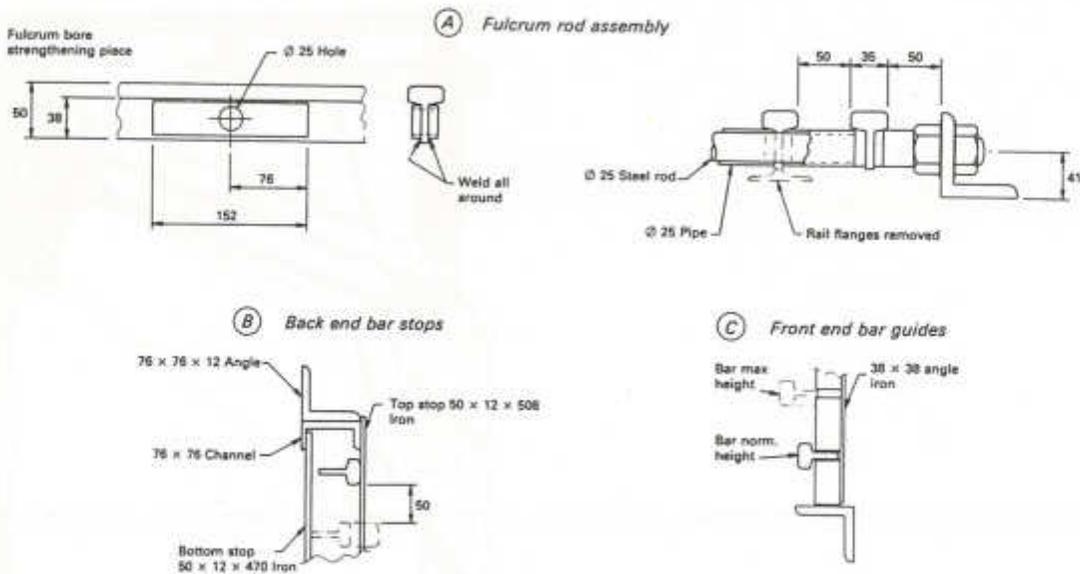
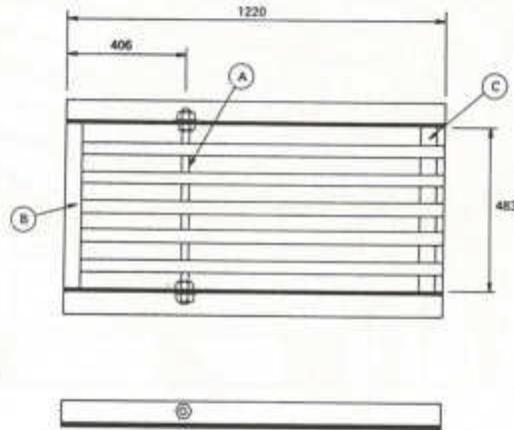
13.2 CRIBA VIBRADORA

Minería en general

Beneficio  
Clasificación



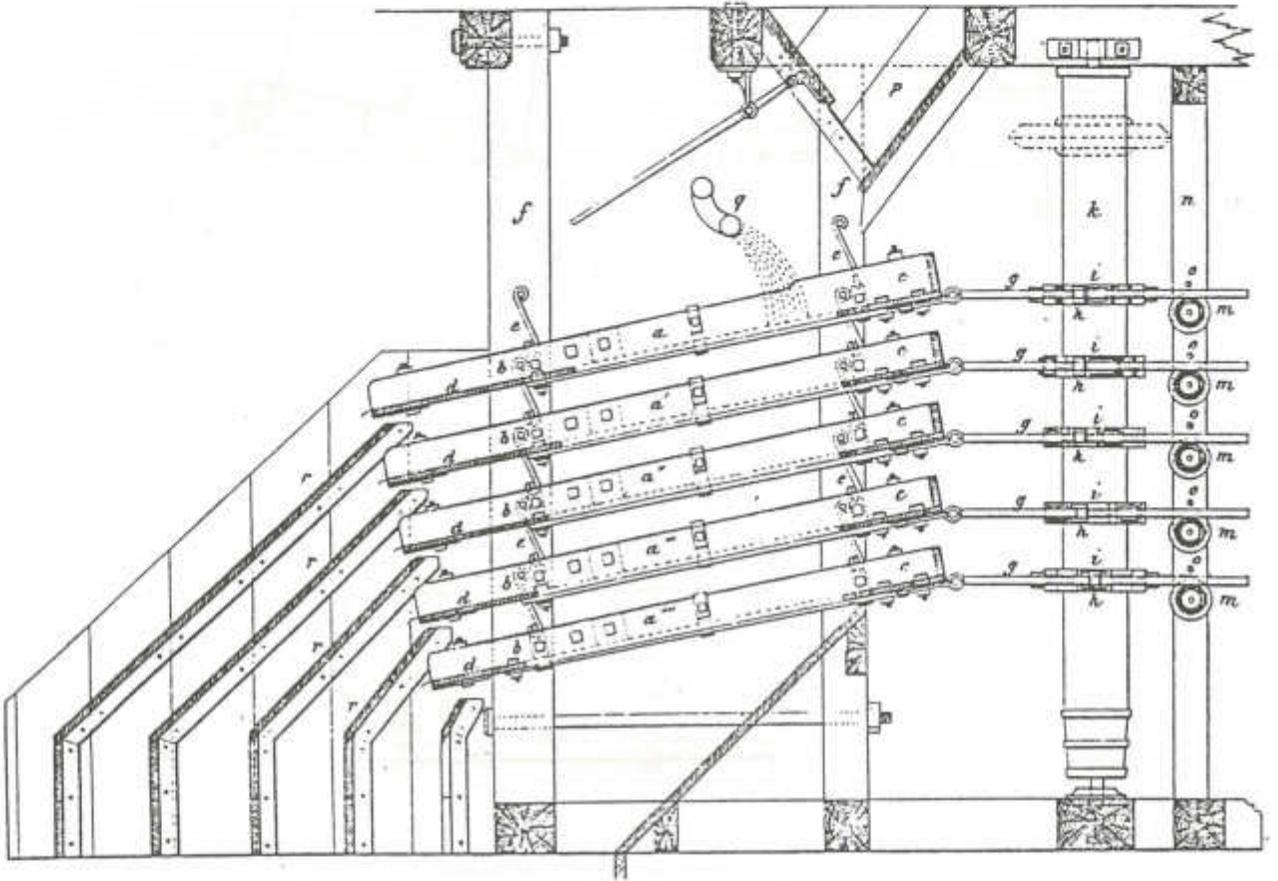
Dib.: Principio del cedazo movido por sacudidas (izquierda) y del cedazo movido por golpes (derecha), de Treptow.



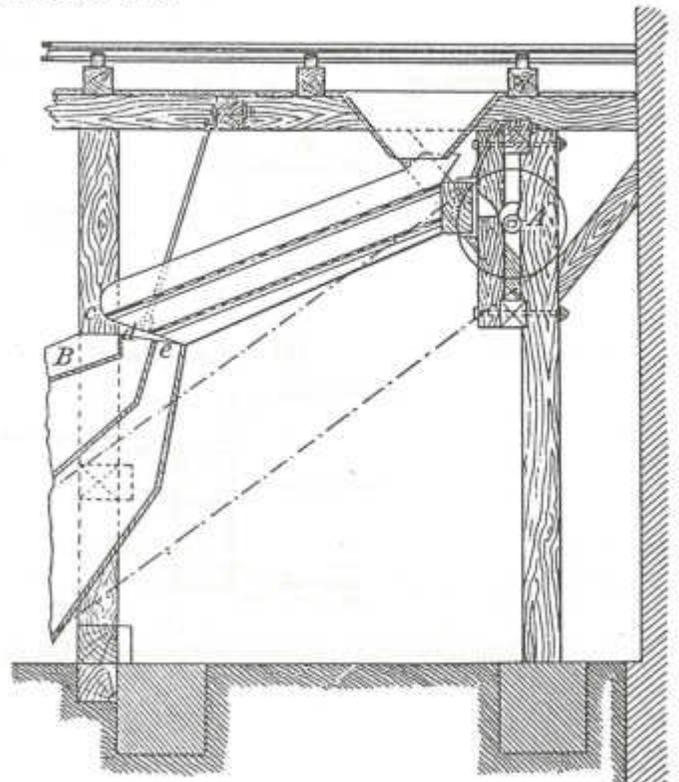
Dib.: Criba para tamaño grueso de vibración propia, de rieles de ferrocarril que comienzan a vibrar por el golpe del material que cae, de ITDG.

## 13.2 CRIBA VIBRADORA

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

Dib.: Instalación de varios tamices con movimiento circular, Fuente: Liwehr



Dib.: Cedazo movido por golpes en dos etapas, Fuente: Schennen

## 13.3 CRIBA VIBRADORA SIN FUERZA MOTRIZ (PARRILLA)

Minería en general  
(Rocas + suelos)

Beneficio  
Clasificación

Inglés: cantilever grizzly  
Aleman: Antriebslose Schwingsiebe (Stangensizer)  
Fabricante: Mogensen

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: tamaños de granos separables mínimo 25 - 40 mm, máximo aprox. 300 mm  
Peso: desde aprox. 200 kg  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Tipo de energía motriz: se aprovecha el rebote del material a cribar  
Posibilidades alternativas: como parrilla vibratoria para material a cribar muy pesado, pero entonces, mecanizado  
Forma de trabajo: continua  
Producción/Rendimiento: > 100 t/h

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: por lo menos 20.000 DM FOB, lugar de fabricación: Alemania  
Costos de operación: muy bajos

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al lugar: ninguna

Tamaños de grano de la alimentación: < 1.000 mm

Recuperación: cribado con alto grado de separación

Aparato que puede reemplazar: cribas vibratoras

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: La parrilla está protegida por derechos de patente. Otras formas de construcción de cribas vibratoras sin fuerza motriz se pueden fabricar de rieles viejos o utilizando barrenos viejos en empresas mecánicas nacionales.

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Información de la empresa Mogensen

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El cribado se realiza sobre barras divergentes y afirmadas por un solo lado las cuales mediante su inclinación hacia abajo dejan correr el material sobre la criba y comienzan a vibrar durante el cribado. Debido a ésto se descartan los atascamientos de la criba. Las barras se pueden girar, invertir y cambiar individualmente.

### **FORMAS DE EMPLEO:**

Cribado grueso antes de la trituración gruesa  
Cribado de conglomerados auríferos  
Cribado de carbón grueso  
Clasificación de materiales de construcción en la industria de rocas y suelos

### 13.3 CRIBA VIBRADORA SIN FUERZA MOTRIZ (PARRILLA)

Minería en general  
(Rocas + suelos)

Beneficio  
Clasificación

#### **OBSERVACIONES:**

Para la fabricación local, en vez de barras son apropiados barrenos viejos. Son baratos, resistentes al desgaste, altamente elásticos y están a disposición en el mercado local.

El límite inferior del tamaño de grano a separar puede ser de aproximadamente 50 - 100 mm

#### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Para la clasificación no mecanizada de granos gruesos, la parrilla es bastante apropiada para el empleo en la minería filoniana, en la minería de placeres y en las operaciones de la industria de rocas y suelos debido a la alta producción y sencilla construcción.



## 13.4 TROMEL CLASIFICADOR

Minería en materiales  
suelos parcialmente  
consolidados

Beneficio  
Clasificación

Español:	criba rotativa
Inglés:	sizing trommel
Aleman:	Klassiertrommel
Fabricante:	Milag, Met. Lacha, Alquexco, IAA, Buena Fortuna, FAHENA, FIMA, MAGENSA, MAEPSA, Met. Callao E.P.S.

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	número de revoluciones $18 - 25 \text{ min}^{-1}$ , velocidad periférica $< 1 \text{ m/seg}$ , diámetro desde 0.5 m, longitud 2 m en los trómel sencillos con 3 fracciones de cribado
Peso:	desde aprox. 100 kg para tamaños pequeños
Grado de mecanización:	parcialmente mecanizado
Potencia motriz:	desde 0.5 kW
Tipo de energía motriz:	hidromecánica
Posibilidades alternativas:	motor a combustión, eléctrico, manual en los modelos pequeños
Forma de trabajo:	continuo
Producción/Rendimiento:	mínimo 1 t/h
	en cribado seco: $0.27 \text{ t/m}^2\text{h}$ x mm de apertura de tamiz
	en cribado húmedo: $0.45 \text{ t/m}^2\text{h}$ x mm de apertura de tamiz
Material:	
Cuál:	agua

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	desde aprox. 1500 DM
Costos de operación:	principalmente costos de energía

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	agua		
Tamaños de grano de la alimentación:	$< 50 \text{ mm}$		
Aparato que puede reemplazar:	cribas y cribas vibratoras		
Divulgación regional:	localmente empleado en la Pequeña Minería en Latinoamérica		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	debe existir en el mercado nacional buena chapa perforada o tamices.		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Gerth, M. Priester, Treptow, Fischer, Callon, Stiff, Schubert, Rittinger

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

El trómel clasificador es una forma mecanizada de cribado húmedo en la cual están colocadas varias cribas con agujeros de tamaño cada vez más grandes o planchas perforadas en forma de un trómel cilíndrico hacia el lado de evacuación. Este trómel es accionado mediante una fuerza motriz externa y una transmisión a correa. El material de alimentación se mueve desde la criba con aberturas más pequeñas hacia la criba con aberturas más grandes. El grano de tamaño menor se extrae del cono y luego es distribuido a diferentes máquinas de concentración como jigs manuales o buddles.

## 13.4 TROMEL CLASIFICADOR

Minería en materiales  
suelos parcialmente  
consolidados

Beneficio  
Clasificación

Un regado con agua después de 100 a 120 grados de rotación, desde el punto inferior, sirve para el lavado o bien para el mejoramiento del transporte del material.

### **OBSERVACIONES:**

El trómel clasificador se caracteriza por sus altas propiedades de funcionamiento continuo. La producción depende en gran medida de las aberturas de la criba. Las cribas gruesas posibilitan mayores producciones. Los trómels con doble o triple-criba consumen menos corriente, tienen mayor producción, menor consumo de agua y menor desgaste. Descrito también como trómel clasificador accionado manualmente (Stift).

Se emplean dos diferentes tipos de construcción:

- Trómel clasificador con cribas cilíndricas y eje inclinado y
- Trómel clasificador con cribas cónicas y eje horizontal

Angulo de inclinación: 4 - 5°

Tiempo de vida en cribado húmedo hasta una producción de 20.000 t; para cribado seco hasta 100.000 t.

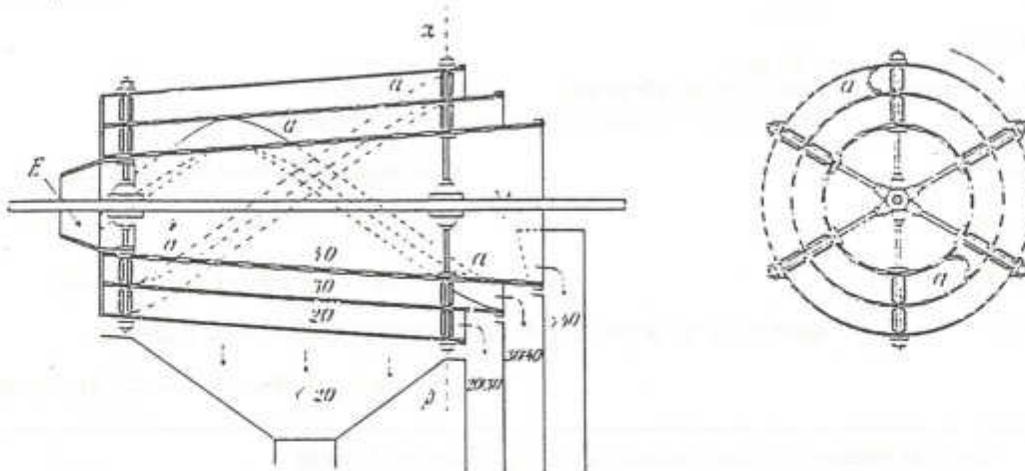
Las desventajas del trómel clasificador son comparativamente la alta demanda de energía y el pequeño efecto de limpieza propia.

Para el tratamiento de material duro, pegajoso o rico en arcilla se deberá preinstalar una parte del trómel sin criba y solo provista de estrías de arrastre. En esta parte, el material entonces se pretriturará de forma autógena.

También se emplean construcciones de trómel sin eje. Estos tienen que tener entonces una cubierta de soporte que permita el apoyo sobre rodillos, por ejemplo sobre cuatro llantas de auto, lo que conduce a una construcción más simple de la fuerza motriz.

### **APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Los trómels clasificadores son muy apropiados para las alimentaciones de clasificación gruesa y mediana en la Pequeña Minería. Este tipo de maquinaria se distingue sobre todo por su alta producción, su forma continua de trabajo y la pequeña demanda de espacio.



Dib.: Trómel clasificador concéntrico de varias etapas, con cribas cónicas para un cambio simple de las cribas. Fuente: Treptow

## 13.4 TROMEL CLASIFICADOR

Minería en materiales  
suelos parcialmente  
consolidados

Beneficio  
Clasificación



Trómel clasificador con engranaje a correa de un pequeño motor a combustión. Detrás del disco de transmisión la canaleta de alimentación la cual carga el material al interior del trómel. Beneficio de minerales de estaño en San Cristobal, Porco, Bolivia.

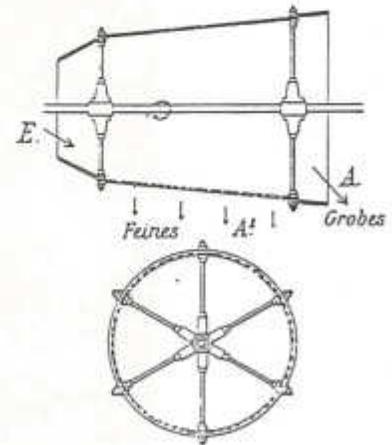
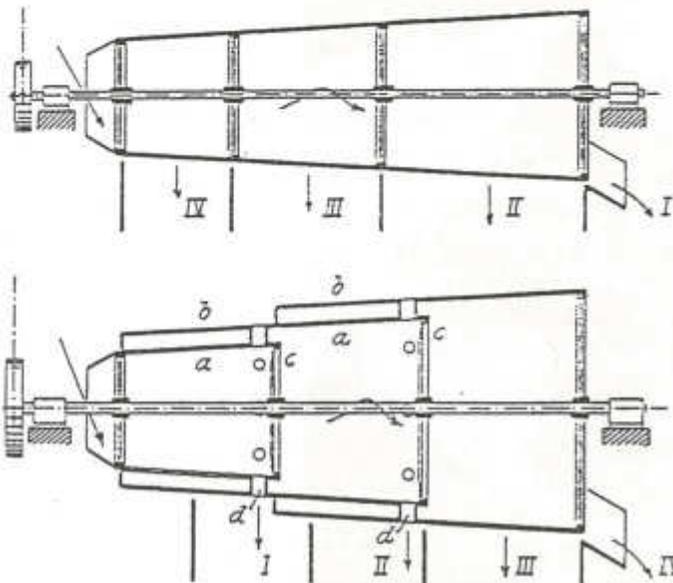


Trómel clasificador. Vista en dirección longitudinal sobre el regado de agua para la limpieza de la plancha con agujeros y ranuras de los granos atascados. Beneficio de minerales de estaño en San Cristobal, Porco, Bolivia

### 13.4 TROMEL CLASIFICADOR

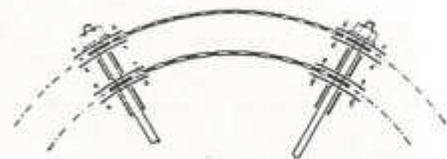
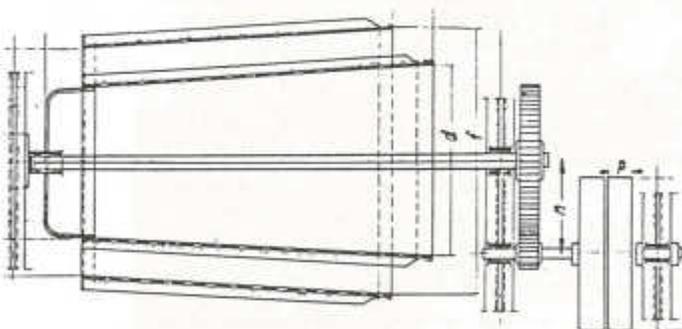
Minería en materiales  
suelos parcialmente  
consolidados

Beneficio  
Clasificación



Dib.: Trómel cónico en corte longitudinal y transversal, de Treptow

Dib.: Trómel clasificador cónico; arriba con una cubierta como criba; abajo con cribas concéntricas, de Fischer



Dib.: Dispositivo para deslizar las planchas de la criba a un trómel concéntrico, de Treptow

Dib.: Trómel clasificador de doble cubierta, de Gerth

## 13.5 CLASIFICADOR DE CAJA EN PUNTA

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

Español:	caja en punta
Inglés:	Spitzkasten
Aleman:	Spitzkasten
Fabricante:	FIMA

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	desde aprox. 1 x 0.8 x 2 m hasta varios metros de ancho y > 10 m de largo
Peso:	desde aprox. 40 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	solo la corriente del agua de proceso
Forma de trabajo:	continua
Material:	
Cuál:	agua
Cantidad:	pulpa con $\leq 40\%$ de volumen de sólidos.

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	aprox. 200 DM de fabricación propia
Costos de operación:	solo costos de personal

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	es necesario agua		
Tamaños de grano de la alimentación:	1 mm hasta fracción de lama		
Recuperación:	Separa en varios diferentes tamaños de grano, por ejemplo, con 3-cámaras-cajas en punta en 3 fracciones más 1 de lama. La clasificación con cajas en punta conduce a procesos de concentración con mayores grados de separación con mesas vibradoras, buddles, canaletas, etc., que la clasificación mediante cribas.		
Aparato que puede reemplazar:	clasificación mediante cribas		
Divulgación regional:	rara		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller de carpintería simple		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Treptow, Quittkat, Priester, Callon

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

De la pulpa llega al próximo recipiente donde la próxima fracción más fina se sedimenta y se extrae de forma análoga.

### FORMAS DE EMPLEO:

Clasificación de fracciones medianas y finas para la alimentación de maquinarias de concentración gravimétricas hidromecánicas.

## 13.5 CLASIFICADOR DE CAJA EN PUNTA

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

### OBSERVACIONES:

- La extracción de fracciones de grano fino extraviadas puede ser evitada mediante la introducción de agua por la parte inferior (cajas en punta con agua clara en contracorriente)
- Las paredes tienen un ángulo de inclinación  $> 50^\circ$
- Rittinger da las siguientes ayudas de dimensionamiento y cálculo para las cajas en punta:

Para cada  $m^3$  de pulpa de alimentación introducida por minuto resultan las relaciones de medida para cada cajón:

Nro. Ancho Largo  $\varnothing$  del material extraído

1	1 m	2 m	40 % del peso
2	2 m	3 m	20 % del peso
3	3 m	4 m	18 % del peso
4	4 m	5 m	10 % del peso

La afluencia de la pulpa deberá ser aproximadamente 45 lt por minuto y  $m^2$  de superficie de agua.

en el rebalse de lamas 4 %

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

El clasificador de cajas en punta como un aparato de clasificación para grano fino sin fuerza motriz es muy apropiado para el tratamiento de fracciones finas en la Pequeña Minería debido a su construcción robusta, su forma continua de trabajo y los bajos costos de inversión.

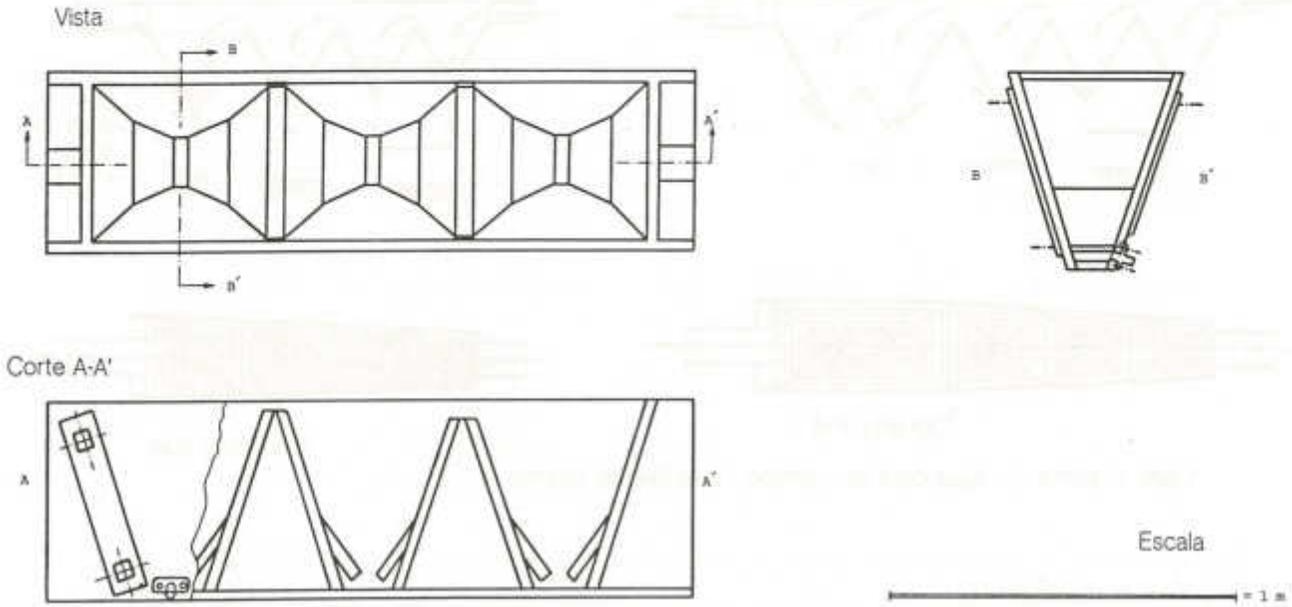


Cajas en punta de madera para hidroclasificación en tres etapas, San Marcos, Potosí, Bolivia

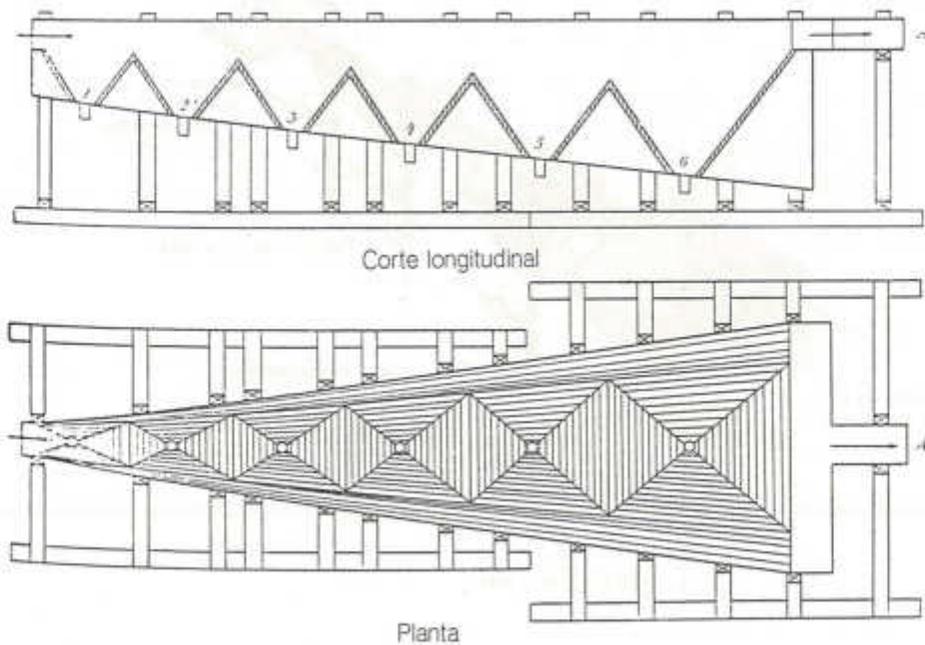
### 13.5 CLASIFICADOR DE CAJA EN PUNTA

Minería en general

Beneficio  
Clasificación



Dib.: Cajas en punta de madera, de Priester

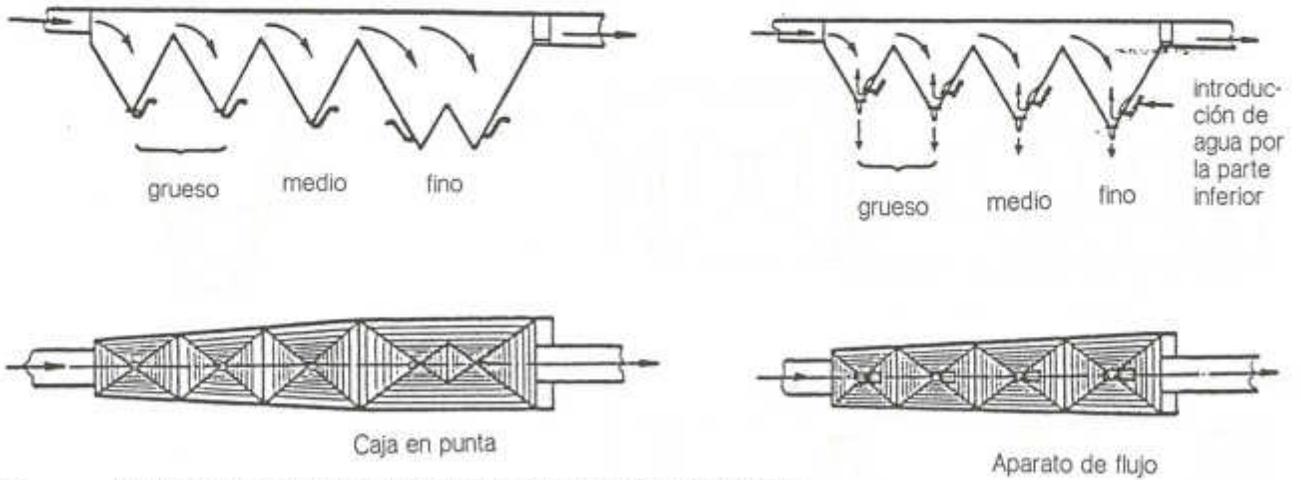


Dib.: Cajas en punta, de Treptow

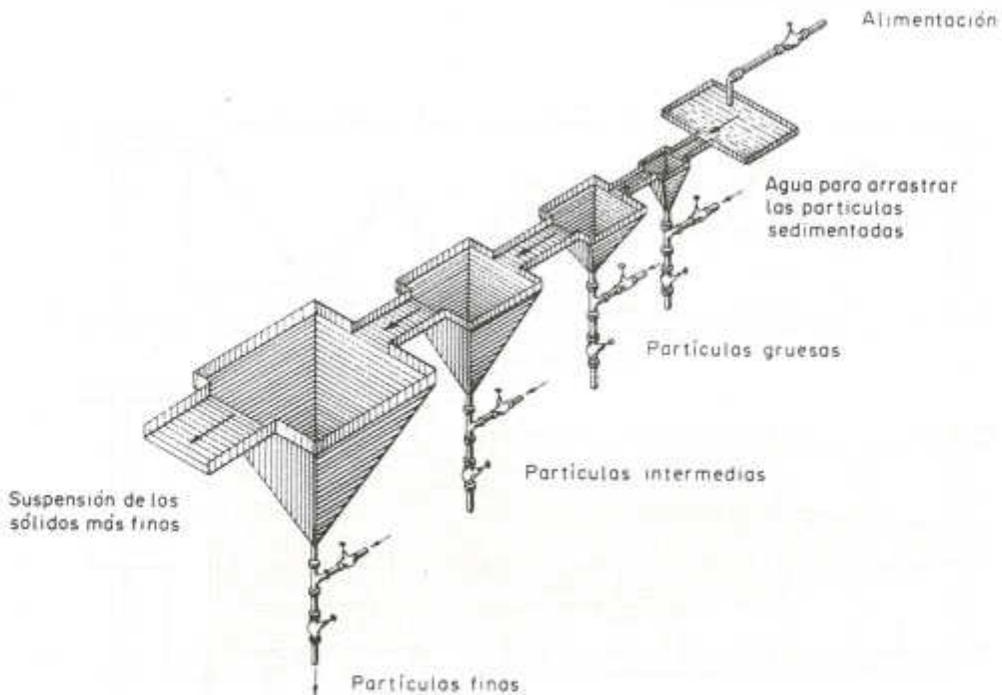
# 13.5 CLASIFICADOR DE CAJA EN PUNTA

Minería en general

Beneficio  
Clasificación



Dib.: Cajas en punta con agua clara en contracorriente, Fuente: Quittkat



Dib.: Cajas en punta con contracorriente, de Otero

## 13.6 HIDROCLASIFICADOR DE CORRIENTE ASCENDENTE

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

Español:	clasificador hidráulico, clasificador de cámaras
Inglés:	hydraulic classifier
Aleman:	Aufstrom-Hydroklassierer, Kammerklassierer
Fabricante:	Denver Perú, TMM Potosí Bolivia

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	60 x 60 x 100 cm alto, ancho, profundidad
Peso:	aprox. 50 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	solamente agua del proceso + agua adicional
Forma de trabajo:	continua
Producción/Rendimiento:	> 0.5 t/h
Grado de rendimiento técnico:	alto grado de separación
Material:	
Cuát:	agua

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	3 cámaras, CIF La Paz 9000 US\$; Taller metal-mecánico Potosí 500 DM
Costos de operación:	muy bajos, bajos costos de personal

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal:	es necesaria experiencia para la regulación.		
Exigencias al lugar:	son necesarias agua y diferencia de altura		
Tamaños de grano de la alimentación:	< 1 mm		
Recuperación:	separa según la caída uniforme en tres fracciones y un rebalse de lama		
Aparato que puede reemplazar:	clasificación mediante criba, cajas en punta		
Divulgación regional:	mundial		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	buenos talleres de carpintería o metal-mecánicos, en el mercado nacional deben existir tamices de buena calidad		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Priester, Quittkat, Schubert, EP 0012740

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

En el hidroclasificador de corriente ascendente la separación se realiza en tres o más fracciones más un rebalse de lama en una cámara de clasificación separada por paredes más o menos altas. Para cada fracción existe una base de tamiz con introducción de agua por la parte inferior, por lo cual se forma un lecho fluidizado o bien una capa en torbellino. Correspondientemente la extracción de los productos de clasificación se realiza mediante tubos de extracción colocados en la parte central del lecho fluidizado con llaves regulables. En la dirección de la corriente de la pulpa se extraen productos cada vez más finos o sea productos con cada vez menor velocidad final de caída. La regulación se realiza tanto mediante la introducción de agua por la parte inferior como también por la posición de las llaves.

## 13.6 HIDROCLASIFICADOR DE CORRIENTE ASCENDENTE

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

### FORMAS DE EMPLEO:

Clasificación de fracciones de granos finos en varias fracciones en proceso continuo.

### OBSERVACIONES:

El grado de separación es mayor que en las cajas en punta. La regulación exige altos valores de experiencia hasta que se encuentre la posición óptima para el material de la alimentación correspondiente. El beneficio de minerales sulfurados exige altas calidades de material, especialmente respecto al material del tamiz, pues las aguas de proceso son generalmente ácidas y conducen a una corrosión extremadamente rápida.

La nueva literatura sobre patentes hace referencia sobre un clasificador hidráulico con corriente transversal con una sección transversal alta, muy angosta, un volumen de espacio de clasificación pequeño y producción comparativamente pequeña, como pieza central de un aparato para el análisis de distribuciones de granos de hormigón. A cambio de esto, el aparato ofrece la posibilidad de extraer hasta siete fracciones en forma continua o semicontinua. Este principio de construcción se podría aplicar también a los clasificadores de cámara para fines del beneficio.

### APTITUD PARA LA PEQUEÑA MINERÍA:

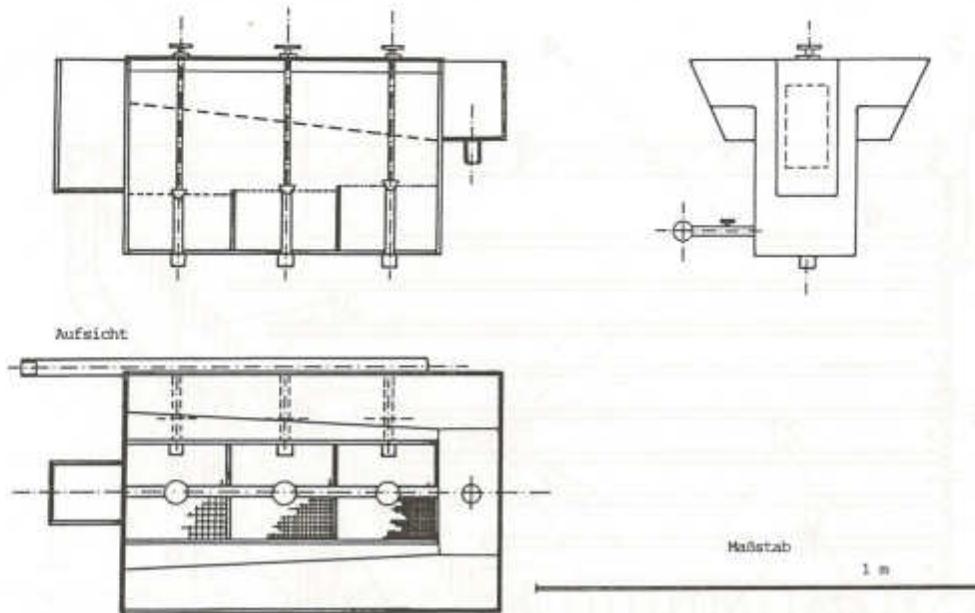
La aptitud del clasificador con cámaras para el empleo en la Pequeña Minería se estima como muy buena. Los bajos costos de inversión, la aptitud para la fabricación local, el principio de trabajo sin fuerza motriz y la alta producción caracterizan a este aparato. Condición para el empleo óptimo es la experiencia en la regulación, la cual se puede alcanzar a un principio solo mediante entrenamiento en el trabajo (demanda de instrucción).



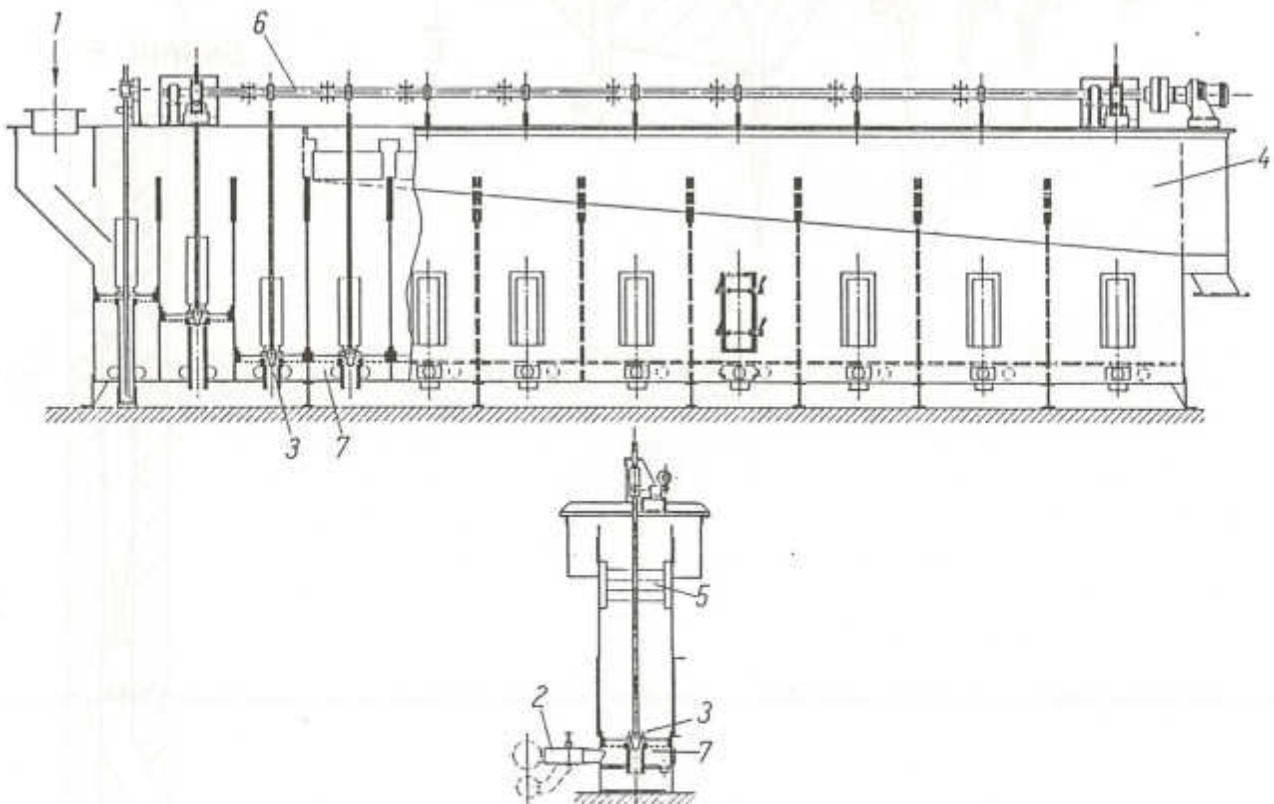
Hidroclasificador de corriente ascendente para la clasificación en medio fluido en tres clases de granos, de fabricación local en Bolivia. En la parte posterior, el cajón de alimentación; delante, la cámara de separación con rebalse de lama. A un lado, las instalaciones regulables separadas para la introducción de agua por la parte inferior. Arriba, la regulación de las llaves. Precio aprox. 500 DM. Planta Piloto de la Cooperativa Villa Imperial, Potosí, Bolivia.

### 13.6 HIDROCLASIFICADOR DE CORRIENTE ASCENDENTE

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

Dib.: Bosquejo de construcción de un clasificador hidráulico, modelo taller metalmecánico de Potosí, de Priester.

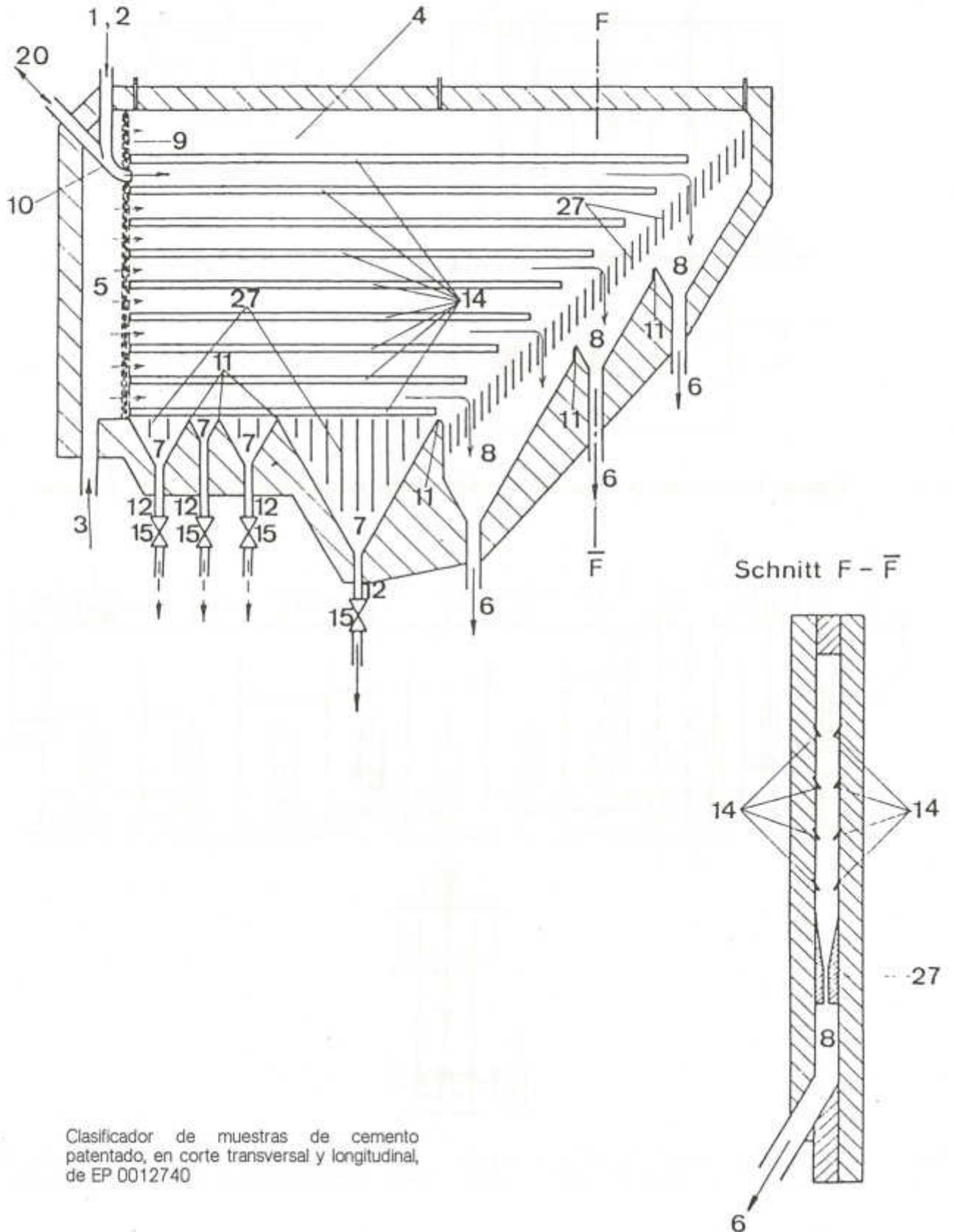


Dib.: Clasificador de cámara: 1) entrada de la pulpa, 2) entrada para el agua proveniente de la parte inferior, 3) evacuación de arena, 4) rebalse de lama, 5) tranca de rebalse, 6) eje de levas, 7) piso agujereado, de Quittakt

# 13.6 HIDROCLASIFICADOR DE CORRIENTE ASCENDENTE

Minería en general

Beneficio  
Clasificación



Dib.: Clasificador de muestras de cemento patentado, en corte transversal y longitudinal, de EP 0012740

**13.7 HIDROCICLON****Minería en general  
(Oro, Minerales)****Beneficio  
Clasificación**

Inglés:	hydrocyclone
Aleman:	Hydrozyklon
Fabricante:	AKW, Schauenburg, Dorr-Oliver, Warman, Mozley, Eduardo, Met. Lacha, Volcán, Eq. Ind. Astecnia, IAA, INCOMAQ, Buena Fortuna, COMESA, FAHENA, FIMA, MAGENSA

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	ciclón individual con $\varnothing$ 10 - 1.000 mm
Peso:	desde aprox. 1 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado, cuando el aparato trabaja solamente con la presión hidrostática de la pulpa
Potencia motriz:	presión de la pulpa
Tipo de energía motriz:	hidrostática, presiones más altas solamente con bomba, 0,3 - 40 bar
Posibilidades alternativas:	bomba con fuerza motriz eléctrica o hidromecánica
Forma de trabajo:	continua
Producción/Rendimiento:	capacidades de flujo de pulpa hasta > 100 t/h, 100 - 2.000 g aceleración, capacidad de flujo es f (diámetro de las boquillas de alimentación y de la presión de la alimentación). Separación de tamaños de grano entre 5 y 2.150 $\mu\text{m}$ (máx. 500 $\mu\text{m}$ )
Material:	
Cuát:	agua

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	$\leq$ 1.000 DM
Costos de operación:	bajos
Costos derivados:	tuberías para agua a presión y eventualmente bomba para pulpa

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	
Gastos de mantenimiento:	bajos	
Exigencias al personal:	bajas	
Exigencias al lugar:	es necesario agua y diferencia de altura	
Tamaños de grano de la alimentación:	tamaño de grano a separar hasta 500 $\mu\text{m}$	
Propiedades específicas de la alimentación:	mientras mayor sea el tamaño de grano a separar mayor tendrá que elegirse el $\varnothing$ del ciclón.	
Recuperación:	según la forma de construcción del hidrociclón, mayor será la clasificación (ciclones de ángulo agudo) o mayor será la concentración (ciclones de ángulo obtuso).	
Aparato que puede reemplazar:	maquinaria de clasificación y concentración para fracciones de tamaño de grano fino	
Divulgación regional:	raro en Latinoamérica pero en otras partes muy divulgado	
Experiencia del operador:	muy buena	
Contaminación ambiental:	baja	
Facilidad de fabricación local:	muy buena	
Bajo qué condiciones:	taller metal-mecánico o taller para plásticos especiales para ciclones de baja presión	
Tiempo de vida:	Según la abrasión de la alimentación	

## 13.7 HIDROCICLON

Minería en general  
(Oro, Minerales)

Beneficio  
Clasificación

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La presión hidrostática acelera la pulpa, la que ingresa al ciclón a través de una boquilla de ingreso tangencial. Mediante el efecto de estrangulación del paso de la parte cónica inferior la pulpa rotante se separa en dos flujos de pulpa, uno que cae hacia afuera y otro que sube por la parte interna. De esta manera, el material pesado o sea el material grueso se concentra hacia las paredes del ciclón siendo extraído en la parte inferior y el material liviano, o sea el material fino, en la parte central del ciclón extrayéndolo por la parte superior (ver bosquejos).

Las formas del hidrociclón se diferencian según la forma de uso:

- hidrociclón con ángulo agudo: separación sólido - líquido (espesamiento, separación de material sólido), ángulo del cono 10 - 20°;
- forma intermedia: clasificación (ángulo del cono < 20°),
- hidrociclón cilíndrico: concentración, producción de preconcentrado, etc. (Ciclones-CBC).

### **FORMAS DE USO:**

- Espesamiento de pulpas de tamaño de grano finísimo, suspensiones, etc.
- Deslame
- Clasificación p. ej., para trituración cuidadosa con preclasificación y clasificación intermedia en circuitos de molienda
- Clasificación selectiva p.ej., de dos materiales finos diferentes (p. ej., arena de cuarzo, caolín )
- Concentración o clasificación concentradora para preenriquecimiento de fracciones finas de minerales pesados, por ejemplo, en los minerales de oro, estaño, wolframio.

### **FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Concentración en medios densos en ciclones de pulpa pesada con ferrosilicio.

La separación se lleva a cabo en una pulpa con magnetita o FeSi con una densidad de pulpa controlada. El material pesado se recupera luego de la pulpa mediante separación magnética. Las mejores experiencias se realizaron con materiales pesados los que debido a su forma de grano redondeada y a su proceso de fabricación conducen a

- menor viscosidad de la pulpa,
- mayor resistencia a la corrosión,
- menor desgaste mecánico del polvo,
- menor desgaste mecánico de la máquina,
- menores fuerzas de adhesión a la superficie de los productos beneficiados

Densidades de pulpa entre 2 y 3.8 kg/lt se pueden alcanzar con FeSi con las cuales se pueden concentrar minerales de hierro, manganeso, cromo, plomo, zinc, estaño, fluorita, barita, diamantes, grava y cascajo.

### **OBSERVACIONES:**

La clasificación con hidrociclones previa a aparatos de concentración como separadores helicoidales, mesas o buddies donde se concentra principalmente según la superficie del grano expuesta al flujo, conduce a procesos de concentración con mucho mayores grados de separación que si se clasificara mediante cribas.

### **INDICACIONES PARA LA CONSTRUCCION:**

La parte de desgaste más importante del ciclón es la boquilla inferior de descarga (apex), por la cual tiene que atravesar la fracción gruesa con una presión relativamente alta. Para una prolongación del tiempo de vida del ciclón se usan las siguientes formas de la boquilla de descarga:

- revestimiento de porcelana dura
- boquillas de descarga cambiables de material resistente al desgaste, (goma, poliuretano, porcelana dura)
- boquillas de descarga de goma regulables neumáticas
- boquillas de descarga de goma regulables manuales

## 13.7 HIDROCICLON

Minería en general  
(Oro, Minerales)

Beneficio  
Clasificación

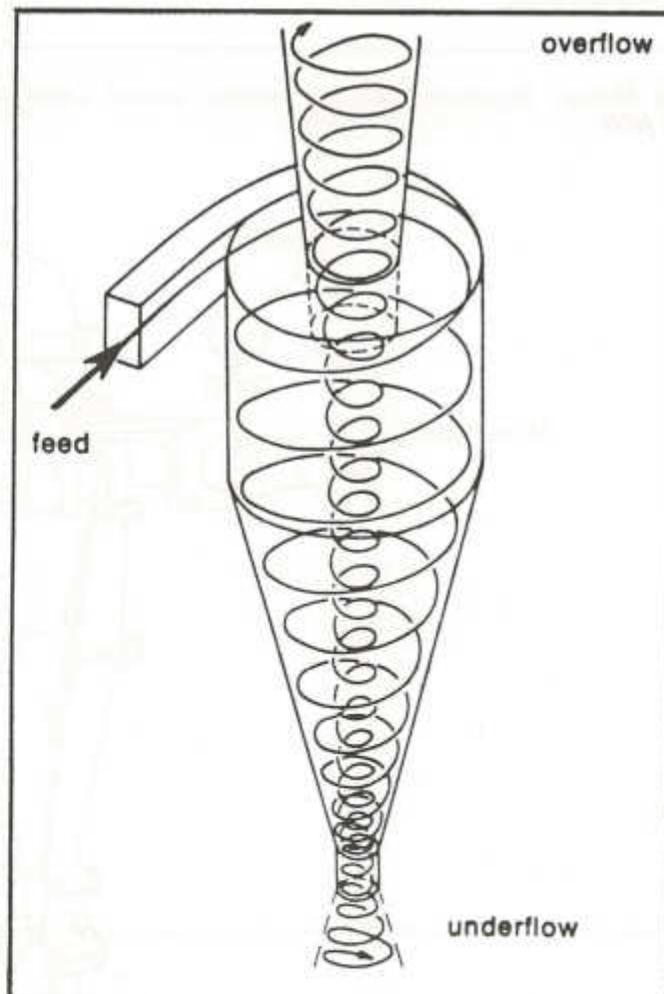
Las siguientes medidas son recomendables para los ciclones normales cónico cilíndricos de ángulo agudo con ángulos de admisión entre 10 - 20°:

$D_i = (0.15 - 0.25) D_C$ con	$D_C$ : diámetro del ciclón
$D_o = (0.20 - 0.40) D_C$ con	$D_i$ : diámetro de la boquilla de alimentación
$D_a = (0.15 - 0.80) D_o$ con	$D_o$ : diámetro de la boquilla de rebose
	$D_a$ : diámetro de la boquilla de descarga

Mientras más fino sea elegido el tamaño de grano de separación menor tendrá que ser el diámetro del ciclón y mayor la presión de la alimentación.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:

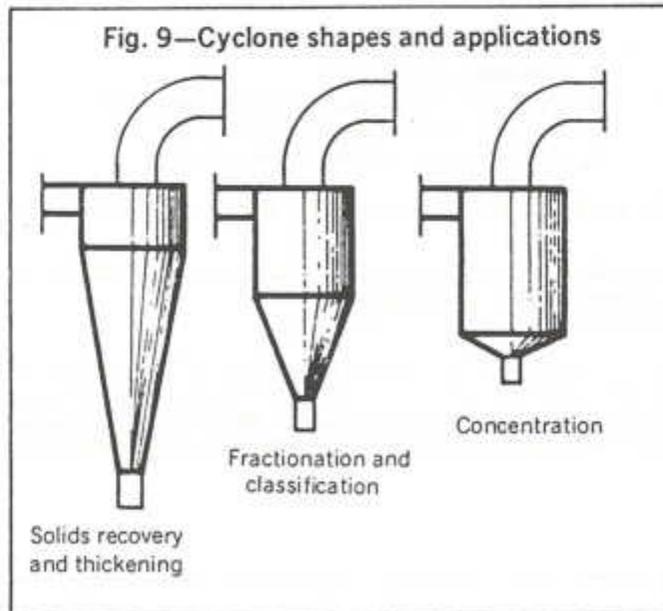
El hidrociclón es muy apto para la Pequeña Minería, debido a las variadas posibilidades de empleo como ser en el deslame, la clasificación y la concentración. La condición para el empleo sin fuerza motriz es la existencia del desnivel necesario (3 - 10 m). Aunque los hidrociclones puedan ser construidos localmente, solo tiene sentido emplearlos en casos excepcionales sobre todo para la clasificación concentradora. Los hidrociclones son comparativamente fáciles y económicos de construir.



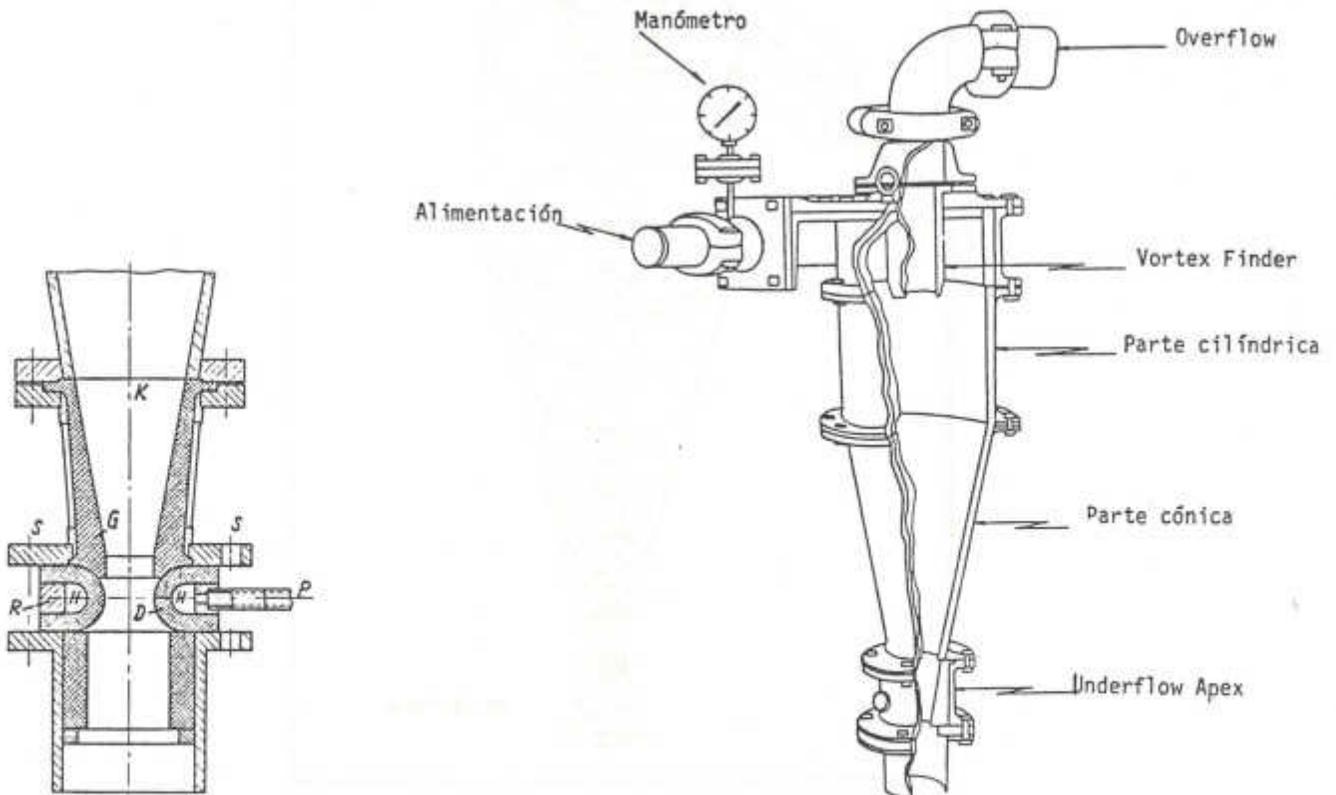
13.7 HIDROCICLON

Minería en general  
(Oro, Minerales)

Beneficio  
Clasificación



Dib.: Diferentes formas de ciclones: (izquierda), Ciclón deslamador; (centro) Ciclón clasificador; (derecha) Ciclón concentrador. Fuente: AKW



Dib.: Boquilla de descarga de control neumático de Elastomer para hidrociclones, de Guelt

Dib.: Construcción de un hidrociclón en forma modular, Fuente: Shoukry

**13.8 ATRISIONADOR****Minería en general****Beneficio  
Clasificación**

Español:	clasificador de espiral
Inglés:	logwasher
Aleman:	Logwasher, Spiralklassierer
Fabricante:	Clasificador en espiral : FUNSA, Volcán, IAA, COMESA, FAHENA, FIMA, Famia, Fund. Callao, MAGENSA, MAEPSA, Met. Mec. Soriano, PROPER, FAMESA

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	1 x 1 x 8 m alto, ancho, profundidad, ángulo de inclinación 1 : 20, diámetro del tronco 18", longitud de las palas 9", posible también en menores tamaños
Peso:	varias toneladas
Grado de mecanización:	parcialmente mecanizado
Potencia motriz:	hasta 25 PS, en los clasificadores dobles hasta 30 PS, 15 - 20 min <sup>-1</sup>
Tipo de energía motriz:	transmisión a correa de motores a combustión, motor eléctrico
Posibilidades alternativas:	turbina/rueda hidráulica
Forma de trabajo:	semicontinua
Producción/Rendimiento:	hasta 100 t/24 h
Material:	
Cuát:	agua
Cantidad:	hasta 200 lt/min

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	de fabricación local 1000 - 5000 DM
Costos de operación:	según la fuerza motriz

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	la demanda de agua tiene que ser cubierta		
Tamaños de grano de la alimentación:	< 5 - 10 cm		
Recuperación:	clasificación en el rebalse inferior (lama y fracción fina) y en el rebalse superior (fracción gruesa)		
Aparato que puede reemplazar:	clasificador de espiral		
Divulgación regional:	USA, Australia		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
	si hay disponibilidad de madera dura		
Bajo qué condiciones:	taller de carpintería, taller metal mecánico		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: de Bernewitz, Schennen

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Análogo al clasificador de espiral. La pulpa alimentada en el tercio inferior es separada mediante las palas en una corriente ascendente de los granos gruesos y pesados y una corriente descendente de los granos livianos. El cajón del clasificador con una sección rectangular se llena con material durante el inicio del proceso antes que se realice la clasificación en sí.

## 13.8 ATRISIONADOR

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

### FORMAS DE USO:

Deslame, clasificación, desagüe y clasificación del material molido en circuitos de molienda.

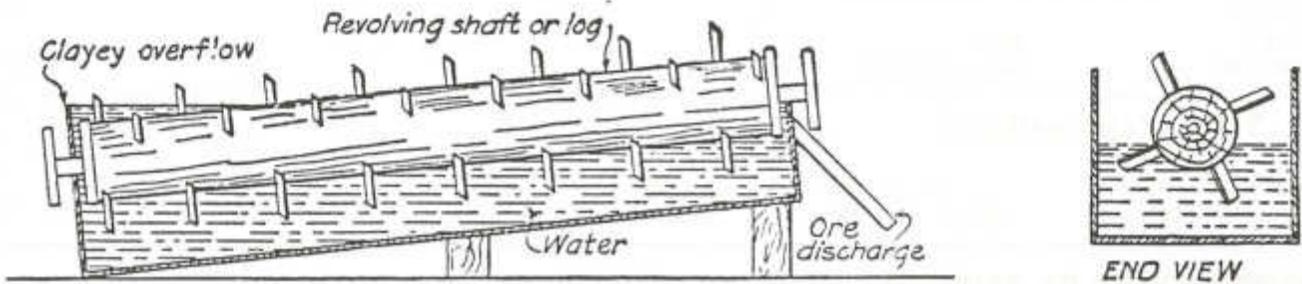
### OBSERVACIONES:

En la construcción no se necesita prestar atención a la adaptación de la forma de la caja a la sección del tronco con las palas, debido a que el espacio intermedio se llena con mineral.

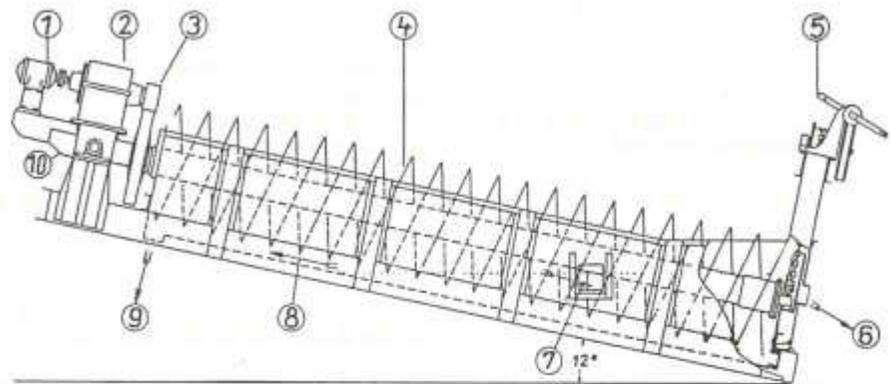
El tamaño de grano de separación se determina por el correspondiente ángulo de inclinación.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:

Los atrisionadores de dimensiones pequeñas también son de empleo práctico para la clasificación en la Pequeña Minería, si se dispone de una fuerza motriz apropiada sin altos costos de energía. Los atrisionadores son muy aptos para la fabricación local.

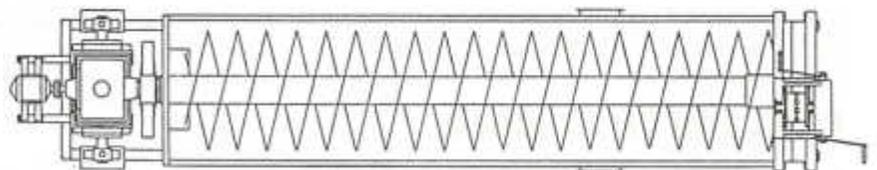


Dib.: Representación esquemática de un atrisionador, Fuente: Bernewitz



Dib.:

Esquema de un clasificador de espiral individual. 1) motor, 2) engranaje, 3) ruedas dentadas, 4) espiral 5) dispositivo de elevación, 6) rebalse, 7) afluencia, 8) dirección de transporte, 9) descarga, 10) travesa, de Schmiechen



## 13.9 CLASIFICADOR TRANSPORTADOR A RASTRILLO

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

Inglés: rake classifier  
 Aleman: Rechenklassierer  
 Fabricante: Volcán, Eq. Ind. Astecnia, IAA, COMESA, FAHENA, MAENSA, FAMESA

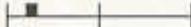
### DATOS TECNICOS:

Medidas: 1.2 x 3.5 x 1 m, alto ancho, profundidad para un pequeño clasificador a rastrillo, ritmo de trabajo 10 - 30 min<sup>-1</sup>, ángulo de inclinación mín. 12°  
 Peso: aprox. 600 kg  
 Grado de mecanización: totalmente mecanizado  
 Potencia motriz: 1.5 PS  
 Tipo de energía motriz: mecánica con motor eléctrico, motor a combustión, turbina  
 Forma de trabajo: continua  
 Producción/Rendimiento: 0.5 - 1 t/h  
 Material:  
 Cuál: agua

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión: por lo menos 10.000 DM en fabricación local  
 Costos de operación: bajos, principalmente debido a costos de energía

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al lugar: ninguna, excepto agua

Tamaños de grano de la alimentación: alto porcentaje de tamaño de grano fino necesario (0.1 - 0.5 mm) para garantizar una suspensión estable. Solo de esta manera el clasificador a rastrillo puede clasificar con un buen grado de separación.

Propiedades específicas de la alimentación: 30 - 50 % de volumen de sólidos en la pulpa

Recuperación: la regulación de la clasificación se realiza mediante el control de la densidad de pulpa

Aparato que puede reemplazar: clasificador de espiral

Divulgación regional: muy rara

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: empresas mecánicas nacionales

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Gerth

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

En una batea inclinada el material grueso es arrastrado hacia arriba mediante un rastrillo. En el punto muerto el rastrillo es elevado, movido hacia abajo y luego nuevamente bajado hasta el piso de la batea. El material de tamaño fino queda suspendido y rebalsa en el extremo inferior de la batea. La alimentación de la pulpa se encuentra a alrededor de 1/3 de la longitud de la batea desde el extremo inferior.

## 13.9 CLASIFICADOR TRANSPORTADOR A RASTRILLO

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

### **FORMAS DE USO:**

Para clasificación intermedia de las descargas de molino en circuitos cerrados de molienda.

### **OBSERVACIONES:**

Desgaste muy bajo, solamente en el rastrillo.

Debido a la posibilidad de regulación de altura del rastrillo, éste tiene una vida muy larga. Gerth da un tiempo de vida del rastrillo clasificando mineral de plomo y zinc de aproximadamente 30.000 t de producción (altura del rastrillo a regular de 60 a 20 mm)

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Los clasificadores de rastrillo se caracterizan por su sencilla construcción y bajo desgaste y son apropiados para la Pequeña Minería en caso que empresas mecánicas nacionales se hagan cargo de la construcción.

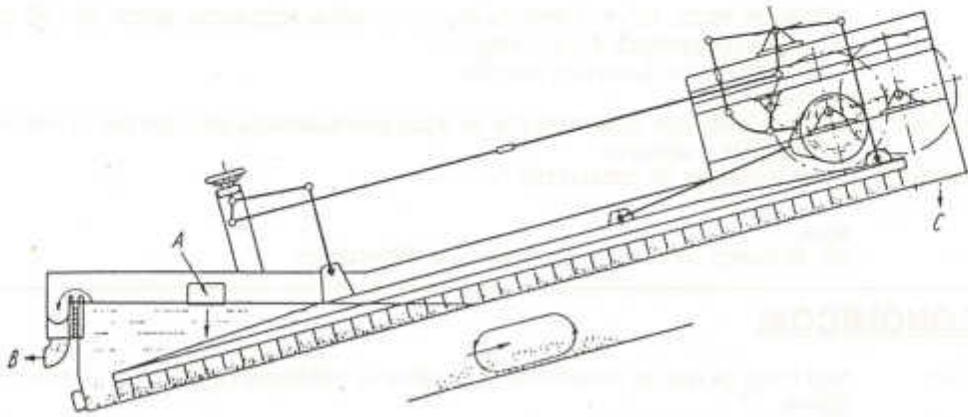


Clasificador de rastrillo con fuerza motriz hidromecánica para la clasificación de productos de molienda. Minería aurífera de Portovelo, El Oro, Ecuador.

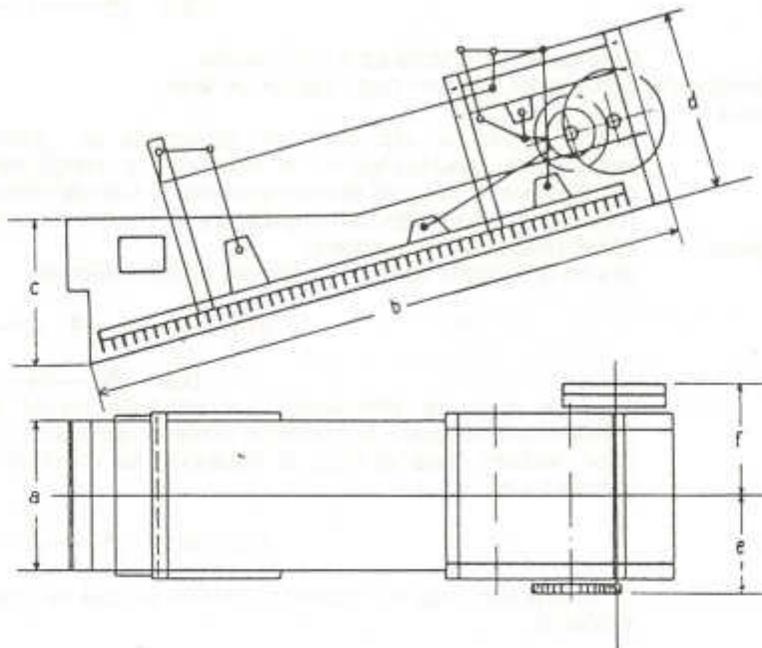
## 13.9 CLASIFICADOR TRANSPORTADOR A RASTRILLO

Minería en general

Beneficio  
Clasificación



Dib.: Esquema de una clasificador a rastrillo, de Schmiechen.



Dib.: Vistas simplificadas de un clasificador a rastrillo, Fuente: Schmiechen

## 13.10 CANALETA DE LAVADO

### Minería en general

### Beneficio Clasificación

Español:	canaleta de relavado, canaleta de limpieza
Inglés:	washing sluice
Aleman:	Läuterrinne, Abläuterrinne, Waschrinne

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	inclinación: aprox. 10°, en forma de gradas en varios segmentos, aprox. 50 - 60 cm de ancho, 50 cm de profundidad, 4 - 5 m longitud
Peso:	construcción en el suelo con paredes
Grado de mecanización:	no mecanizada
Tipo de energía motriz:	se utiliza la energía de la corriente de agua, eventualmente apoyada por el removido con rastrillo, pala o similares
Producción/Rendimiento:	varias toneladas de material por hora
Material:	
Cuát:	agua
Cantidad:	por lo menos 10 veces la cantidad de la alimentación

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	muy bajos ya que las paredes de la canaleta se construyen en el suelo con un mínimo de gastos
Costos de operación:	solamente costos de personal
Costos derivados:	instalación de beneficio para la pulpa con granos de tamaño finos, por ejemplo, buddles o mesa concentradora cónica

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	----- -----■	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■----- -----	altos
Exigencias al lugar:	tiene que haber mucha agua a disposición		
Tamaño de grano de la alimentación:	desde aprox. 200 mm hasta fracción de lama		
Propiedades específicas de la alimentación:	lavado, o sea la separación de estructuras de grano fuertemente aglutinadas, parcialmente consolidadas en el beneficio de conglomerados y brechas y en el retratamiento de antiguos desmontes como también de material de lugares minados la fracción gruesa es tan bien limpiada que es posible el escogido a mano		
Recuperación:	trómel lavador, molino autógeno		
Aparato que puede reemplazar:	rara en la Pequeña Minería, por ejemplo, en Bolivia/Potosí		
Divulgación regional:			
Experiencia del operador:	muy buena	-----■-----	mala
Contaminación ambiental:	baja	■----- -----	muy alta
	Según la clase de alimentación, contaminación parcial de lamas, por lo que es urgentemente necesaria la instalación posterior de una concentración del grano finísimo como también, dado el caso, la instalación de un dique de lamas o un dique de sedimentación		
Facilidad de fabricación local:	muy buena	■----- -----	mala
Bajo qué condiciones:	la construcción local es fácilmente posible ya que se trata de trabajos sencillos de albañilería.		
Tiempo de vida:	muy largo	■----- -----	muy corto

Literatura, Fuente: Rittinger

## 13.10 CANALETA DE LAVADO

Minería en general

Beneficio  
Clasificación

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

En la canaleta de lavado la alimentación es separada en sus componentes individuales mediante la energía de la corriente de agua y por movimientos artificiales.

### FORMAS DE USO:

Para trituración y clasificación de conglomerados y brechas levemente consolidadas, como también de minerales extraídos de interior mina aglutinados, de viejos desmontes y de lugares minados.

### OBSERVACIONES:

En el tratamiento de cargas de alimentación ricas en arcilla, por ejemplo, de lugares minados, el material es mezclado con agua en una fosa y removido constantemente mediante pisadas o picado con un rastrillo o pico. Así se vencen las fuerzas de adhesión y cohesión de las fracciones enmasilladas de arcilla. Este proceso en la región quechua pariente se llama ch'etachado. Este proceso es muy laborioso, pero representa la única posibilidad de tratar cargas ricas en arcilla, para operaciones no mecanizadas en combinación con un lavado posterior en la canaleta.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

El lavado en canaleta es el método más sencillo de la trituración y clasificación de cargas de alimentación levemente consolidadas o ricas en arcilla.



Canaleta de lavado para la clasificación de material de lugares minados de una mina de plomo y plata. Los mineros palean el material constantemente entre las trancas de la canaleta para mejorar la separación y la evacuación del material liviano. Planta de beneficio de la Cooperativa Villa Imperial, Potosí, Bolivia.



## Capítulo técnico 14: Concentración gravimétrica

<b>14.1</b>	<b>CONCENTRACION GRA-VIMETRICA MANUAL EN CRIBAS PEQUEÑAS</b>	<b>Minería metálica Minería de piedras preciosas</b>	<b>Beneficio Concentración</b>
-------------	--	--	------------------------------------

Español: criba pequeña para concentración  
 Inglés: manual jigging in a sieve  
 Aleman: Handsetzen im engen Sieb, Setzsieb

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: aprox. 15 x 30 x 20 cm, alto, ancho, profundidad  
 Peso: aprox. 0.5 - 1 kg  
 Grado de mecanización: no mecanizada  
 Tipo de energía motriz: manual  
 Forma de trabajo: intermitente  
 Producción/Rendimiento: 0.5 - 1.5 kg/H x min  
 Material:  
 Cuát: agua  
 Cantidad: poca

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: < 10 DM  
 Costos de operación: bajos, solamente costos de personal (sueldos)

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos 
Gastos de mantenimiento:	bajos 
Exigencias al personal:	bajas
Tamaño de grano de la alimentación:	(50) 200 $\mu\text{m}$ - 2 mm
Propiedades específicas de la alimentación:	gran diferencia de densidad entre el mineral valioso y la ganga
Recuperación:	relativamente alta debido a la sensible regulación
Aparato que puede reemplazar:	lavado en canaletas
Divulgación regional:	Bolivia
Experiencia del operador:	muy buena 
Problema:	muy bajo rendimiento
Contaminación ambiental:	baja 
Facilidad de fabricación local:	muy buena 
Bajo qué condiciones:	el material para los tamices tiene que estar a disposición
Tiempo de vida:	muy largo 

Literatura, Fuente: M. Priester, Agrícola, Löhneyss

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El proceso manual de sedimentación se realiza mediante un movimiento constante de sumergir y emerger la criba pequeña en el agua. Mediante movimientos de oscilación del material de sedimentación se concentra la carga: abajo el concentrado, encima el producto intermed, arriba la ganga. El mineral valioso se concentra por la alimentación repetida del material y la extracción de la ganga se realiza con una espátula.

### **FORMAS DE USO:**

Refinación/relimpieza de productos finos y medios.

## 14.1 CONCENTRACION GRAVIMETRICA MANUAL EN CRIBAS PEQUEÑAS

Minería metálica  
Minería de piedras preciosas

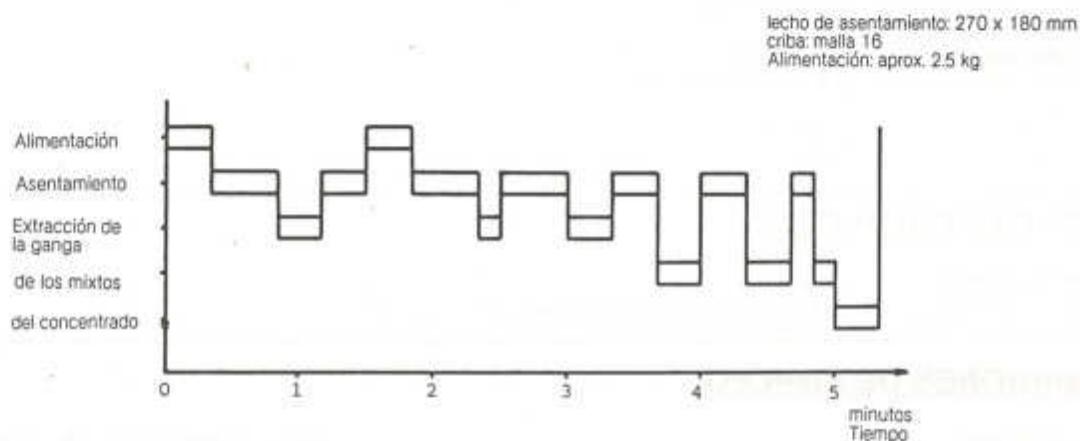
Beneficio  
Concentración

### OBSERVACIONES:

Técnica muy intensiva en trabajo con muy bajo rendimiento.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

La técnica de la concentración gravimétrica manual en cribas, debido al alto esfuerzo físico y bajo rendimiento específico, es práctica solamente para tareas especiales, por ejemplo, en la prospección y exploración y en el tratamiento de pequeñas cantidades de material de alimentación que necesitan una concentración con alto grado de separación.



Dib.: Cronograma de trabajo de un proceso de concentración (sedimentación) gravimétrica manual en una criba pequeña

**14.2 MARITATE**

**Minería Metálica**  
**Minería del carbón**

**Beneficio**  
**Concentración**

Inglés: handjig  
Aleman: Einfache Handsetzmaschine, Stauchsetzmaschine

**DATOS TECNICOS:**

Altura del material a tratar: 5 - max. 10 cm, profundidad de sumersión 2" en los gruesos, < 1" en los finos, frecuencia 80 min<sup>-1</sup> (material grueso) hasta 120 min<sup>-1</sup> (material fino)  
Medidas: aprox. 2 x 1 x 3 m altura, ancho, profundidad  
Peso: aprox. 100 kg  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Tipo de energía motriz: manual  
Posibilidades alternativas: pedal, hidromecánica  
Forma de trabajo: intermitente  
Producción/Rendimiento: 5 - 10 kg/H min  
Material:  
Cuál: agua  
Cantidad: poca

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: aprox. 250 DM, en construcción propia más bajos  
Costos de operación: muy bajos, prácticamente solo costos de personal  
Costos derivados: ninguno

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al personal: pocas  
Exigencias al lugar: ninguna  
Tamaño de grano de la alimentación: 500 µm - 10 mm (30 mm)  
Propiedades específicas de la alimentación: grandes diferencias de densidad entre el mineral valioso y la ganga  
Recuperación: concentrado aprox. 30 %, producto medio aprox. 50 %, la concentración posterior lleva a una recuperación total mayor  
Aparato que puede reemplazar: formas mecanizadas de jigs  
Divulgación regional: Bolivia

Experiencia del operador: muy buena  mala  
en el empleo de producción de preconcentrados, en la concentración de granos gruesos

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller de carpintería, condición, buena calidad del tamiz

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: M. Priester, Taggert, Stewart, Treptow, Schennen, Bernewitz, Liwehr, Dt. Museum, Cancrinus, Callon, Stiff, Rittinger

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En los jigs manuales el material dentro del agua sedimenta verticalmente según la diferenciación de su densidad mediante movimientos pulsantes. El material pesado se queda en la parte inferior, encima el material mediano y más arriba el material liviano. Mediante una alimentación y extracción repetida del material liviano se realiza la concentración del material valioso.

## 14.2 MARITATE

Minería Metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración

### **FORMAS DE USO:**

para - producción de preconcentrados  
- concentración de grano grueso

### **FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Para clasificación húmeda donde el grano de subtamaño del preconcentrado se extrae del recipiente inferior.

### **OBSERVACIONES:**

En el Harz también se emplearon los jigs mecanizados hasta el siglo XIX.

Jigs con suspensión en un extremo de una viga de madera elástica, guía.

Los maritates se caracterizan en comparación con otras formas de jigs por su extremadamente bajo consumo de agua para el proceso. Esta es una importante ventaja. La escasez de agua en lugares de beneficio limita frecuentemente el beneficio mecánico húmedo de procesos gravimétricos y de clasificación húmeda en los maritates en la Pequeña Minería de Latinoamérica.

Además, los maritates tienen mayor producción que los jigs de émbolo.

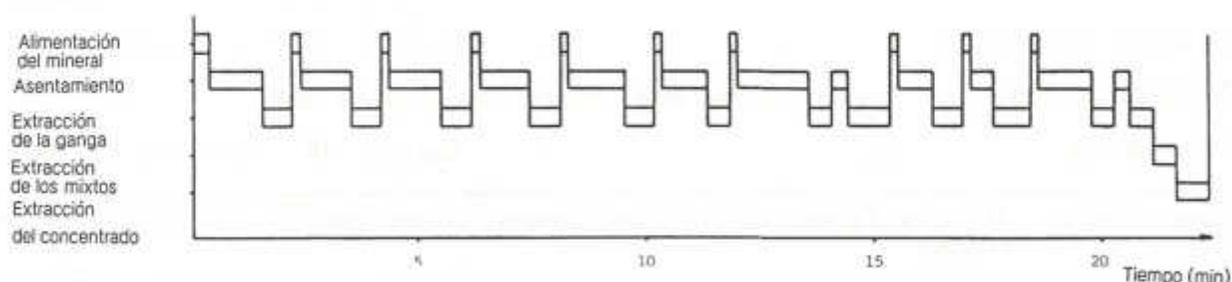
Otra ventaja son las bajas pérdidas de material valioso en el grano de tamaño fino, ya que su extracción se realiza del recipiente de decantación.

Para todos los tipos de jigs se deben proveer necesariamente las mejores calidades de tamiz. Incluso los materiales de tamiz bonificados en su superficie soportan el desgaste solamente por poco tiempo y se corroen. Especialmente se obstruyen las mallas de tamiz fino.

Particularmente, durante el tratamiento de minerales sulfurados o por la utilización de agua de mina en el beneficio, la corrosión es extremadamente fuerte por las aguas agresivas y pueden inutilizarse los tamices de mala calidad incluso después de un solo uso.

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Debido a la sencilla forma de funcionamiento y a la aptitud para la fabricación local el maritate es un aparato útil tradicional y por eso también ampliamente divulgado en la Pequeña Minería para el beneficio de minerales. La extracción manual del producto posibilita un alto grado de separación, la que sin embargo tiene la desventaja de la forma de trabajo intermitente y de pequeña producción. El uso es práctico sobre todo en lugares donde se dispone de poca agua.



Dib.: Cronograma de trabajo de una jig manual sencillo, maritate para la producción de preconcentrados de material de alimentación de baja ley, de Priester

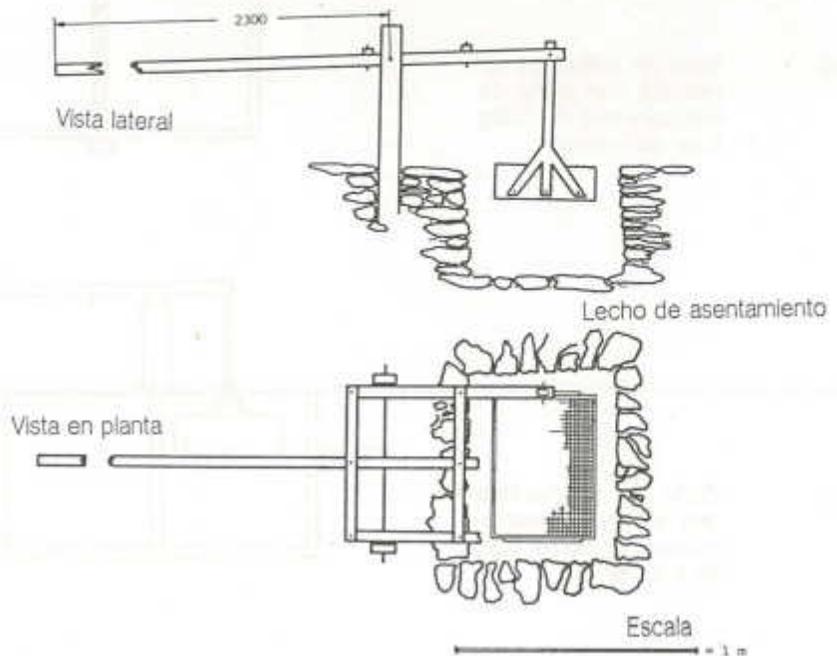
## 14.2 MARITATE

Minería Metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración



Maritate sencillo para la concentración de minerales de estañoplata, Candelaria Sud Lípez, Bolivia.



Dib.: Bosquejo de un maritate sencillo (ver arriba), Fuente: Priester

## 14.2 MARITATE

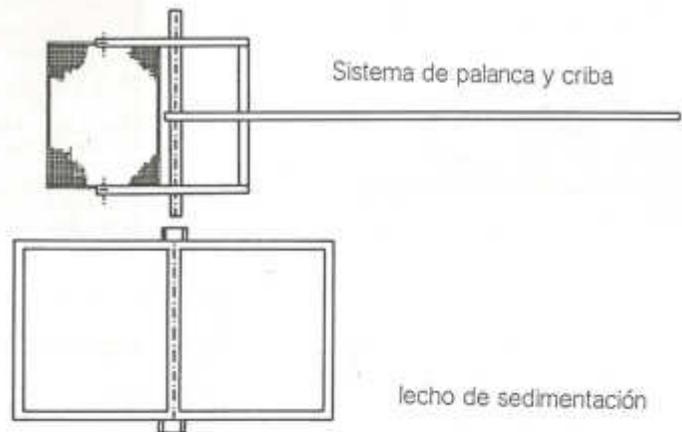
Minería Metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración

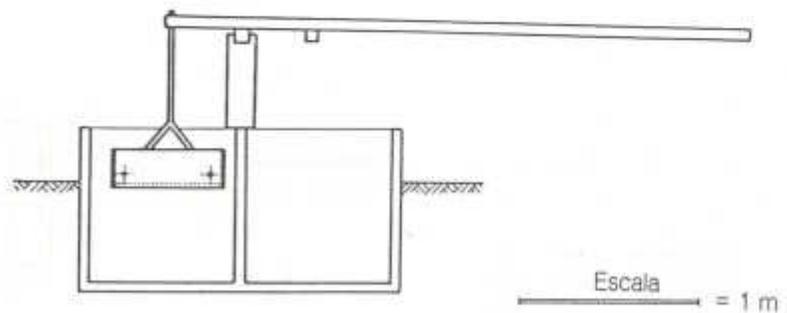


Maritate sencillo con recipiente de asentamiento de dos compartimentos. Mina La Antigua, Potosí, Bolivia.

Dib.: Vista en planta de un maritate con lecho de asentamiento de doble flujo, de Priester



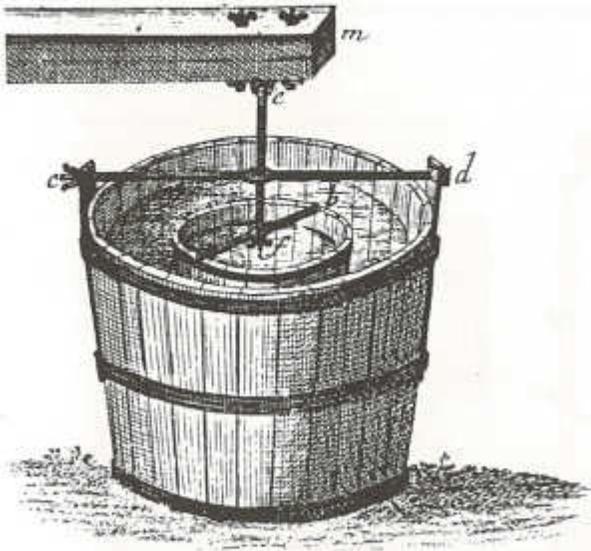
Dib.: Corte de un maritate con lecho de asentamiento de doble flujo, de Priester



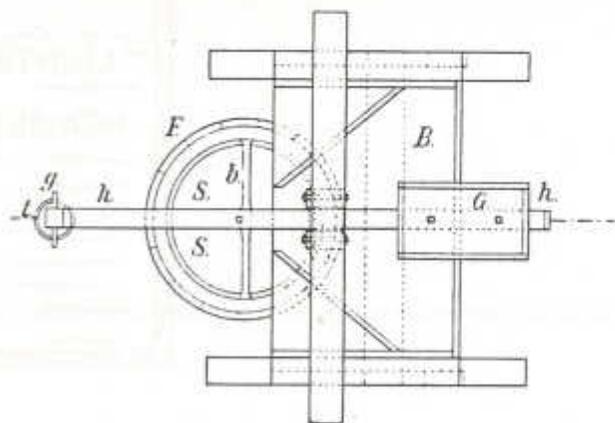
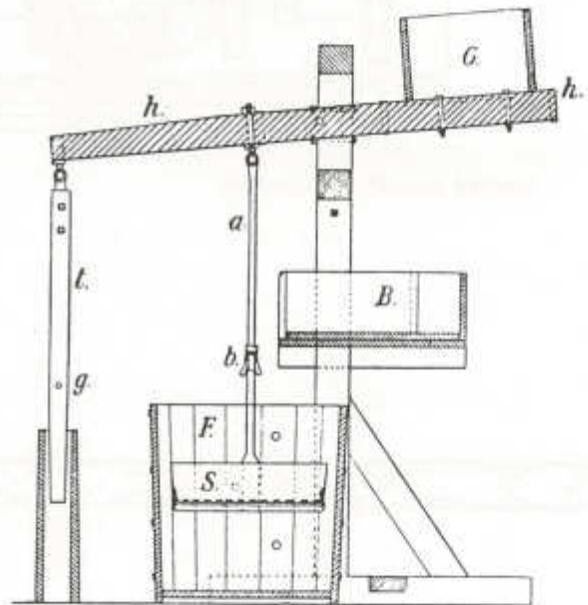
## 14.2 MARITATE

Minería Metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración



Dib.: Maritate, el cual está afirmado a una viga de madera elástica, de Cancrinus.

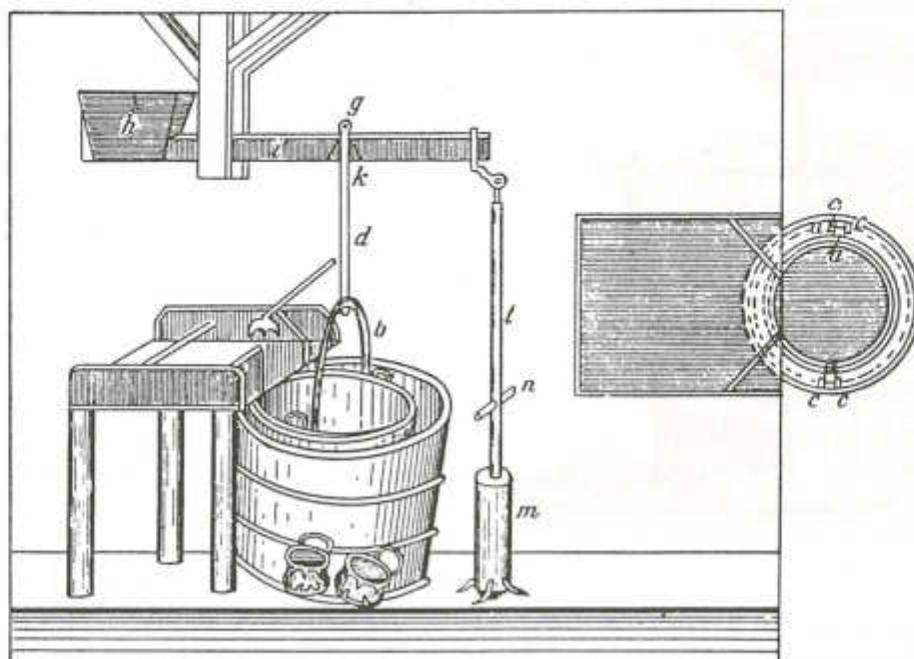


Dib.: Criba pequeña para concentración manual, forma de construcción del Harz, Fuente: Treptow

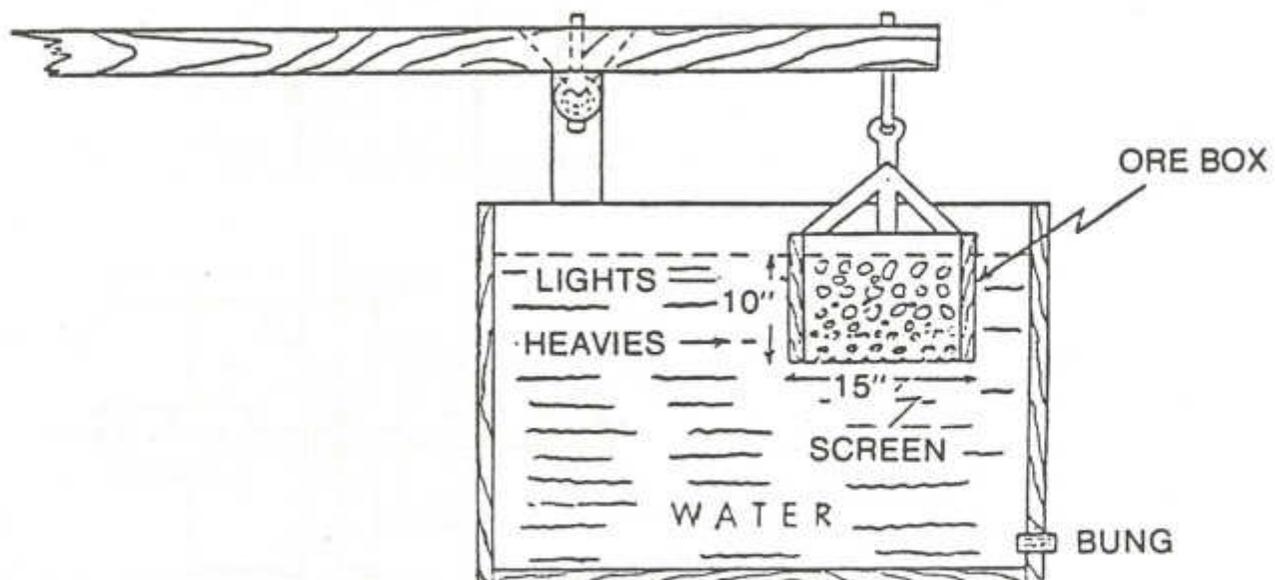
## 14.2 MARITATE

Minería Metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración



Dib.: Maritate sencillo, de Schennen



Dib.: Maritate, según Stewart

## 14.3 MARITATE DE EMBOLO

Minería Metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración

Español:	maritate con diafragma, maritate a pedal con diafragma
Inglés:	manual jig, handjig
Aleman:	Kolbenhandsetzmaschine, Membran-Handsetzmaschine, Membran-Pedalsetzmaschine
Fabricante:	Maritate con diafragma: Taller metal mecánico, Campo Nuevo, ambos bolivianos

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	maritate de émbolo: aprox. 1.5 x 1 x 2 m, alto, ancho, profundidad; maritate con membrana: 1.5 x 1 x 1 m alto, ancho, profundidad
Peso:	maritate de émbolo: aprox. 100 - 150 kg; maritate de membrana: 50 - 100 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	maritate de émbolo: manual; maritate de membrana: manual o bien a pedal
Forma de trabajo:	maritate de émbolo: semicontinua; maritate de membrana: intermitente
Producción/Rendimiento:	maritate de émbolo: 0.5 - 1 t/H x h
Material:	
Cuál:	agua
Cantidad:	maritate de émbolo: aprox. 100 lt/min; maritate con membrana: baja

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	maritate de émbolo: aprox. 350 DM, en construcción propia más bajos; maritate con membrana: 300 - 500 DM
Costos de operación:	bajos, prácticamente solo costos de personal
Costos derivados:	ninguno

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	<p>maritate de émbolo maritate de membrana</p>						
Gastos de mantenimiento:							
Exigencias al personal:	bajas						
Exigencias al lugar:	maritate de émbolo: es necesario flujo de agua; maritate de membrana: ninguna						
Tamaños de grano de la alimentación:	maritate de émbolo: 1 - 30 mm; maritate de membrana: (50) 200 $\mu$ m - 2 mm						
Propiedades específicas de la alimentación:	gran diferencia de densidad entre el mineral valioso y ganga						
Recuperación:	<table border="0"> <tr> <td>maritate de émbolo: aprox. concentrado</td> <td>30 %</td> </tr> <tr> <td>producto medio</td> <td>50 %</td> </tr> <tr> <td>ganga:</td> <td>20 %</td> </tr> </table>	maritate de émbolo: aprox. concentrado	30 %	producto medio	50 %	ganga:	20 %
maritate de émbolo: aprox. concentrado	30 %						
producto medio	50 %						
ganga:	20 %						
Aparato que puede reemplazar:	maritate de émbolo: jigs mecanizados; maritate de membrana: decantación en pequeños tamices, lavado en canaleta						
Divulgación regional:	maritate de émbolo: Bolivia, mundialmente; maritate de membrana: en Potosí como prototipo						
Experiencia del operador:	<p>maritate de émbolo maritate de membrana</p> <p>Frecuentemente sin embargo, reemplazada por maritate sencillo; maritate de membrana: no están todavía a disposición</p>						
Contaminación ambiental:	<p>maritate de émbolo maritate de membrana</p> <p>maritate de émbolo: contaminación por lamas - solución: espesador o dique decantador</p>						
Facilidad de fabricación local:	<p>maritate de émbolo maritate de membrana</p>						

## 14.3 MARITATE DE EMBOLO

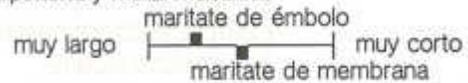
Minería Metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración

Bajo qué condiciones:

maritate de émbolo: taller de carpintería;  
maritate de membrana: taller de carpintería y metal-mecánico

Tiempo de vida:



Literatura, Fuente: M. Priester, Treptow, Callon, de Hennezel, Rittinger, Hunter, Stewart

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

#### Maritate de émbolo

Jlg manual de pulsación con doble cajón de decantación. El principio de trabajo es análogo al del maritate de inmersión. Adicionalmente se tiene un componente transversal que se produce mediante la corriente de la pulpa en dirección longitudinal del aparato. El solo movimiento hacia arriba y abajo con diferentes amplitudes de oscilación se sobrepone de esta manera al movimiento longitudinal, de tal manera que llegan a formarse trayectorias curvadas dependientes de la densidad de las partículas con diferentes amplitudes de oscilación y longitudes de onda. De esta manera, las partículas específicamente livianas son transportadas más rápidamente y las partículas pesadas, más lentamente. Debido a su menor amplitud de oscilación los granos del concentrado se quedan durante la operación semicontinúa en el tamiz 1, mientras que la ganga y el producto medio alcanzan el tamiz 2 y la ganga pura sale del maritate juntamente con el flujo de la pulpa.

#### Maritate de membrana

Maritate de pulsación manual o maritate de membrana con accionamiento a pedal. Producción del movimiento oscilante del agua de proceso mediante la llanta de un auto como membrana. El material sedimentado se mueve de arriba hacia abajo y sedimenta verticalmente según la diferencia de densidad.

### FORMAS DE USO:

#### Maritate de émbolo

La extracción de los productos se realiza durante la interrupción del proceso de concentración. Producción de preconcentrados en la sección de granos gruesos.

#### Maritate de membrana

Aparato diseñado para una decantación simplificada de las fracciones de tamaño de grano finas y medianas, como una mejora de la decantación manual en tamices pequeños.

### OBSERVACIONES:

#### Maritate de émbolo

Clasificación húmeda: relativamente baja recuperación en las fracciones de grano fino, condicionada por las altas velocidades de la pulpa que extraen también partículas de material valioso del maritate. Para mayores recuperaciones de deberá renunciar a la clasificación húmeda en maritates de pulsación. De otra manera, se debe recoger el material fino del recipiente de sedimentación y concentrarlo posteriormente.

La extracción del producto del recipiente de sedimentación se puede realizar también con ayuda de un pequeño elevador de cangilones manual o mecánico.

Como parámetro más importante para el control de procesos de sedimentación se debe considerar la distribución de densidad del material de alimentación. Mientras mayor sea la diferencia de densidad entre el mineral valioso y la ganga o la roca caja, mayor éxito se tendrá en la separación del material en el maritate. Según SCHUBERT 1978, la concentrabilidad de una carga de alimentación se puede evaluar según el siguiente cociente:

$$q = \frac{\delta_s - \delta}{\delta_l - \delta}$$

$\delta_s$  = Densidad del mineral específicamente pesado, en el beneficio de minerales: densidad del mineral valioso

$\delta_l$  = Densidad del mineral específicamente liviano, en el beneficio de minerales o sea, densidad del mineral de la ganga o bien de las partículas de la roca caja

$\delta$  = Densidad del medio, generalmente agua, densidad = 1

## 14.3 MARITATE DE EMBOLO

Minería Metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración

Si en un proceso de asentamiento en agua propuesto el valor de:

- q está por encima de 2.5: se podrá separar mediante la sedimentación hasta un tamaño de grano inferior a  $100 \mu\text{m}$
- q está por encima de 1.75: se podrá separar con el jig hasta  $200 \mu\text{m}$  como tamaño de grano inferior
- q está por encima de 1.5: será posible la separación hasta 1.5 mm, pero difícilmente
- q está por debajo de 1.25: no es posible la separación mediante la sedimentación

### Maritate de membrana

Existen prototipos, todavía no se conocen resultados de operaciones actuales.

Eventualmente, en la operación aparecen problemas debido a la homogeneidad del flujo de agua sobre la superficie del lecho de sedimentación, los cuales se pueden evitar con planchas conductoras o a veces estos problemas hacen imposible la operación. En este sentido, existe demanda de investigación y desarrollo.

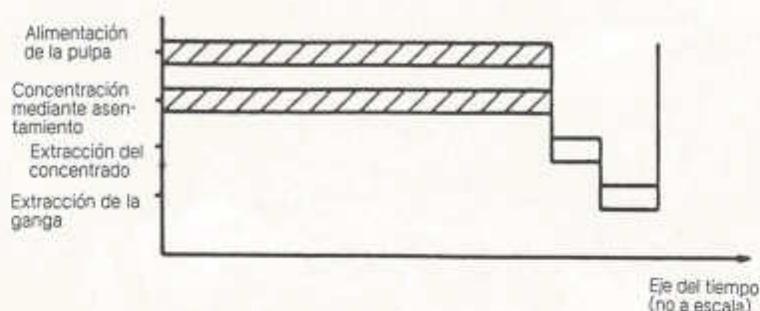
### Otros problemas:

Calafateado entre llanta y caja y llanta y plancha de rebote. Los momentos de palanca se pueden minimizar mediante contrapesos.

## APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

### Maritate de émbolo

Solamente en casos especiales este maritate se puede usar de manera práctica como un jig puramente manual. Debido a que para la operación se necesitan grandes cantidades de agua, se deberá examinar si es posible una mecanización hidromecánica como jig del Harz. La construcción sencilla y la posibilidad de construcción local es ventajosa.



Dib.: Cronograma de trabajo de un proceso de sedimentación en un jig de émbolo, de Priester

### 14.3 MARITATE DE EMBOLO

Minería Metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración



Maritates de madera con émbolo con dos recipientes de decantación contiguos. Atrás a la derecha, los dos émbolos de bombeo y la varilla de palanca. Mina Candelaria, Sud LÍpez, Bolivia



Maritates de madera con émbolo en operación en el beneficio de minerales de estañoplata. Mina Candelaria, Sud LÍpez, Bolivia

## 14.3 MARITATE DE EMBOLO

Minería Metálica  
Minería del carbón

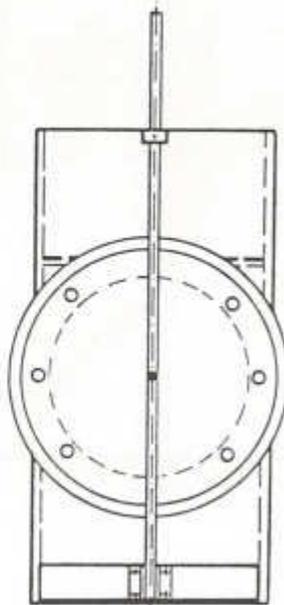
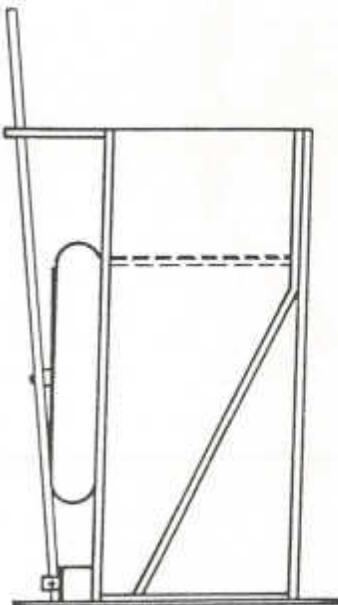
Beneficio  
Concentración



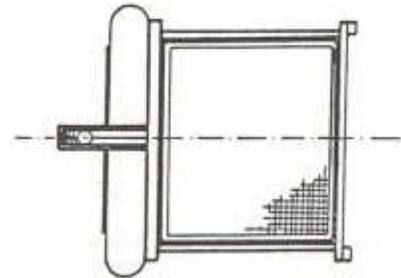
Prototipo de un maritate de pulsación a pedal con llanta de auto para bombear el agua de proceso, fabricado localmente, modelo de construcción Campo Nuevo, Bolivia

Vista frontal

Vista lateral



Vista en planta



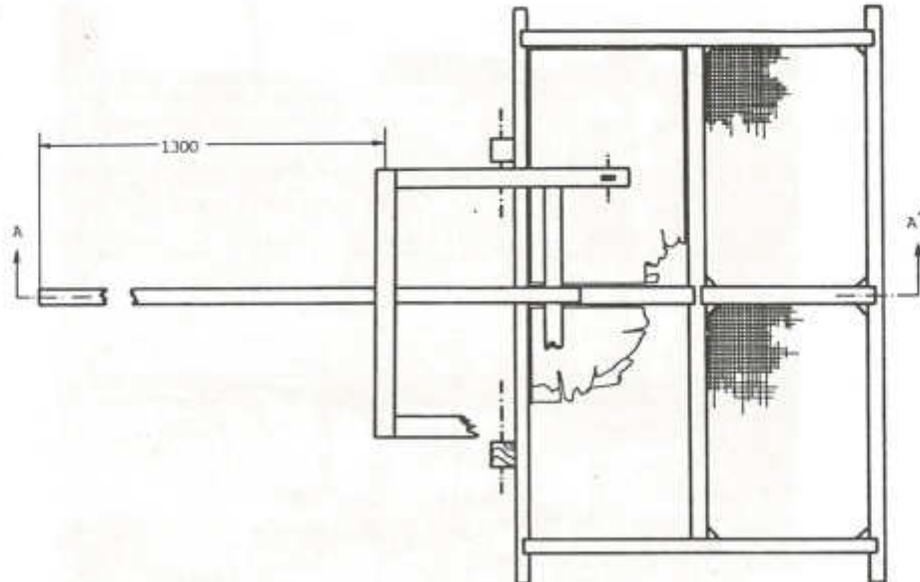
Dib.: Vista frontal, vista lateral y en planta de un maritate manual de pulsación de llanta de auto, de Priester.

## 14.3 MARITATE DE EMBOLO

Minería Metálica  
Minería del carbón

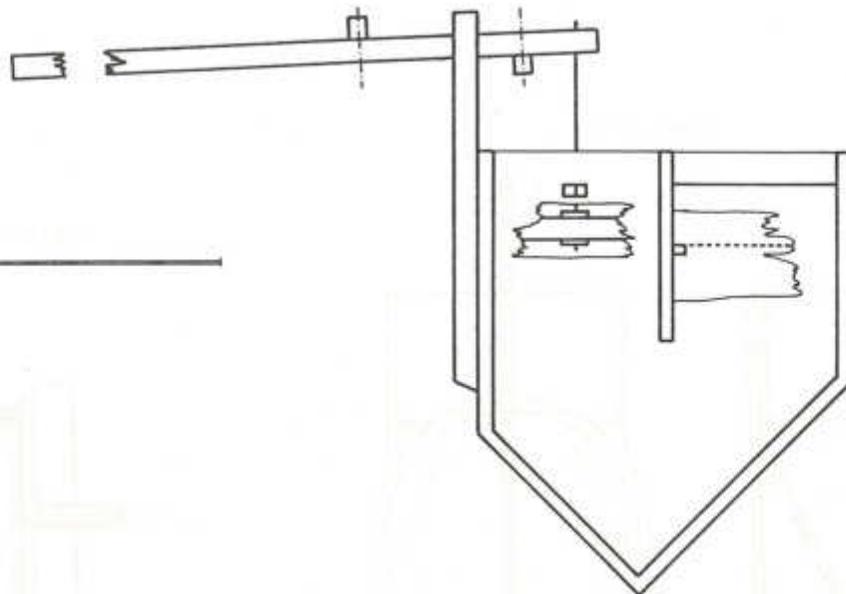
Beneficio  
Concentración

Vista en planta



Corte A - A'

Escala  
1 m



**14.4 JIG DE EMBOLO****Minería metálica**  
**Minería del carbón****Beneficio**  
**Concentración**

Español:	jig tipo Harz, maritate tipo Harz, jigger
Inglés:	jig
Aleman:	Kolbenhandsetzmaschine, Harzer Setzmaschine
Fabricante:	Millán, Met. Lacha, Eq. Ind. Astecnia. Buena Fortuna, COMESA, FAHENA, FIMA, Famia, MAGENSA

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 2 x 2 x 2 m
Peso:	desde 200 kg
Grado de mecanización:	parcialmente mecanizado
Potencia motriz:	desde 3 - 5 kW
Tipo de energía motriz:	a menudo eléctrica o con motor a combustión mediante transmisión (mecánica)
Posibilidades alternativas:	hidromecánica
Forma de trabajo:	semicontinua
Producción/Rendimiento:	> 1 t/h
Material:	
Cuál:	agua
Cantidad:	≥ 100 lt/min

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	desde 500 DM sin fuerza motriz
Costos de operación:	según la forma de mecanización o bien empleo de energía primaria
Costos derivados:	tratamiento de lamas

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal:	bajas		
Exigencias al lugar:	necesidad de corriente de agua		
Tamaño de grano de la alimentación:	1 - 30 mm		
Propiedades específicas de la alimentación:	grandes diferencias de densidad entre el mineral valioso y la ganga		
Recuperación:	aprox. 30 % en concentrado 50 % en producto medio 20 % en ganga		
Aparato que puede reemplazar:	todas las otras formas de jigs		
Divulgación regional:	Bolivia, Perú, históricamente mundial		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
	Contaminación de lamas: como solución se ofrece espesador o dique de decantación		
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller de carpintería, son necesarias buenas calidades de tamiz		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Fischer, Lwehr, Treptow, Callon, Kirschner

## 14.4 JIG DE EMBOLO

Minería metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Jig de pulsación mecanizada que trabaja análogamente al maritate de émbolo, sin embargo con una fuerza motriz mecanizada por un eje excéntrico. Los jigs mecanizados trabajan solamente en forma práctica cuando una operación continua de la extracción de productos de concentrados y productos medios está garantizada.

### FORMAS DE USO:

Producción de preconcentrados.  
Concentración de fracciones de grano grueso.

### FORMAS ESPECIALES DE USO:

Fuera de la concentración hidromecánica gravimétrica, también para concentración húmeda.

### OBSERVACIONES:

En la clasificación húmeda la recuperación es relativamente baja en los granos de tamaño fino.

Las diferentes formas de construcción de los evacuadores ofrecen grandes ventajas, los cuales también permiten trabajos continuos:

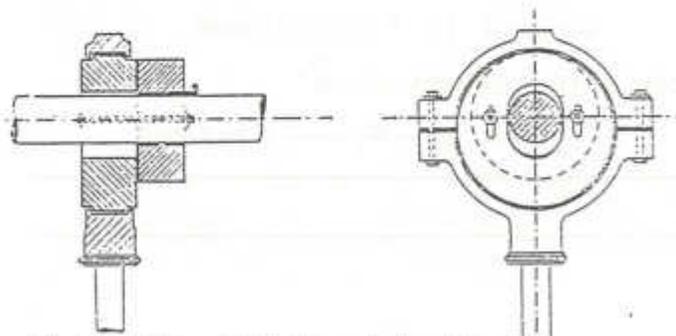
- Tubo y campana, los cuales están instalados en el centro del piso del tamiz y conducen el producto hacia afuera a través del cajón de agua. Las graduaciones del ancho de la ranura y de la altura del tubo permiten la regulación del porcentaje del concentrado.
- Ranuras laterales y evacuadoras en el agua estancada.
- Pasador lateral en el piso de sedimentación inclinado como evacuador en agua estancada

Kirschner da los siguientes valores para la construcción del movimiento del émbolo en función del tamaño de grano de la alimentación:

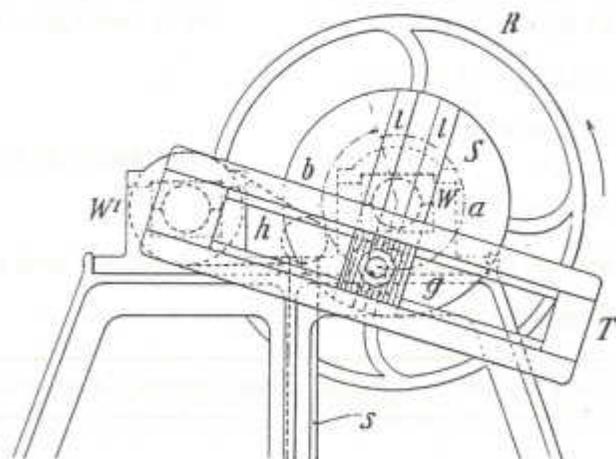
tamaño de grano (mm)	frecuencia ( $\text{min}^{-1}$ )	tamaño de grano (mm)	amplitud (mm)	tamaño de grano (mm)	amplitud (mm)
1.5 - 3	140	20 - 30	75	3 - 5	35
3 - 8	130	13 - 20	60	2 - 3	25
8 - 30	110 - 120	8 - 13	50	1.5 - 2	15
		5 - 8	40		

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

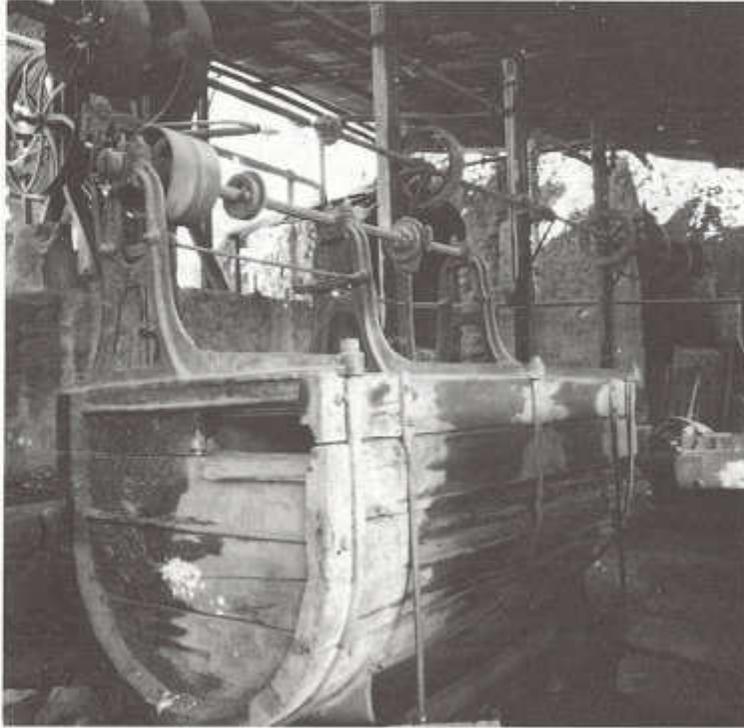
Los jigs tipo Harz debido a su alta producción por la forma continua de trabajo y la buena regulabilidad de la calidad de los productos también son aptos para el empleo en grandes operaciones de la Pequeña Minería. Una fuerza motriz hidromecánica mediante rueda hidráulica es la combinación ideal.



Dib.: Excéntrico regulable de un jig tipo Harz, de Treptow



Dib.: Fuerza motriz mediante balacín para el émbolo del jig, de Treptow

**14.4 JIG DE EMBOLO****Minería metálica  
Minería del carbón****Beneficio  
Concentración**

Jig del Harz con excéntrico para el émbolo accionado mediante una fuerza motriz hidromecánica por un engranaje de transmisión a correa. Adelante, la evacuación de la ganga. San Marcos, Potosí, Bolivia.

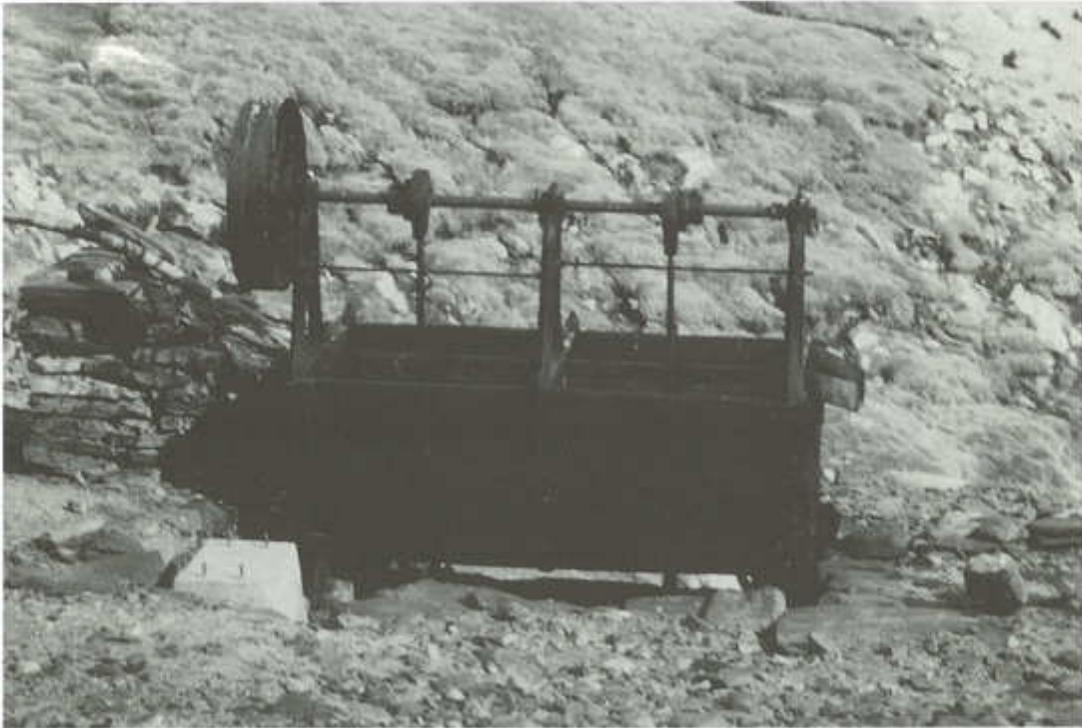


Evacuador de tubo y campana de un jig tipo Harz. Solo la capa más inferior - el concentrado - corre debajo de la campana, donde es evacuado mediante un tubo. Museo Minero de Oberharz, Clausthal-Zellerfeld, Alemania.

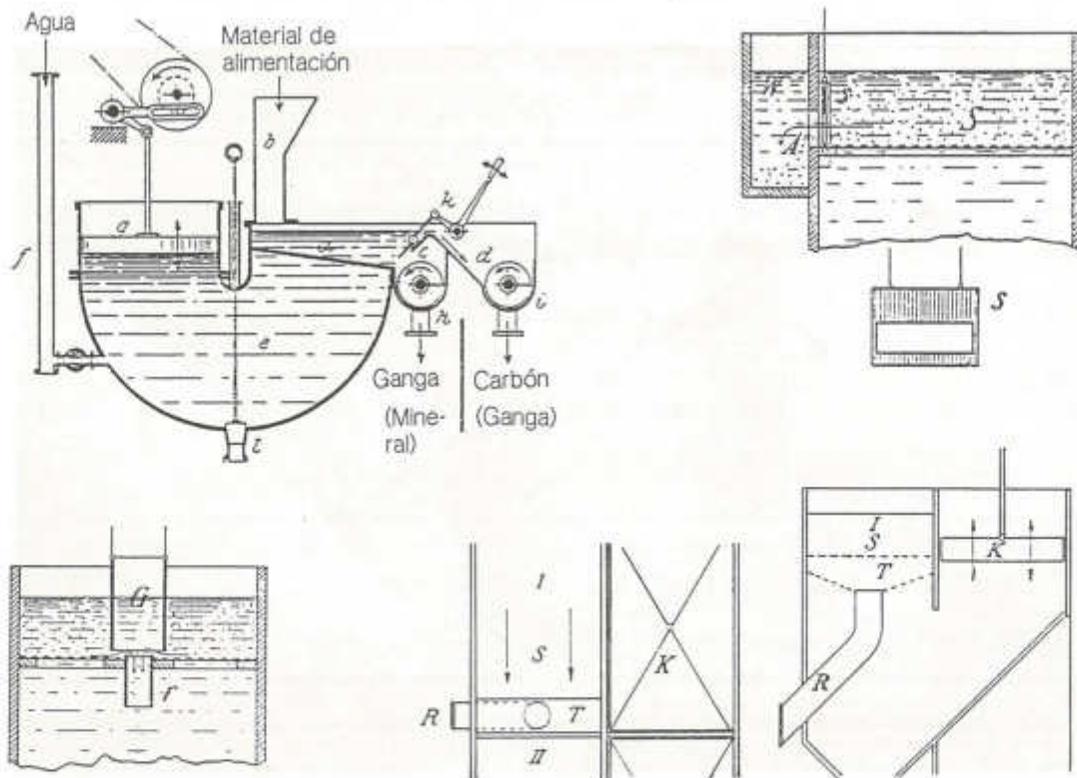
## 14.4 JIG DE EMBOLO

Minería metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración



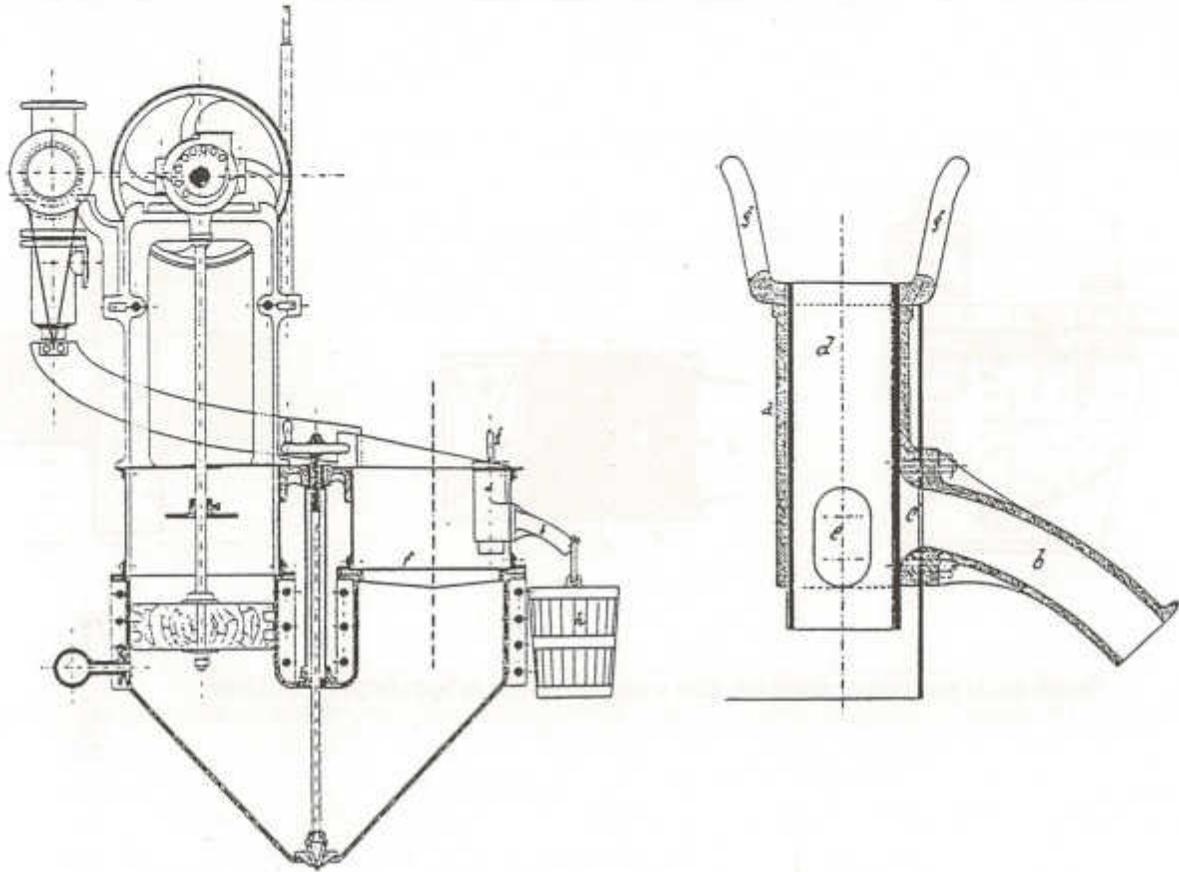
Jig tipo Harz, el cual fué accionado con motor a combustión (fundación) y transmisión a correa. Minería del estaño en Monte Blanco, Cordillera Tres Cruces, Bolivia.



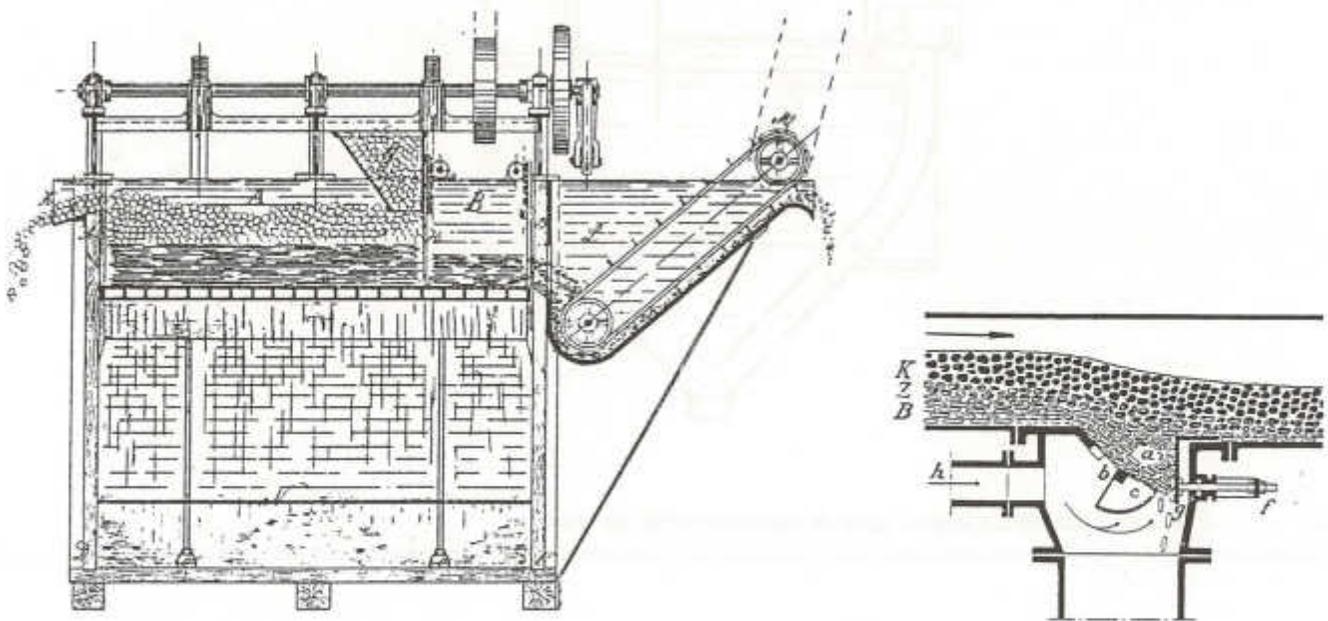
Dibs:

Diferentes formas de evacuadores de jigs tipo Harz, arriba izquierda: mediante trancas de un jig con lecho inclinado de sedimentación (Fuente: Fischer), mediante una ranura lateral en agua estancada (Treptow), mediante tubo y campana (Treptow) y mediante embudo y tubo (Treptow).

## 14.4 JIG DE EMBOLO

Minería metálica  
Minería del carbónBeneficio  
Concentración

Dib.: Jig tipo Harz con evacuador por un tubo lateral y detalle del evacuador, Fuente: Liwehr.



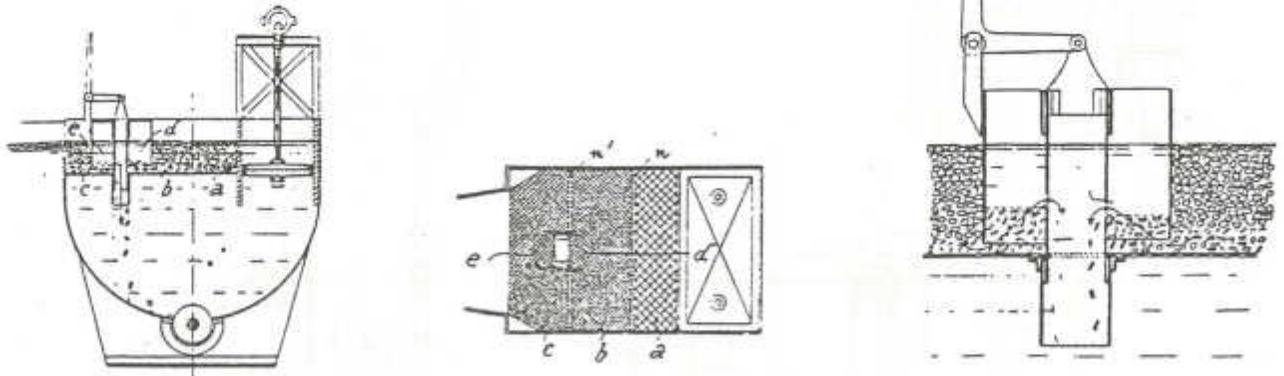
Dib.: Jig tipo Harz con evacuador de rueda de cangilones para el material pesado, de Liwehr

Dib.: Evacuador de un jig para carbón, de Treptow

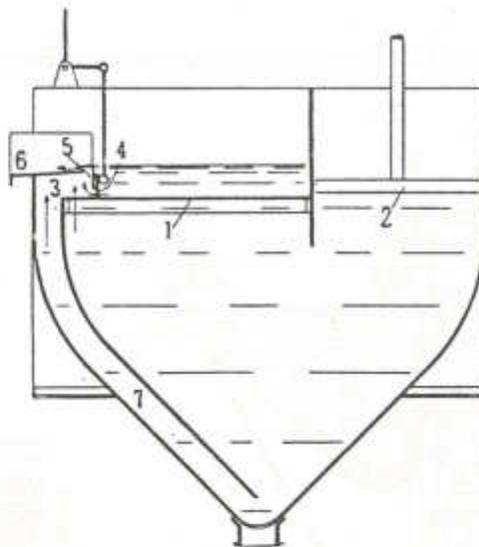
## 14.4 JIG DE EMBOLO

Minería metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración



Dib.: Detalle de un evacuador central por tubo y campana de un jig tipo Harz, Fuente: Liwehr



Dib.: Evacuador con trancaranura y agua de contracorriente, de Liwehr.

**14.5 JIG DE DIAFRAGMA**

**Minería metálica**  
**Minería del carbón**

**Beneficio**  
**Concentración**

Español:	jig de agua, jig con pulsador
Inglés:	pan american jig
Aleman:	Pulsatorsetzmaschine, Membransetzmaschine
Fabricante:	Denver, Svalcor

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 1 x 1 x 1 m, altura, ancho, largo;
Peso:	desde aprox. 150 kg
Grado de mecanización:	parcialmente mecanizado
Tipo de energía motriz:	presión de agua
Posibilidades alternativas:	jig neumático
Producción/Rendimiento:	aprox. 20 t/h x m <sup>2</sup> de lecho de asentamiento
Materia:	
Cuát:	agua
Cantidad:	420 - 660 lt/m x m <sup>2</sup> de lecho de asentamiento

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	mín. 500 - 1000 DM en construcción propia
Costos de operación:	bajos, principalmente costos de personal

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos	
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos	
Exigencias al lugar:	es necesaria agua con diferencia de altura			
Tamaño de grano de la alimentación:	aprox. 0.5 - 10 mm			
Propiedades específicas de la alimentación:	grandes diferencias de densidad entre el mineral valioso y la ganga			
Recuperación:	análoga a otros procesos de asentamiento de grano grueso			
Aparato que puede reemplazar:	en forma condicionada, el jig mecanizado			
Experiencia del operador:	ampliamente desconocido	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta	
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala	
Bajo qué condiciones:	taller metal-mecánico y de soldadura			
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto	

Literatura, Fuente: M. Priester, Schubert

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En el jig hidromecánico con pulsador el movimiento del agua se produce mediante un sistema de membranaresorte. Es análogo al jig tipo Harz accionado en forma continua, trabaja en forma semicontinua. Los jigs Pan-American operan con lecho de asentamiento y con paso del concentrado por el tamiz.

**FORMAS DE USO:**

Concentración y producción de preconcentrados de fracciones de tamaño grueso.

## 14.5 JIG DE DIAFRAGMA

Minería metálica  
Minería del carbón

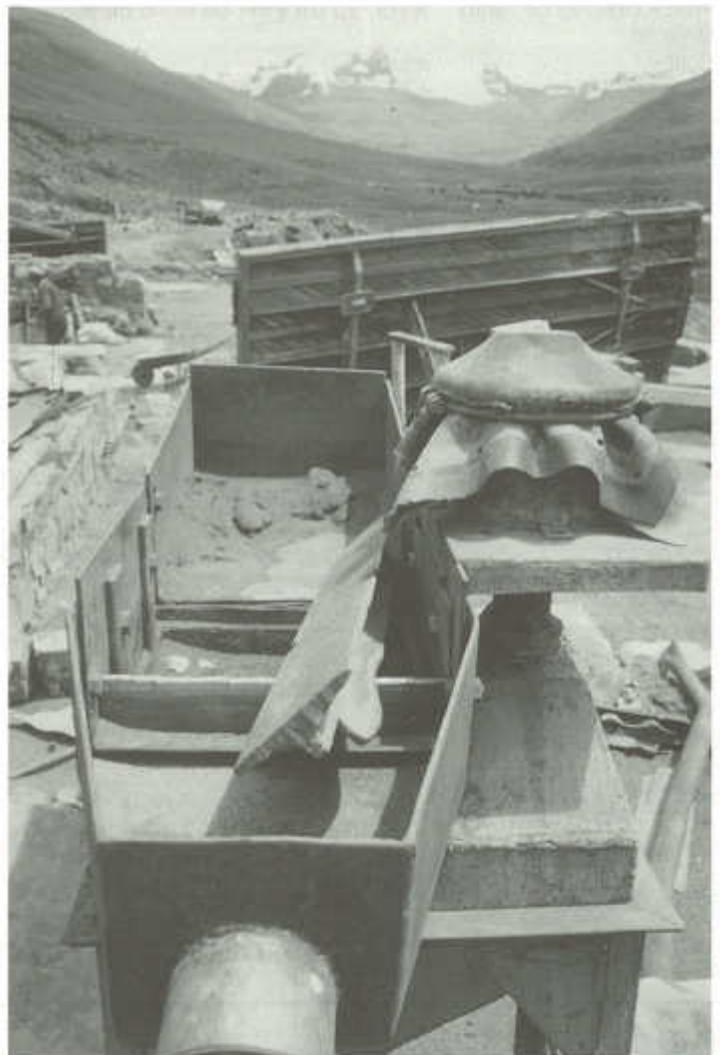
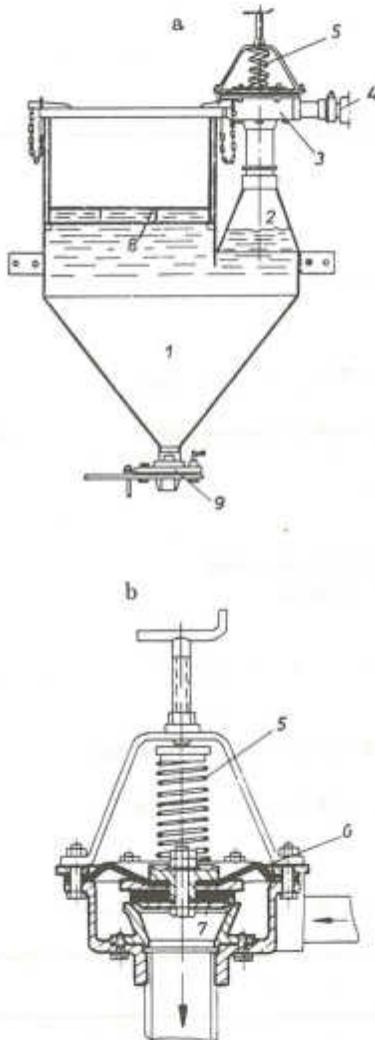
Beneficio  
Concentración

### OBSERVACIONES:

- Eventualmente son posibles otras formas del evacuador de concentrados.
- Los pulsadores se pueden construir de forma sencilla con membranas de goma (neumático de auto).
- Un colchón de aire en el lado de afluencia amortigua los movimientos del agua elásticamente debajo del pulsador.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:

Su empleo parece ser práctico en la Pequeña Minería para la concentración de granos gruesos y medianos si es que hay suficiente agua, diferencia de altura y si es que la construcción permite una operación continua.



Dib.: Jig con pulsador (Jig Pan-American con pulsador)  
a) Jig, b) pulsador  
1) Cajón de decantación,  
2) Embudo, 3) Pulsador,  
4) Afluencia de agua,  
5) Resorte, 6) Membrana,  
7) Válvula vibratoria,  
8) Soporte del material decantado, 9) Evacuador del concentrado, de Schubert

Jig con membrana accionada por la fuerza de agua para el beneficio de minerales de estaño. Mina Kalauyo, La Paz, Bolivia.





## 14.6 CANALETA PARA LA CONCENTRACION

**Minería metálica  
Explotación de  
placers auríferos**

**Beneficio  
Concentración**

Mientras mayor sea el porcentaje de mineral pesado de la alimentación, la canaleta deberá ser elegida de mayor tamaño. En la minería del estaño en Tailandia se emplean canaletas (palong) con longitudes hasta de 120 m. En éstas la longitud sirve también para la homogeneización de la corriente de la pulpa.

Mientras mayor sea el porcentaje de mineral pesado de la alimentación mayor tendrá que ser el volumen de los espacios de alimentación detrás de las trancas para garantizar en lo posible un largo período de operación sin extracción del concentrado.

Mientras más fino sea el tamaño de los granos del mineral valioso de la alimentación menor deberá ser elegida la inclinación de la canaleta, para que las velocidades de la pulpa no sean muy altas. En la minería de placeres del sudeste asiático se pueden observar inclinaciones de canaletas entre 3 - 6° (velocidades de pulpa: 0.7 - 3.0 m/seg).

El último estado de la técnica en los lavaderos con canaleta es la utilización de vibraciones producidas artificialmente en la zona del lecho de la canaleta mediante vibradores eléctricos o neumáticos. Los movimientos con alta frecuencia producen una mejora del grado de separación y una disminución de la longitud necesaria de la canaleta. Para mantener las potencias motrices lo más bajas posible se mueve solamente el piso de la canaleta que descansa sobre juntas flexibles de goma.

En la minería aurífera es muy importante el ajuste exacto de la inclinación de la canaleta, para el éxito de la concentración en el lavado mediante canaletas con trancas o pisos de piedras. Si la canaleta está en una posición muy horizontal (un error muy frecuente) los espacios entre las trancas de madera o de piedra se rellenan con material sedimentado y de esta forma no llegan a formarse turbulencias detrás de las trancas y el oro no llega a sedimentarse. Si la canaleta está muy inclinada el oro es arrancado de los espacios de sedimentación.

Es igualmente importante evitar variaciones de la cantidad de carga alimentada. Si después de un proceso de separación se hace correr por la canaleta solo agua pura, el oro sedimentado será en parte transportado hacia afuera.

A menudo en la minería aurífera se encuentran largas canaletas de madera (aprox. de 4 m) con trancas, a las que se le preinstalan otras canaletas para la alimentación y lavado. Estas están en uso mundialmente como "long tom". Su inclinación es en promedio de 8 % y su producción es de aproximadamente 3.5 m<sup>3</sup> de carga aurífera por día.

Un nuevo desarrollo interesante son las canaletas tándem, en las cuales el material de alimentación corre por un tamiz (3/16") que divide la alimentación en una corriente inferior con un tamaño de grano - 450 µm y otra corriente superior con tamaño de grano grueso.

Estas dos corrientes parciales corren luego por dos canaletas colocadas una encima de otra donde la cantidad corriente de pulpa fina puede ser regulada mediante el ajuste del nivel de la canaleta superior. Este ajuste funciona mediante el cierre parcial de la sección de desagüe.

Otra forma de concentración en canaleta fué inventada para el beneficio de minerales valiosos magnéticos y levemente magnéticos. Es una combinación con el beneficio basado en la separación magnética, pues los imanes están colocados debajo del piso de la canaleta entre los espacios de las trancas.

En la minería aurífera para la recuperación de oro fino la carga corre por canaletas con hendidura en forma cóncava. En ésta se encuentra el mercurio, el cual es excitado por ultrasonido. Debido a ésto, además de una mejor separación mediante la diferenciación de densidad, se realiza una fuerte actividad en la superficie del mercurio y un calentamiento. El mercurio en el campo micrométrico empieza a evaporarse y a depositarse selectivamente en la superficie del oro, lo que facilita la amalgamación. La refrigeración se realiza mediante la corriente de agua. Resulta complicado el ajuste de la inclinación correcta, la cual debe impedir que el mercurio sea evacuado pero debe garantizar un contacto óptimo para la amalgamación.

Las trancas en la canaletas en la minería aurífera son de una altura entre aprox. 1 y 3 cm y están colocadas con una separación de 1 a 10 cm de las parrillas que se introducen dentro de las canaletas.

La recuperación del oro en las canaletas aumenta si la limpieza de las parrillas es suficientemente frecuente. En operaciones de larga duración las trancas tienden a llenarse de minerales pesados, motivo por el que se pierde el material fino.

Investigaciones brasileras dieron como resultado que las pérdidas de mercurio de la amalgamación en canaletas representan alrededor del 40 - 50 % de la emisión de mercurio.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Las canaletas con una alimentación discontinua, debido a su producción muy baja, pero en parte a su recuperación bastante alta, son solo apropiadas para pequeñas cantidades de carga como por ejemplo, para la limpieza de concentrados. Las canaletas para operaciones semicontínuas son excelentes para la producción de preconcentrados.

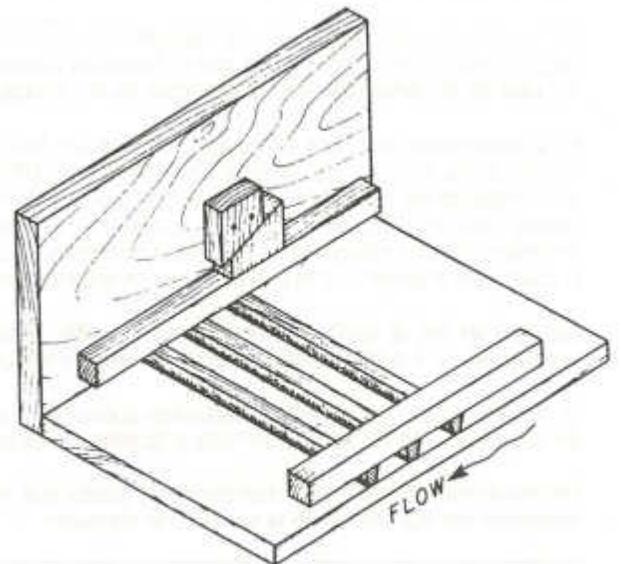
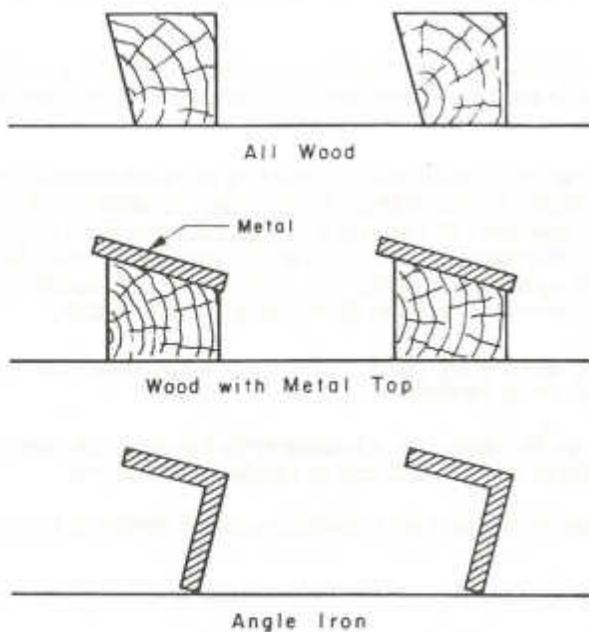
## 14.6 CANALETA PARA LA CONCENTRACION

Minería metálica  
Explotación de  
placers auríferos

Beneficio  
Concentración



Flotación de sulfuros en una canaleta con piso de hierba para el lavado de concentrados óxidos de wolfram. Atrás, el material flotado extraído. Planta de beneficio Santa Rosa, Kami, Bolivia.



Dib.: Tipos de trancas de madera y de metal y su montaje en la canaleta, de Silva

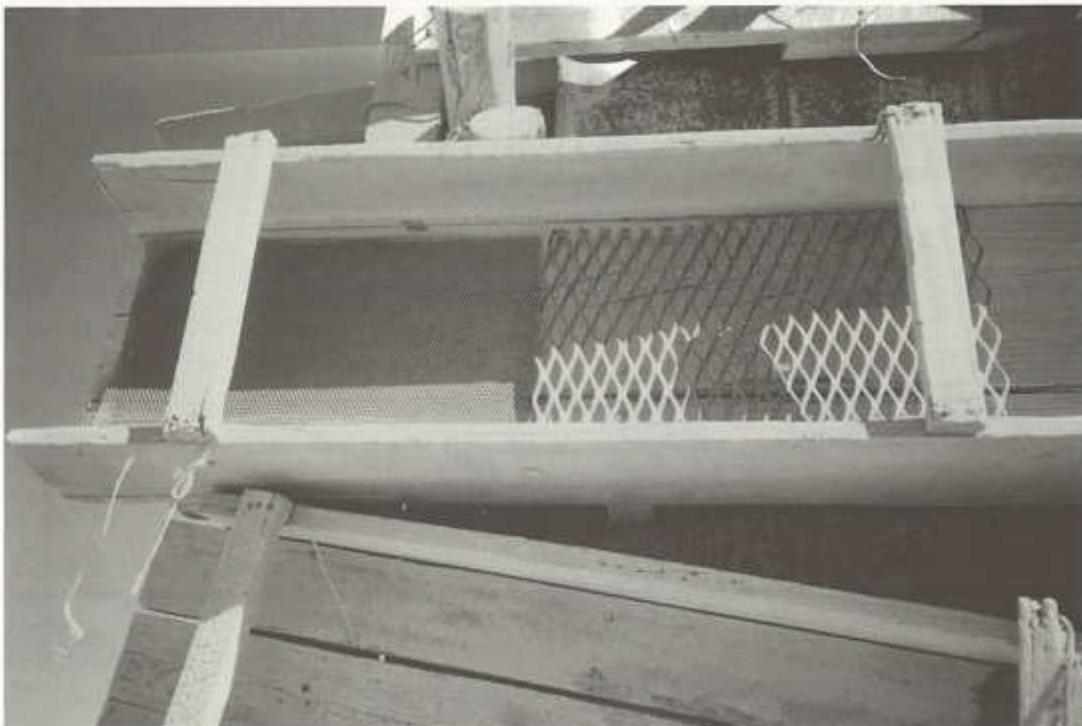
## 14.6 CANALETA PARA LA CONCENTRACION

Minería metálica  
Explotación de  
placeros auríferos

Beneficio  
Concentración



Beneficio de placeros de oro en una canaleta móvil con trancas en el río Guadas, Valle del Cauca, Colombia

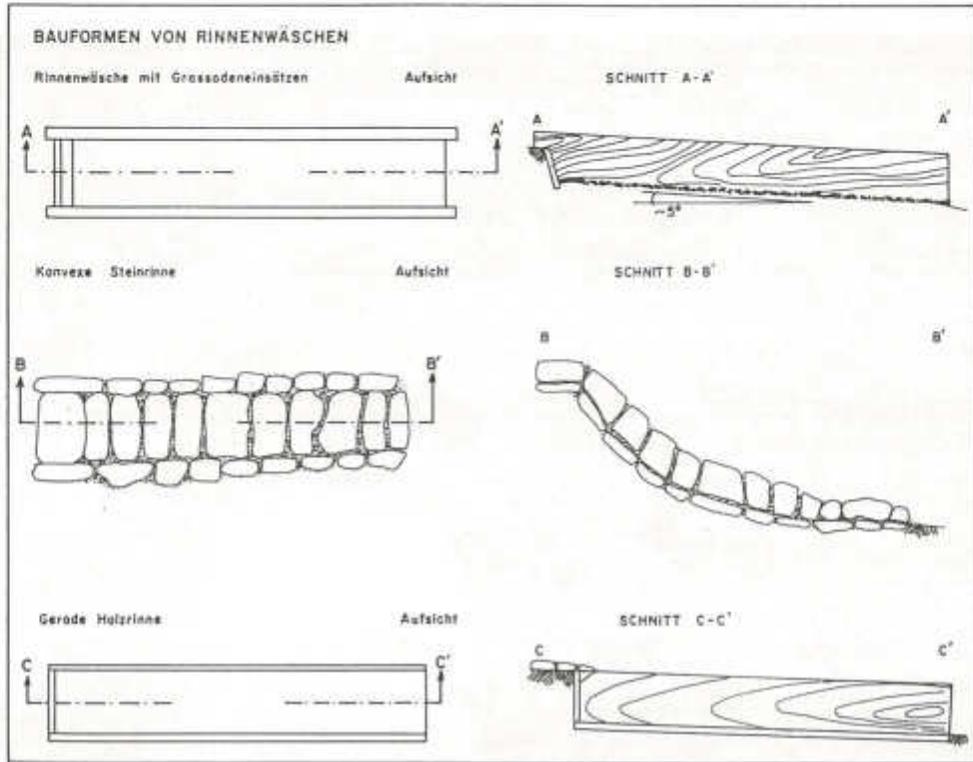


Piezas de redes de metal expandidas (expanded metal) en una canaleta para beneficio de oro en las cercanías de Copiapó, III Región, Chile.

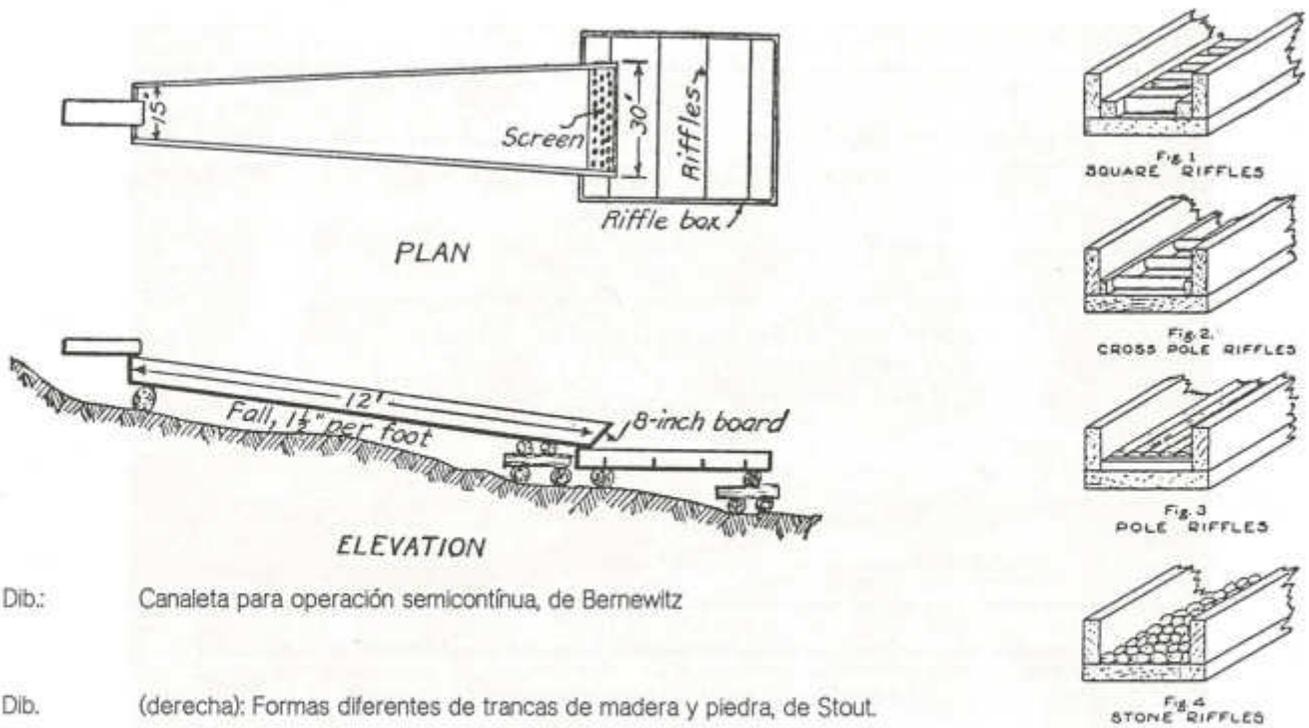
# 14.6 CANALETA PARA LA CONCENTRACION

Minería metálica  
Explotación de  
placeros auríferos

Beneficio  
Concentración



Dib.: Formas de construcción de canaletas de lavado para operación intermitente, minería del estaño y de wolfram en Bolivia, de Priester.



Dib.: Canaleta para operación semicontinua, de Bernewitz

Dib. (derecha): Formas diferentes de trancas de madera y piedra, de Stout.

## 14.7 CANALETAS NATURALES

Minería metálica  
Explotación de  
placers auríferos

Beneficio  
Concentración

Español: suceo en Potosí; canaleta natural, canalon natural  
Aleman: Erdrinne

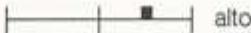
### DATOS TECNICOS:

Medidas: en el suelo, aprox. 1.5 x 1.5 x 200 - 300 m, hasta 100 m  $D_H$   
Grado de mecanización: no mecanizada  
Tipo de energía motriz: agua y corriente de lama  
Forma de trabajo: intermitente  
Producción/Rendimiento: aprox. 10 t/min (Canalones en Potosí)  
Material:  
Cuát: agua  
Cantidad: grandes cantidades

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión: altos costos de construcción  
Costos de operación: bajo ciertas circunstancias, altos costos de agua

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al personal: bajas  
Exigencias al lugar: declive grande, es necesaria agua  
Tamaño de grano de la alimentación: material de desmonte sin clasificar  
Propiedades específicas de la alimentación: gran diferencia de densidad entre el mineral valioso y la ganga  
Recuperación: muy baja, valor apreciado: < 10 % en Potosí < 50 % en Colombia  
Divulgación regional: Potosí/Bolivia, explotación de placeres de oro/Colombia

Experiencia del operador: muy buena  mala  
localmente buena

Contaminación ambiental: baja  muy alta  
relativamente grandes cantidades de colas de lama, gran demanda de espacio

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: solo trabajo de albañilería

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: M. Priester

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Lavado en canaletas con variación de condiciones de suelo y de inclinación, por la que el material de alimentación no clasificado baja como pulpa gruesa en forma de arroyo. El material sedimentado sobre el suelo es tratado posteriormente como preconcentrado.

### FORMAS DE USO:

Para producción de preconcentrado de material de desmontes no clasificado en el cerro de Potosí, Bolivia.  
Para producción de preconcentrado en la minería de placeres de oro en Colombia.

## 14.7 CANALETAS NATURALES

Minería metálica  
Explotación de  
placeres auríferos

Beneficio  
Concentración

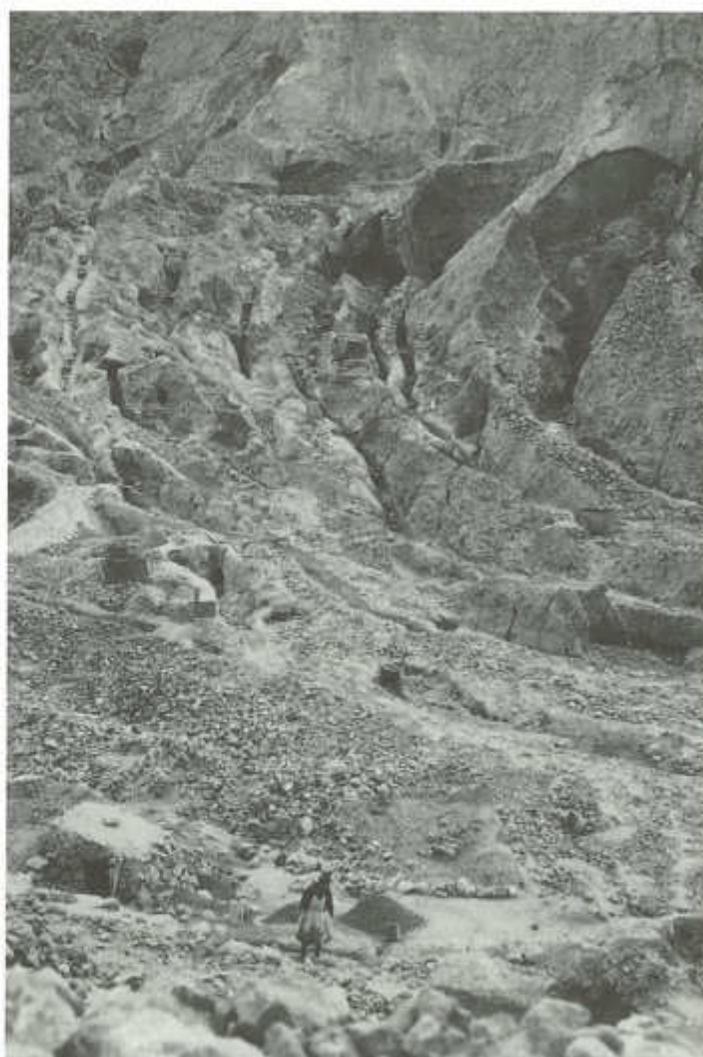
### OBSERVACIONES:

Debido al bajo grado de liberación es de esperar que resulte una muy baja recuperación del material valioso. Fuera de eso, las grandes cargas de lama del cauce demandan trabajos dentro de la canaleta. Solamente pocas condiciones topográficas permiten la construcción de canales naturales debido a que el material bruto tiene que encontrarse ya en el nivel del lugar de alimentación. Debido al proceso inefectivo todo transporte de material bruto se hace antieconómico.

En la explotación de oro en Barbacoas/Colombia, también se emplean canales parecidos (canales naturales) para la producción de preconcentrados. El sedimento con contenido de oro lavado con agua con poca presión corre en forma de pulpa lamosa por el canalón que se encuentra dividido mediante traviesas de piedra. El preconcentrado delante de estas traviesas de piedra es continuamente removido y lavado mediante almocafres (picotas) y cachos (rascadores de madera para la eliminación de piedras).

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Del caso especial de Potosí no se puede transferir la aplicación para otras labores y condiciones de beneficio.



Suceo en canaletas para la producción de preconcentrados en el beneficio de colas antiguas en el Cerro de Potosí, Bolivia.

## 14.8 CANALETA EN FORMA DE ABANICO

Minería metálica  
Explotación de  
placers auríferos

Beneficio  
Concentración

Español:	canaleta abanico
Inglés:	pinched sluice
Aleman:	Fächerrinne
Fabricante:	Taller Metal Mecánico

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	0.5 x 0.5 x 1.5 m alto, ancho, profundidad
Peso:	aprox. 25 kg
Grado de mecanización:	no mecanizada
Tipo de energía motriz:	solamente agua de proceso
Forma de trabajo:	continua
Grado de rendimiento técnico:	concentración en un factor de 2 a 3 por cada operación
Material:	
Cuál:	agua
Cantidad:	≤ 50 lt/min; 30 - 45 % peso

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	aprox. 150 DM
Costos de operación:	bajos

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal:	bajas		
Exigencias al lugar:	es necesario agua y $D_H$		
Tamaño de grano de la alimentación:	100 $\mu\text{m}$ - 1 mm		
Propiedades específicas de la alimentación:	el porcentaje de la fracción de arcilla en la alimentación deberá ser < 5 %, minerales valiosos 0.5 mm - 50 $\mu\text{m}$ , gran diferencia de densidad entre el mineral valioso y la ganga según el factor de concentración		
Recuperación:	otras canaletas, jigs para grano fino, buddles		
Aparato que puede reemplazar:	solo como prototipo en Potosí, Bolivia		
Divulgación regional:			
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller de carpintería		
Tiempo de vida:	Según la dureza abrasiva del material de alimentación		muy corto

Literatura, Fuente: M. Priester, Helfricht, R. Leutz (arenas de minerales pesados) en Erzmetall 42, Nro. 9, pag. 383 ff, Silva

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Canaletas con sección convergente, en las que una corriente de pulpa ancha y plana es convertida en una corriente de pulpa angosta y alta. En este proceso el material pesado se sedimenta hacia abajo. Una lengüeta divisora en el lugar de salida separa el flujo del material en una pulpa de material liviano (arriba) y una pulpa de material pesado (abajo).

## 14.8 CANALETA EN FORMA DE ABANICO

Minería metálica  
Explotación de  
placeres auríferos

Beneficio  
Concentración

### FORMAS DE USO:

Para la producción de preconcentrado en fracciones con tamaño de grano mediano, fino y finísimo.

### FORMAS ESPECIALES DE USO:

Para la homogenización y producción de preconcentrados como instalación anterior a los buddles. Mediante las canales en forma de abanico se pueden cortar flujos pico de la clasificación.

### OBSERVACIONES:

Las velocidades bajas relativas entre material y agua de proceso también permiten una concentración de alto grado para las fracciones de tamaño de grano fino.

La canaleta en forma de abanico es muy sensible en su regulación debido a las variaciones de la inclinación de la canaleta, de la alimentación de la pulpa y de la lengüeta divisora (se necesita experiencia, eventualmente debe acompañar al proceso un control de calidad mediante batea). El tiempo de vida aumenta mediante un revestimiento de goma o de material plástico resistente al desgaste. Las canales en forma de abanico también se emplean en la técnica moderna de la minería grande (Cannon, Carpco-Schneider, Cono de Reichert).

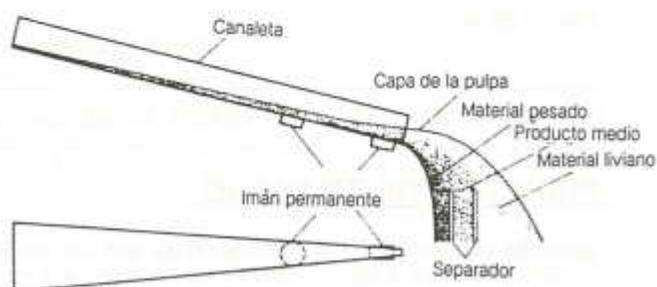
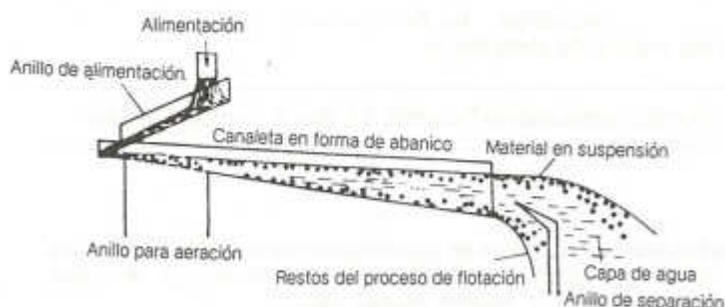
Con las canales en forma de abanico o los separadores de cono solo son posibles concentraciones hasta máximo 70 % del mineral pesado, debido a que estos aparatos trabajan solo de manera suficientemente selectiva hasta este margen de concentración.

El Tray Tester es un sistema de canales en forma de abanico conectadas en serie y colocadas una encima de otra, en las cuales la ganga y el concentrado son varias veces reconcentrados.

Fuera de las canales expuestas en forma de abanico simples que trabajan bajo el principio gravitacional, la concentración gravimétrica dentro de la canaleta de flotación en forma de abanico se puede combinar con otros procesos de separación. De esta manera en la canaleta de flotación en forma de abanico se puede realizar una flotación selectiva mediante el acondicionamiento del material con reactivos y el soplado de aire a través de una tela metálica fina instalada al comienzo de la canaleta (allí donde el flujo todavía es plano) dividiendo el flujo en dos corrientes, es decir en una corriente superior (Float) que lleva el material flotado y en una corriente inferior (Nonfloat) con el material no flotado. La lengüeta divisora instalada al extremo inferior de la canaleta separa los flujos. En el beneficio de minerales magnéticos de hierro se emplea la canaleta en forma de abanico con imanes instalados en el piso que refuerzan la separación de partículas minerales pesadas y magnéticas en el flujo inferior.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:

Las canales en forma de abanico son muy aptas para variadas tareas en la Pequeña Minería (producción de preconcentrados, homogeneización de alimentaciones para buddles, y otros). La construcción sencilla local, la forma de funcionamiento sin fuerza motriz junto a la operación continua caracterizan a la canaleta en forma de abanico.



Dib.: Formas especiales de canales en forma de abanico: izquierda, canaleta de flotación; derecha, canaleta de separación magnética, de Helfricht

## 14.8 CANALETA EN FORMA DE ABANICO DE ABANICO

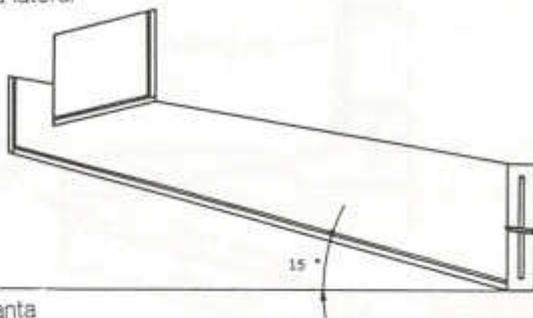
Minería metálica  
Explotación de  
placers auríferos

Beneficio  
Concentración

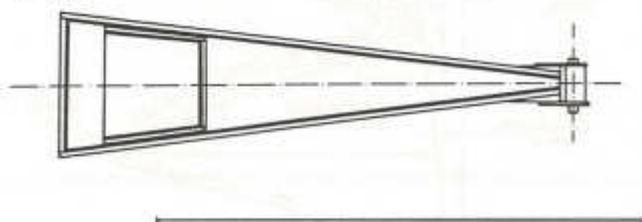


Canaleta en forma de abanico con revestimiento interior resistente al desgaste para la concentración de alimentación de minerales pesados, en una planta de beneficio boliviana de plomo zinc. Arriba, la alimentación; en primer plano, la lengüeta separadora regulable.

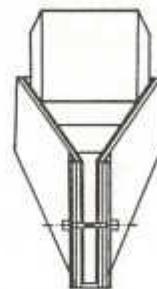
Vista lateral



Planta



Vista frontal



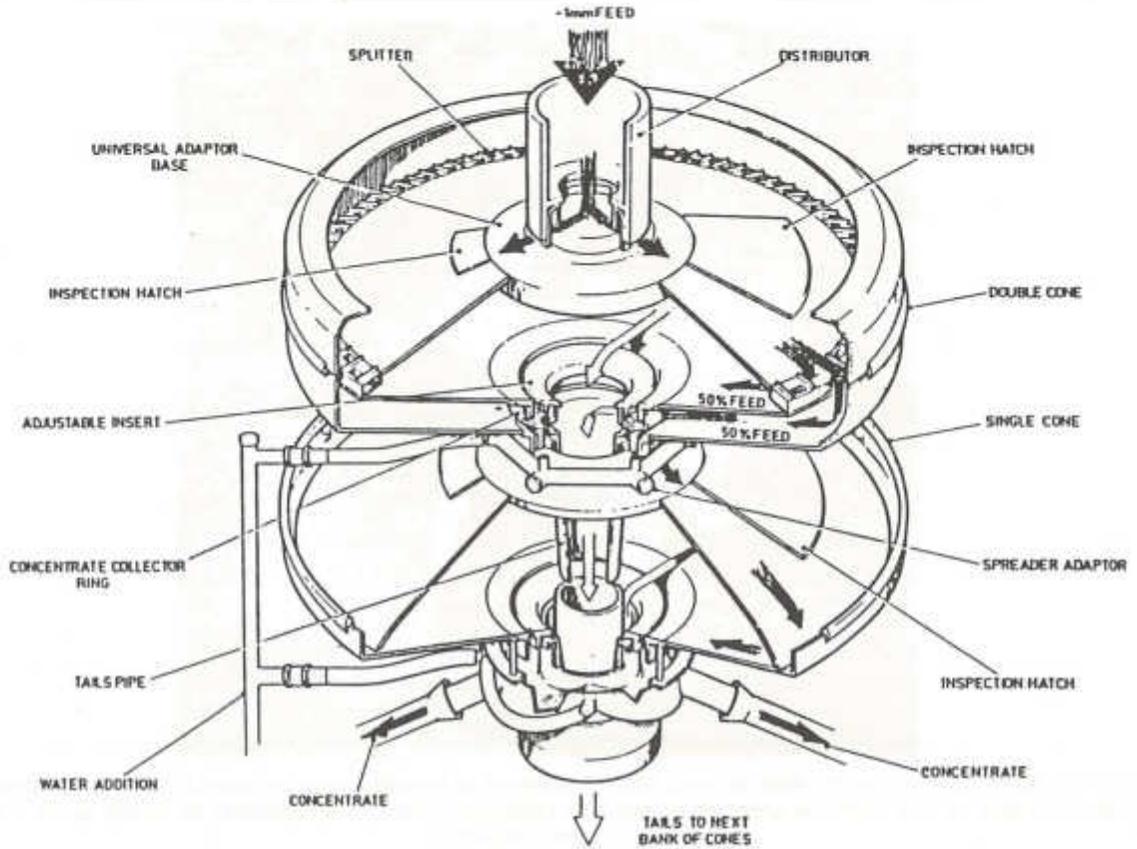
Interior de canaleta revestida con goma resistente al desgaste

Dib.: Vista lateral, planta y vista frontal de una canaleta en forma de abanico, de Priestler

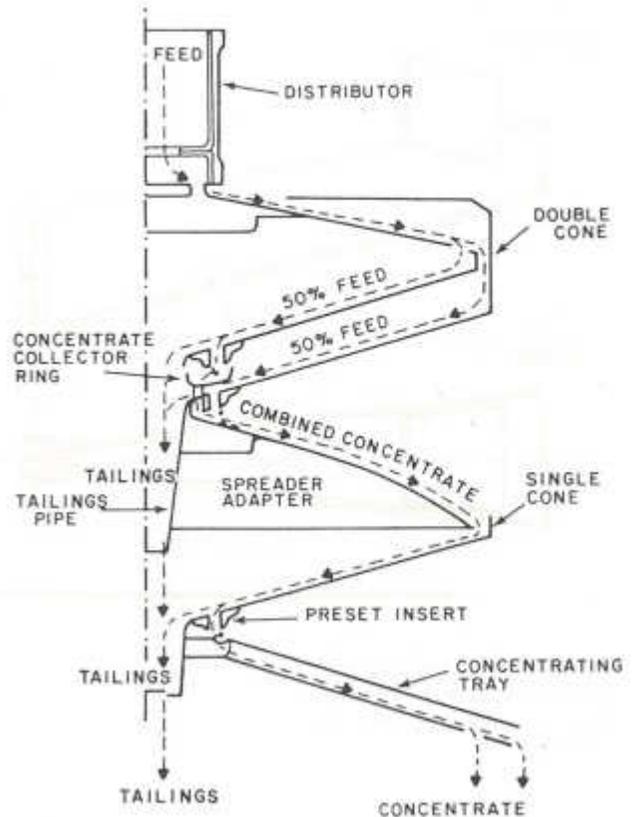
# 14.8 CANALETA EN FORMA DE ABANICO DE ABANICO

Minería metálica  
Explotación de  
placeros auríferos

Beneficio  
Concentración



Dib.: Funcionamiento de un separador de cono, de Robinson



Dib.: Recorrido de los flujos de los productos en un separador de cono, de Silva

## 14.9 CANALETA NEUMÁTICA

Minería metálica  
Explotación de  
placers auríferos

Beneficio  
Concentración

Inglés: dry blower, dry washer  
Aleman: Aerorinnen  
Fabricante: Keene, Oliver Manufacturing Comp., Berry Neu

### **DATOS TÉCNICOS:**

Medidas: 2 x 1 x 1.5 m alto, ancho, profundidad  
Grado de mecanización: no mecanizada  
Tipo de energía motriz: accionada manualmente o bien, accionamiento a pedal, fuerza motriz 250 min<sup>-1</sup>, amplitud aprox. 10 cm  
Posibilidades alternativas: mecanizada mediante motor a combustión  
Forma de trabajo: semicontinua

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos |-----■-----| altos

Gastos de mantenimiento: bajos |-----■-----| altos

Exigencias al lugar: ninguna, posible incluso en regiones sin agua  
Tamaño de grano de la alimentación: < 5 mm; en concentradores a aire entre aprox. 1 y 50 mm  
Propiedades específicas de la alimentación: la alimentación debe ser totalmente seca; son necesarias grandes diferencias de densidad entre el mineral valioso y la ganga  
Recuperación: la recuperación en el rango del grano de tamaño fino es relativamente baja.  
Divulgación regional: Australia, USA

Contaminación ambiental: baja |-----■-----| muy alta  
baja contaminación debido al polvo

Facilidad de fabricación local: muy buena |-----■-----| mala

Bajo qué condiciones: taller de carpintería

Tiempo de vida: muy largo |-----■-----| muy corto

Literatura, Fuente: de Bernewitz, Hunter, Stout, Silva

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El material de concentración es clasificado mediante tamices en varias fracciones. Los tamices están inclinados y desde abajo se suministra una corriente de aire mediante un fuelle. La corriente de aire sostiene el grano de sobretamaño que se encuentra sobre el piso de textil del tamiz en un lecho fluidizado, en el cual el material se separa horizontalmente según la diferencia de densidad. El material se desliza debido a la inclinación. Trancas retienen el material pesado y el material liviano se evacúa sobre ellas.

### **FORMAS DE USO:**

Preconcentración de minerales liberados en regiones áridas.

### **OBSERVACIONES:**

Además, el sistema puede ser provisto de un movimiento vibrador por medio de la construcción de los tamices en un armazón de acero flexible.

En regiones áridas, además de las canales neumáticas también se emplean canales vibratoras. En éstas no se produce ningún lecho fluidizado, motivo por el que el grado de separación y la recuperación del material valioso son menores.

## 14.9 CANALETA NEUMÁTICA

Minería metálica  
Explotación de  
placeres auríferos

Beneficio  
Concentración

### Concentradores a aire

Se ofrecen concentradores a aire para el beneficio de cargas de alimentación secas (por ejemplo, arenas auríferas en zonas áridas, alimentaciones de carbón), con altas capacidades de producción. Los concentradores a aire consisten en un piso de tamiz atravesado por aire sobre el cual el material de alimentación es sostenido en un lecho fluidizado estable. Debido a la inclinación del piso del tamiz y a golpes dirigidos, el lecho se concentra en una zona de material pesado y otra de material liviano. Los rendimientos comparativamente altos de la fuerza motriz y el gran porcentaje de polvo en suspensión que obliga a conducir el flujo de aire en un circuito cerrado o a realizar una separación del polvo ya sea mediante una cámara de separación o por interconexión de un ciclón son característicos. Es ventajoso el hecho de que los concentrados enriquecidos mediante concentración gravimétrica neumática no necesiten secado; la desventaja es el bajo grado de separación.

### Separación por medio de corriente de aire

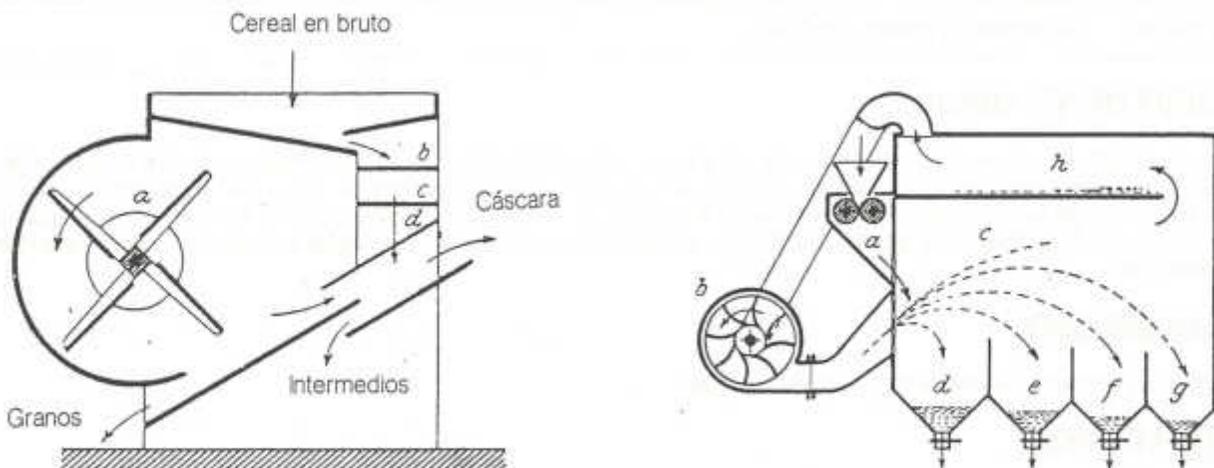
Otra técnica importante de la concentración neumática es la separación por corriente de aire. En esta técnica el material cae por una corriente de aire que desvía más a un extremo las partículas livianas que las partículas pesadas, correspondiendo a su relación  $\frac{\text{superficie expuesta}}{\text{peso}}$ . Las corrientes parciales se pueden separar mediante lengüetas. La separación por medio de corriente de aire concentra material de alimentación clasificado en un estrecho rango de tamaño de granos, totalmente seco y de tamaño fino, en la cual la contaminación extremadamente alta por el polvo representa un gran problema ambiental. Ciclonas, lavaderos de aire húmedo o instalaciones totalmente herméticas que manejan el aire con el que se opera en circuito pueden rebajar la contaminación ambiental, pero conducen a altos costos.

### Canaleta en forma de abanico con corriente de aire

El beneficio neumático por ejemplo en regiones áridas puede llevarse a cabo también en canaletas en forma de abanico con corriente de aire, donde el aire soplado produce un lecho fluidizado del material a concentrar sobre una base de paño, el cual luego es concentrado análogamente como en las canaletas hidráulicas en forma de abanico. Las condiciones para un buen éxito de concentración son grandes diferencias de densidad y una clasificación con estrecho rango de tamaño de grano. Las canaletas en forma de abanico con corriente de aire se emplean en la producción de preconcentrados.

## APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:

Es un aparato sencillo que se puede fabricar localmente, muy apto para el empleo sobre todo para el beneficio de minerales pobres muy valiosos (oro de lateritas) en regiones áridas.

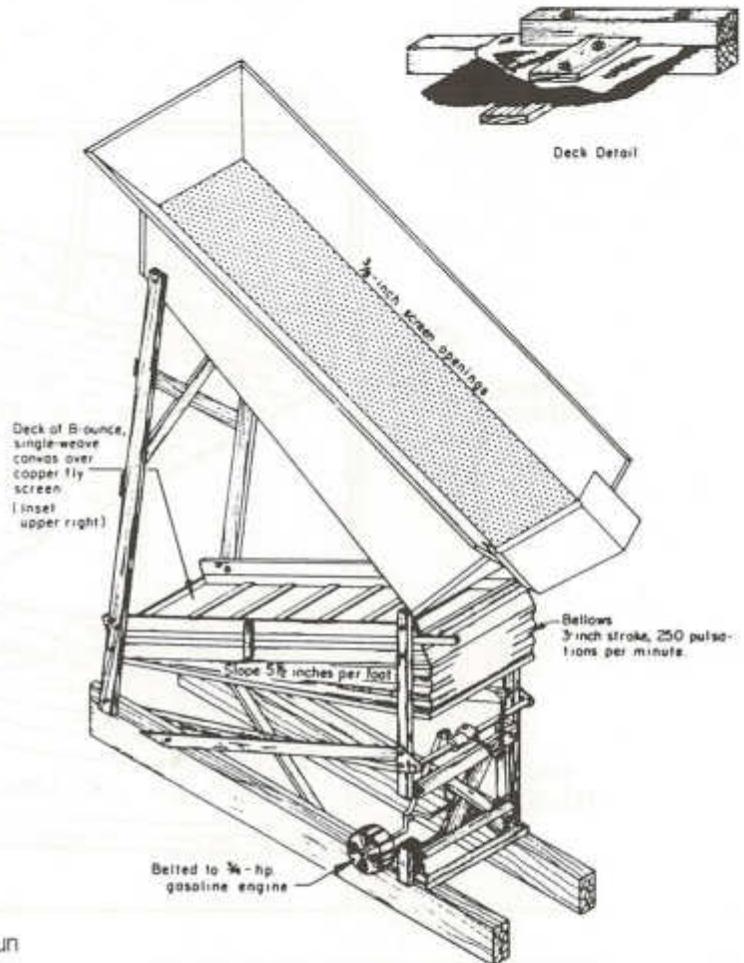


Dib.: Concentración en corriente de aire. Izquierda, separador a corriente de aire para cereales; derecha, concentración de minerales en separador a corriente de aire, de Fischer.

# 14.9 CANALETA NEUMÁTICA

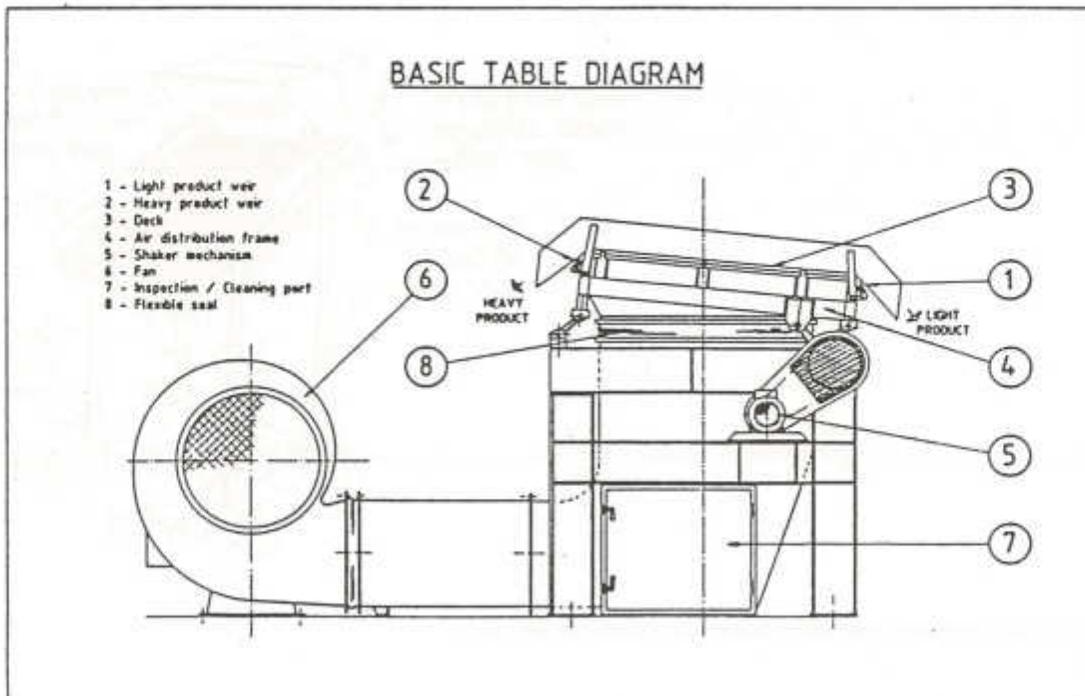
Minería metálica  
Explotación de  
placeros auríferos

Beneficio  
Concentración



Dib.: (derecha): Canaleta neumática, de Silva

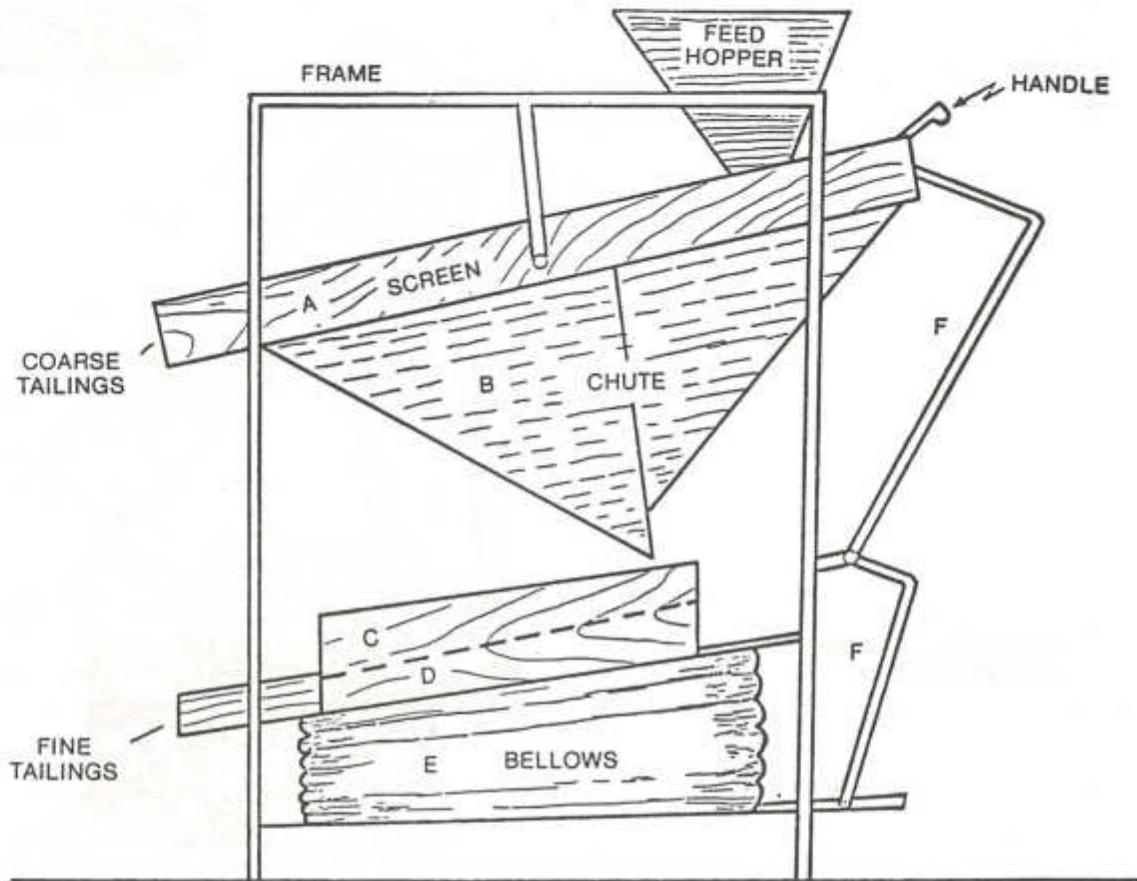
Dib.: (abajo): mesa a corriente de aire, de Ackthun



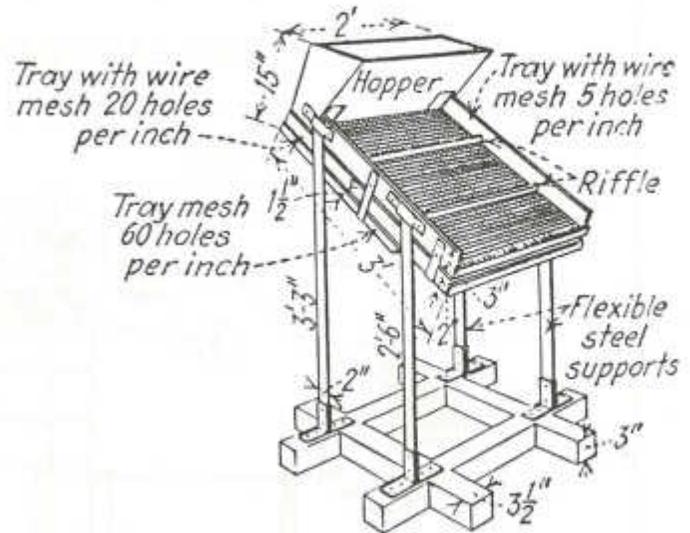
**14.9 CANALETA NEUMÁTICA**

**Minería metálica  
Explotación de  
placers auríferos**

**Beneficio  
Concentración**



Dib.: Canaleta neumática manual, Fuente: Stewart



Dib.: Canaleta vibradora de funcionamiento en seco, de Bernewitz.

**14.10 BUDDLE REDONDO****Minería metálica**  
**Minería del carbón****Beneficio**  
**Concentración**

Español:	rumbulo, rumbo, phurmuchina, plataforma conica, plataforma redonda de concentración
Inglés:	buddle, roundbuddle
Aleman:	Schlämmgrube, Sandrundherd, Kegelherd, Runder Liegendherd, Liegender Rundherd

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 2 m Ø, 1 m altura, 6.3° del cono
Peso:	mayormente en el suelo, otros componentes aprox. 20 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	solo agua de proceso
Forma de trabajo:	semicontinua
Producción/Rendimiento:	hasta alrededor de 1.000 kg/h
Material:	
Cuát:	agua
Cantidad:	hasta 75 lt/min

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	aprox. 300 - 350 DM; en construcción propia más barato
Costos de operación:	despreciables, solo costos de personal

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal:	bajas		
Exigencias al lugar:	agua y D <sub>h</sub> min aprox. 1 m necesariamente		
Tamaño de grano de la alimentación:	50 µm - 2.000 µm		
Propiedades específicas de la alimentación:	grandes diferencias de densidad entre el mineral valioso y la ganga		
Recuperación:	en promedio: aprox. 50 % en el concentrado, 25 % en el producto medio, 25 % en la ganga, frecuentemente el material es recirculado para elevar las leyes del concentrado		
Aparato que puede reemplazar:	mesas, canaletas		
Divulgación regional:	Perú, Bolivia		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	trabajos de albañilería, taller de carpintería		
Tiempo de vida:	extremadamente largo		muy corto

Literatura, Fuente: M. Priester, Ahlfeld, Gaetzschnann, B+H.Z 1865, Linkenbach, Callon

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La pulpa de alimentación cae sobre un cono plano de sedimentación ubicado en el centro. Las velocidades de la pulpa hacia los extremos son cada vez menores condicionadas por la geometría del espacio de sedimentación. Debido a ésto, el material se sedimenta o bien se concentra. El material pesado fino (con menor superficie expuesta a la corriente) sedimenta en el medio, luego el material pesado grueso, más hacia afuera el material liviano fino y al contorno el material liviano grueso. La fracción de lama es extraída. Debido al embalsamiento del nivel de la pulpa se alcanzan condiciones homogéneas de sedimentación. La extracción de los productos se realiza después de la conclusión del proceso de concentración y luego del secado del material en segmentos concéntricos con la pala.

**14.10 BUDDLE REDONDO****Minería metálica**  
**Minería del carbón****Beneficio**  
**Concentración****FORMAS DE USO:**

Concentración de alimentaciones finas.  
Concentración de colas de mesas.

**FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Flotación para la separación de impurezas sulfuradas de concentrados óxidos con ácido sulfúrico, diesel y xantato. Las superficies límites entre aire y agua se producen en la alimentación central de la pulpa.

**OBSERVACIONES:**

- Para homogeneización y frenado de la corriente de la pulpa se instalan amarros de césped (chorros) en la alimentación de la pulpa,
- para la simplificación del embalsamiento del nivel de la pulpa en el espacio de sedimentación se aconsejan trancas de planchas de metal o de madera,
- aumento de la producción mediante división sencilla de la corriente de pulpa de alimentación y conexión de buddles en paralelo,
- inventado aproximadamente en 1840 en Inglaterra por Hughes/Bail (Revista para Ciencias Mineras, Metalúrgicas y Salinas 1865, 22), 1842 por Taylor (Gurt),
- el buddle redondo (Linkenbach) corresponde a la forma común en Bolivia del concentrador mediante cono, la diferencia está en la alimentación y la homogeneización que se alcanza mediante una instalación mecánica rotante en donde cuelgan trapos y escoba. Así, las zonas turbulentas son más pequeñas en el punto de alimentación.

Para apreciar la calidad de los productos, el beneficiador tradicional utiliza una pala como batea, con ella averigua las leyes de los minerales pesados en el radio correspondiente y determina el diámetro de las zonas concéntricas del concentrado, del producto medio y de la ganga para la extracción de los productos.

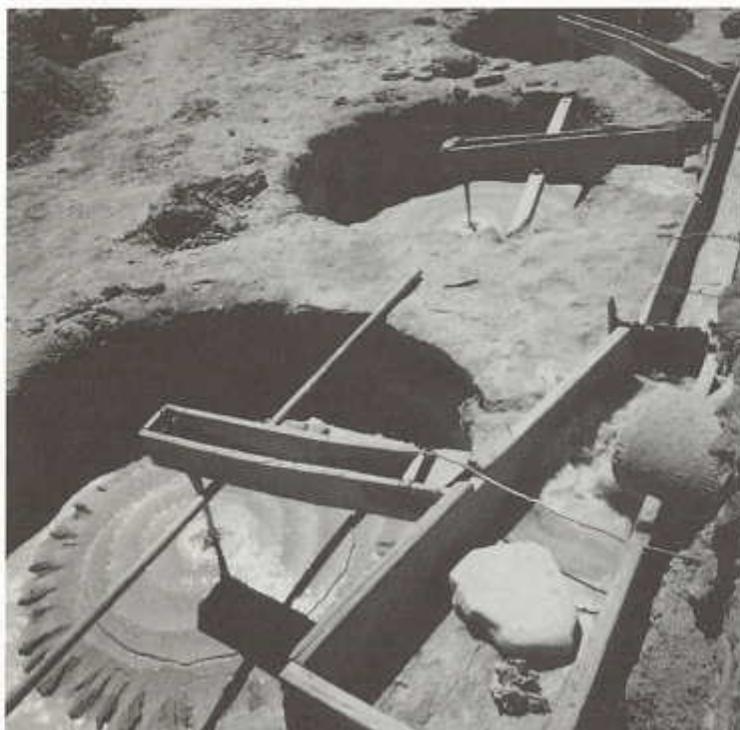
La inclinación del ángulo del cono es de influencia especial para las leyes del concentrado y la recuperación. Valores óptimos se pueden alcanzar entonces cuando la inclinación del cono es elegida igual a la inclinación del cono de sedimentación producido. Esta varía según el tamaño de grano, la distribución del mineral y la cantidad de pulpa. Mientras más fina sea la alimentación o mientras menores sean las diferencias de densidad, más plana será la inclinación del sedimento hacia afuera.

En los yacimientos filonianos bolivianos de estaño y wolfram los ángulos óptimos del cono son de alrededor 6.3°.

En relación a la operación del proceso se dan diferentes esquemas de flujo mediante clasificación y alimentación de fracciones con estrecho rango de tamaño de granos a maquinarias de concentración (Método del Harz) o alimentación de fracciones con amplios rangos de tamaño de grano a etapas de concentración con separación del grano de sobretamaño (ganga) del concentrado a continuación en una etapa de clasificación posterior (Método anglo-sajón).

**APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Los buddles en general son muy aptos para la concentración mecánica húmeda de granos de tamaño fino en la Pequeña Minería. Igualmente, es un aparato apropiado para la reconcentración de las colas de mesas. Los buddles se caracterizan por su construcción muy sencilla y económica y por la ausencia de componentes móviles.

**14.10 BUDDLE REDONDO****Minería metálica  
Minería del carbón****Beneficio  
Concentración**

Tres buddles conectados en paralelo para la concentración de grano de tamaño fino de minerales de estaño. Visible es el embalse muy bajo del nivel de la pulpa que conduce a erosiones en los contornos del cono de sedimentación. San Cristobal, Porco, Bolivia.

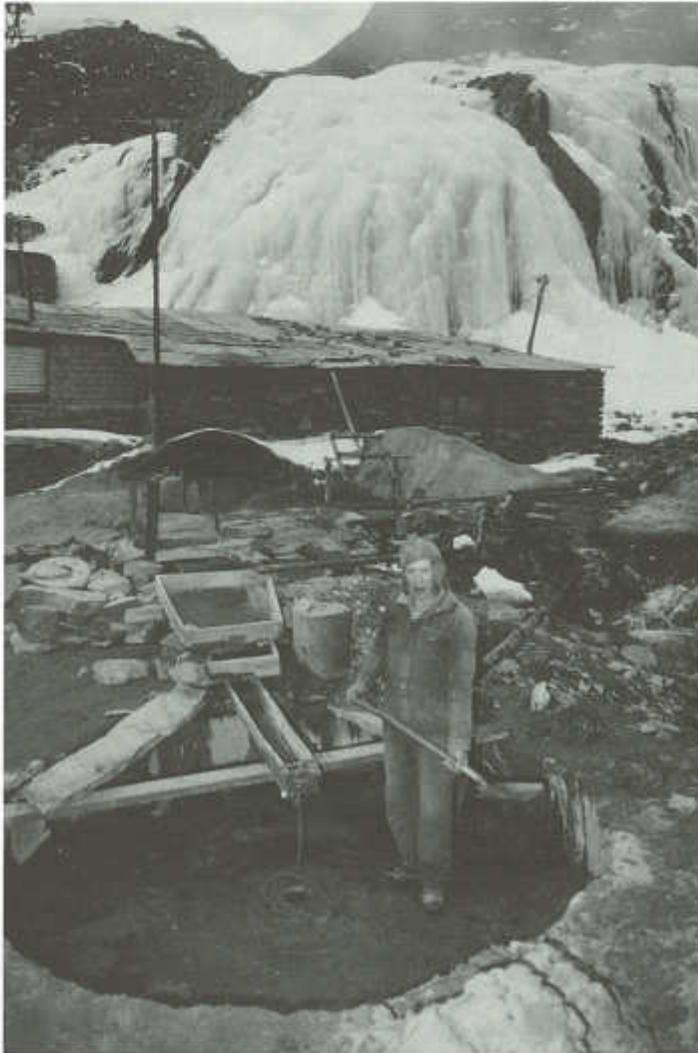


Flotación de sulfuros en un buddle para la limpieza de concentrados óxidos de estaño, en Graciela, Kami, Bolivia.

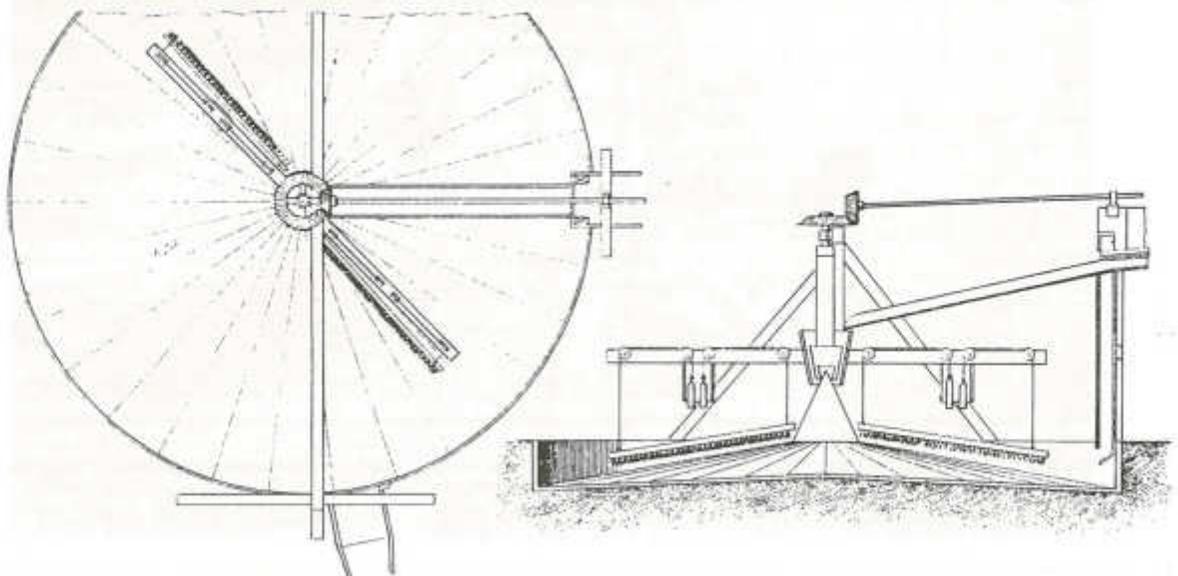
## 14.10 BUDDLE REDONDO

Minería metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración



Un buddle después del vaciado del cono de sedimentación mediante la pala. Visibles son la canaleta de alimentación; debajo un pequeño tamiz fijo y la canaleta de la pulpa con el "chorro" para disminución de la velocidad de la pulpa. Atrás, un jig manual sencillo. Mina Monteblanco, 4.900 msnm, Cordillera Tres Cruces, Bolivia.



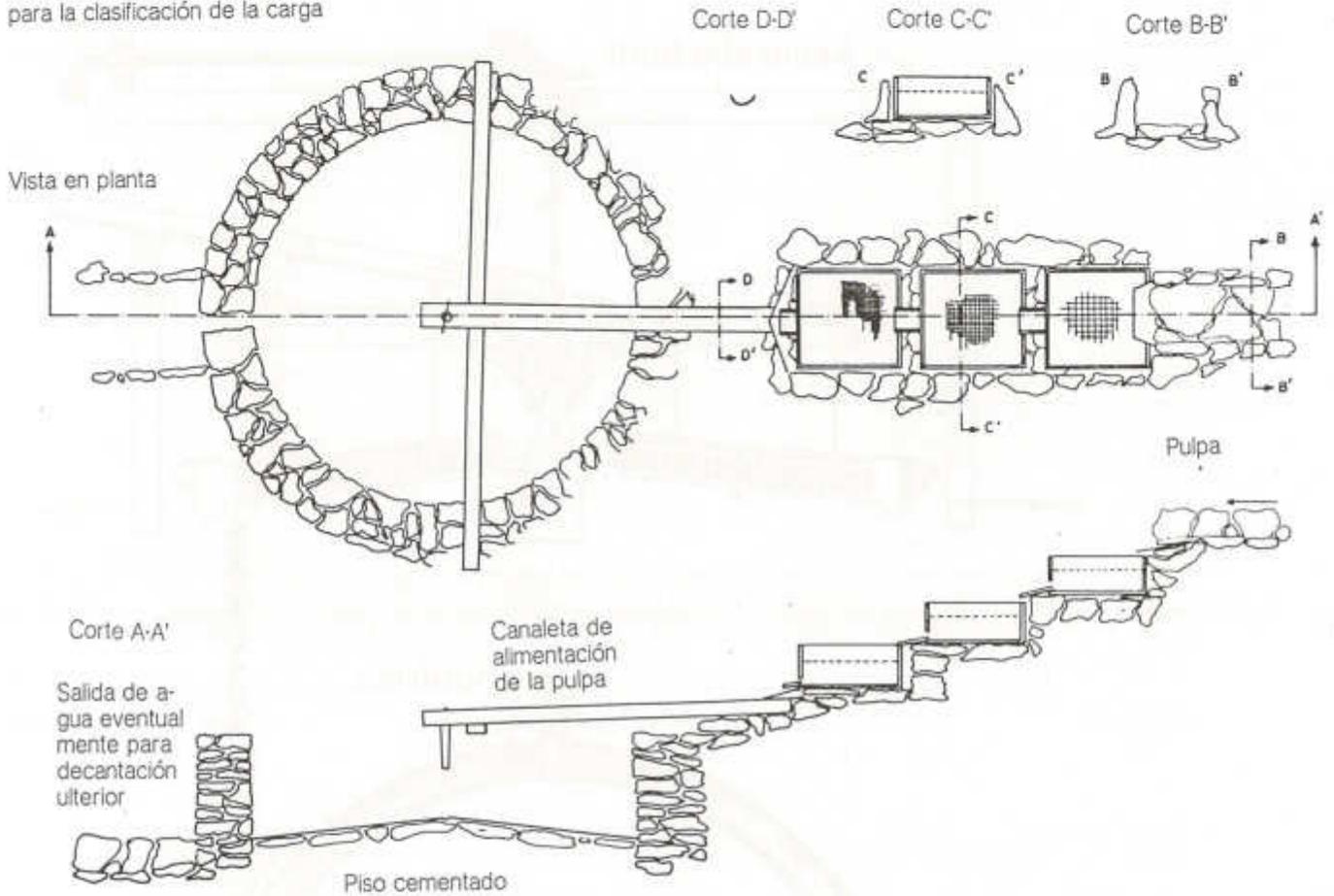
Dib.: Concentración mediante cono, de Callon

# 14.10 BUDDLE REDONDO

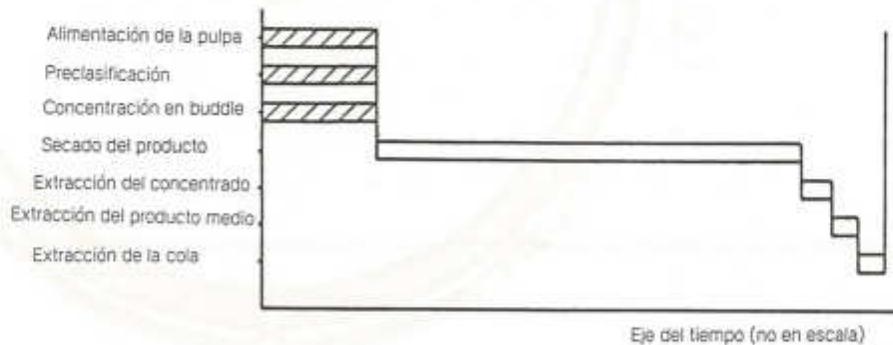
Minería metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración

Buddle boliviano con cribas para la clasificación de la carga



Dib.: Planta y corte de un buddle boliviano, de Priester

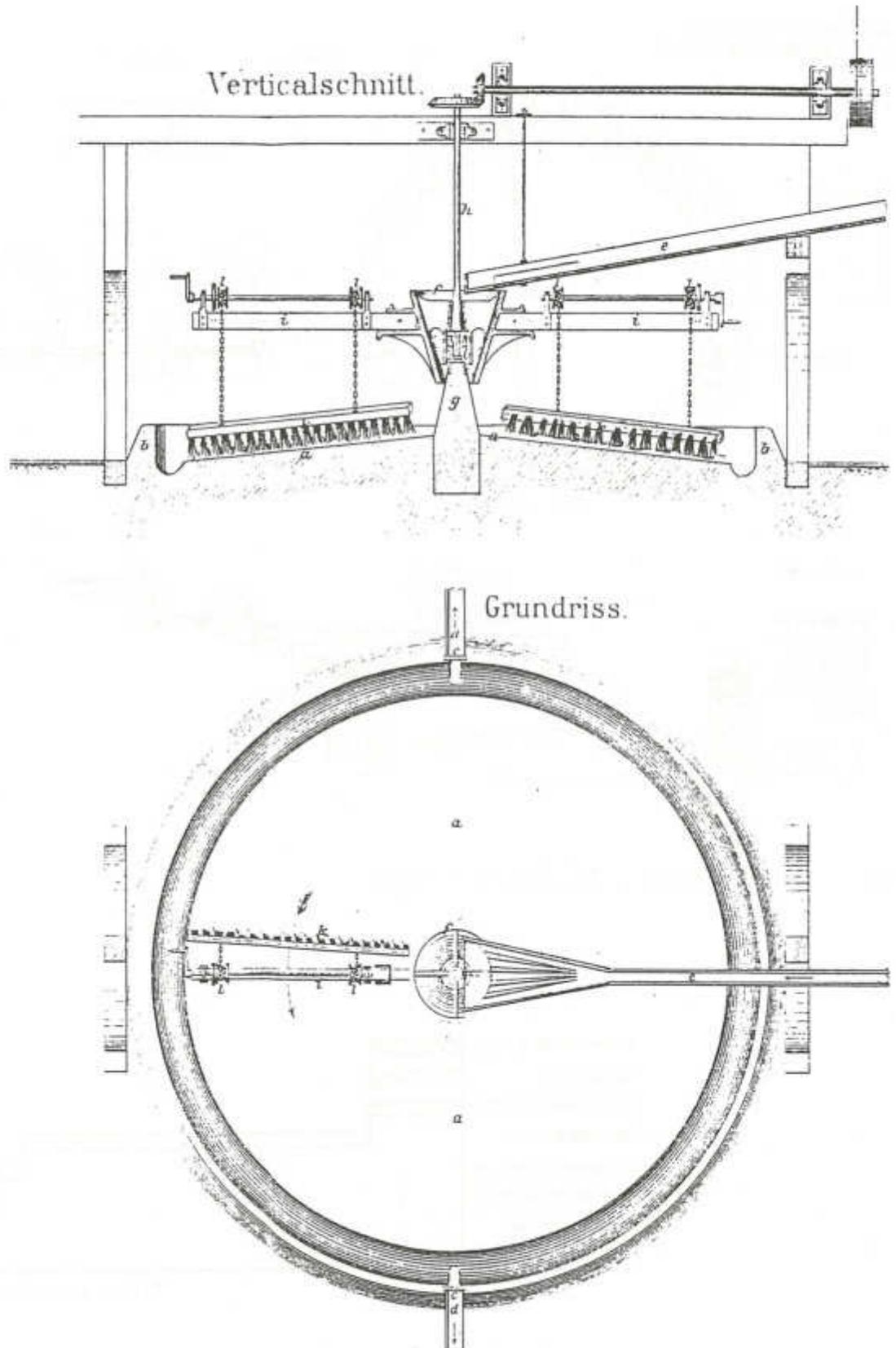


Dib.: Cronograma de trabajo de un proceso de concentración en un buddle boliviano, de Priester

## 14.10 BUDDLE REDONDO

Minería metálica  
Minería del carbón

Beneficio  
Concentración



Dib.: Buddle redondo mecanizado, Fuente: Linkenbach

## 14.11 BUDDLE CONICO DE HUNDT

Minería metálica

Beneficio  
Concentración

Español:	buddle cónico, buddle circular
Inglés:	circular buddle
Aleman:	Hundt'scher Trichterherd, mechanisierte Schlammgrube

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	estrella con 4 o 6 canaletas/trapos, aprox. 4 m Ø, 2 m alto, 3.2°, capacidad aprox. 7 - 14 m <sup>3</sup>
Peso:	mayormente en el suelo, si no aprox. 300 kg
Grado de mecanización:	parcialmente mecanizado
Potencia motriz:	aprox. 0.5 - 1 PS, 11 min <sup>-1</sup>
Tipo de energía motriz:	mecánica con transmisión de motor eléctrico
Posibilidades alternativas:	hidromecánica
Forma de trabajo:	semicontínuo
Producción/Rendimiento:	300 - 1.000 kg/h con relativamente bajos factores de concentración
Material:	
Cuát:	agua
Cantidad:	hasta 100 lt/min

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	mín. 1000 DM sin fuerza motriz
Costos de operación:	costos de energía, costos de personal, desgaste muy bajo

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal:	bajas		
Exigencias al lugar:	es necesario agua corriente y Dh mín aprox. 1.5 m		
Tamaño de grano de la alimentación:	10 µm - 200 µm		
Propiedades específicas de la alimentación:	grandes diferencias de densidad entre el mineral valioso y la ganga		
Recuperación:	más baja que en el buddle redondo debido a los tamaños de grano pequeños		
Aparato que puede reemplazar:	buddle redondo		
Divulgación regional:	actualmente solo muy raramente en Bolivia		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
	Mayor demanda de espacio		
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller metal-mecánico y de carpintería, trabajos de albañilería		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: M. Priester, Gurit, Liwehr, Hundt, Pieler, Koecke, Rittinger

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Buddles con alimentación de la pulpa por el contorno mediante una canaleta en forma de estrella que rota lentamente. La pulpa llega al espacio de sedimentación en forma de embudo a través de la pared exterior. Las velocidades muy bajas permiten la sedimentación y concentración de alimentaciones de grano finísimos. En los buddles mecanizados el material pesado sedimenta afuera. El material liviano y el agua se extraen por la parte central.

## 14.11 BUDDLE CONICO DE HUNDT

Minería metálica

Beneficio  
Concentración

### FORMAS DE USO:

Concentración de alimentaciones de grano finísimo.  
Reconcentración de colas de mesas.

### OBSERVACIONES:

Debido al gran volumen son posibles largos ciclos de trabajo. La conexión en paralelo de buddles mecanizados aumenta la producción de la instalación. Excelentemente apto para el beneficio gravimétrico hidromecánico de fracciones de tamaño de grano finísimo, en las cuales se encuentran altos porcentajes de mineral valioso, especialmente en la minería de estaño y wolfram.

Inventado en 1958 por von Hundt en Siegerland y probado en Ramsbek. Los resultados fueron una mayor producción que en los buddles redondos como también sustancialmente mayores leyes de concentrados, sin embargo una recuperación mayor en poca magnitud. Fuera de pequeños detalles (alimentación de la pulpa, perfil doblado del espacio de sedimentación), los buddles mecanizados que se encuentran en Bolivia son constructivamente iguales: desde hace 130 años!!

Según Hundt basta un hombre para la atención de 3 - 4 buddles mecánicos.

Las ventajas en comparación a los buddles no mecanizados son:

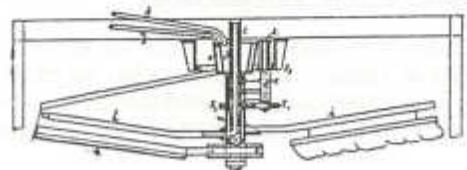
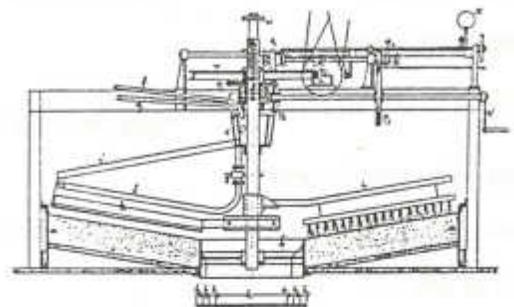
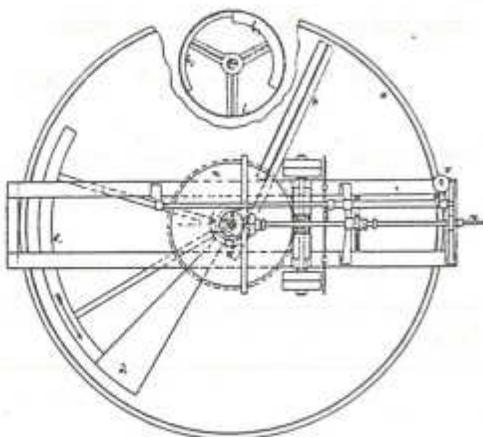
- + poca demanda de agua
- + baja fuerza de movimiento
- + bajos costos en el trabajo de albañilería

Fuerza motriz mediante rueda hidráulica de 2 m de altura con muy poca cantidad de agua impelente.

La selectividad de los buddles mecánicos baja con la ley de la alimentación en la pulpa, de manera que los buddles mecanizados son apropiados para alcanzar preconcentrados, sin embargo no tanto para la concentración final. Para alcanzar altas leyes de concentrado, la alimentación tiene que ser recirculada hasta 6 veces.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Los buddles mecanizados son los únicos aparatos de concentración mecánica húmeda para grano de tamaño finísimo conocidos de la técnica de beneficio tradicional en la Pequeña Minería. Es necesaria una fuerza motriz para la mecanización.



Dib.: Buddle mecanizado, de Liwehr

## 14.11 BUDDLE CONICO DE HUNDT

Minería metálica

Beneficio  
Concentración



Buddle mecanizado para la concentración de grano de tamaño finísimo de minerales de estaño. Los trapos en la estrella de canaletas sirven para la homogenización del material sedimentado. Planta de beneficio de relaves, Poopó, Oruro, Bolivia

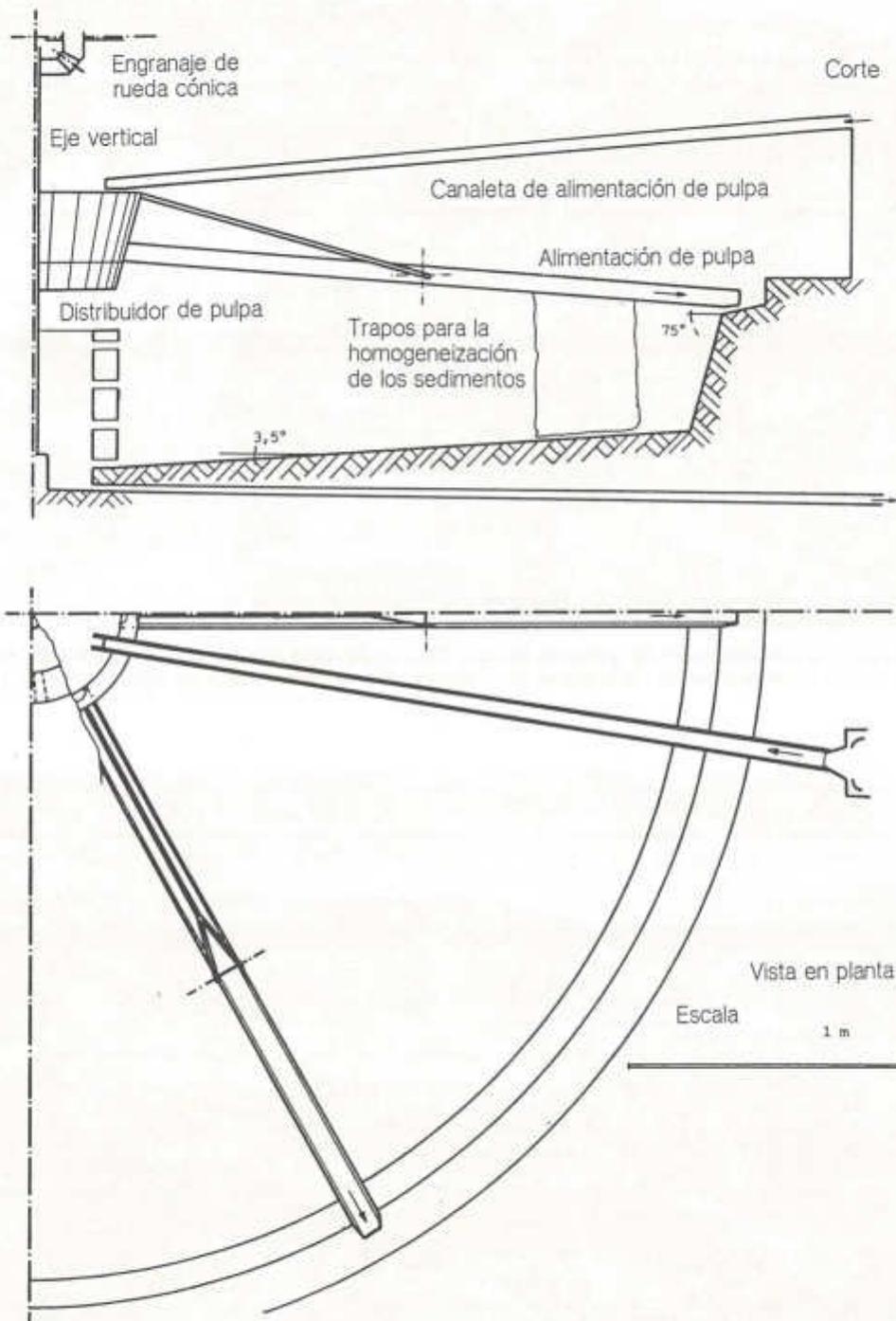


Restos de un buddle mecanizado de aprox. 8 m de diámetro. Esta instalación servía antes para la concentración de grano de tamaño finísimo de minerales de plomo y plata, cerca a Potosí, Bolivia.

# 14.11 BUDDLE CONICO DE HUNDT

Minería metálica

Beneficio  
Concentración



**14.12 TINA DE REFINACION****Minería metálica****Beneficio  
Concentración**

Español:	tina de levante, tina de refinación según el proceso de Schanz, tina de deslame, cajón de asentamiento
Inglés:	dolly tub, tossing kieve
Aleman:	Raffinationstonne nach dem Schanzverfahren, Schlämmfaß, Engl. Rührfaß, Rührwerk, Stauchkasten

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	tina de plancha o turril con capacidad 50 - 150 lt
Peso:	aprox. 10 - 30 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	manual
Posibilidades alternativas:	eventualmente hidromecánica ?
Producción/Rendimiento:	1 - 6 kg/min
Material:	
Cuál:	agua
Cantidad:	≤ 5 lt/min

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	prácticamente ninguno
Costos de operación:	solo costos de personal

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal:	bajas		
Exigencias al lugar:	ninguna		
Tamaño de grano de la alimentación:	20 - 2.000 µm		
Propiedades específicas de la alimentación:	diferencias de densidad entre el mineral valioso y la ganga		
Recuperación:	en promedio, del concentrado 60 % del material valioso, la ganga se recircula		
Aparato que puede reemplazar:	canaletas, buddles		
Divulgación regional:	Bolivia, antes divulgado en Europa central en un principio como aparato de concentración, luego solamente para desagüe		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: M. Priester, Schennen, Treptow, Villefose, Althaus, Zirkel

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La alimentación es mezclada con agua en una relación aproximada de 1 : 1 (relación de pesos) y homogeneizada mediante el removido. Por medio de golpes al recipiente, el sedimento se vuelve tixotropo y empieza a fluir. Comienza un proceso de decantación y de flotación en una pulpa espesa, por lo que el material liviano flota y el pesado se hunde.

Después de varios minutos el agua decanta. El sedimento consolidado está sedimentado en forma vertical según la diferencia de densidades y es extraído selectivamente mediante una espátula.

## 14.12 TINA DE REFINACION

Minería metálica

Beneficio  
Concentración

### FORMAS DE USO:

Relimpieza de concentrados de canaletas y de buddles.

### OBSERVACIONES:

Debido a los movimientos muy bajos del agua se puede concentrar material finísimo también con alto grado de separación, incluso se pueden tratar materiales con pequeñas diferencias de densidad.

Los resultados se pueden mejorar mediante la colocación de una base inclinada, por ejemplo, es posible una plancha de goma (menor amortiguación que directamente en el piso).

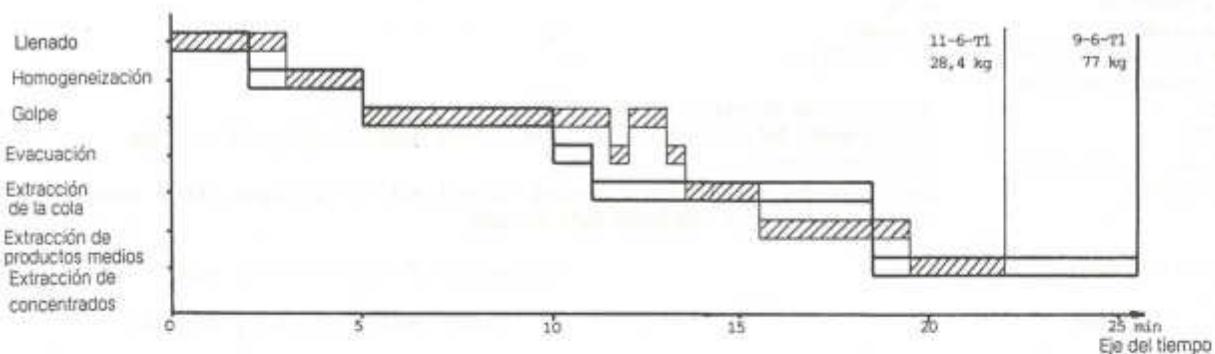
Como forma mecanizada se conoce de Inglaterra el dollytub de Villafosse. Un árbol de levas (hidromecánico, luego accionado mediante máquina a vapor) producía el movimiento de golpe.

Instalaciones adecuadas de amortiguación para prensas vibratoras con resortes de auto (demanda de investigación y desarrollo).

La definición de los cortes del material mixtoganga y del concentrado mixto se realiza mediante el control del producto con batea.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

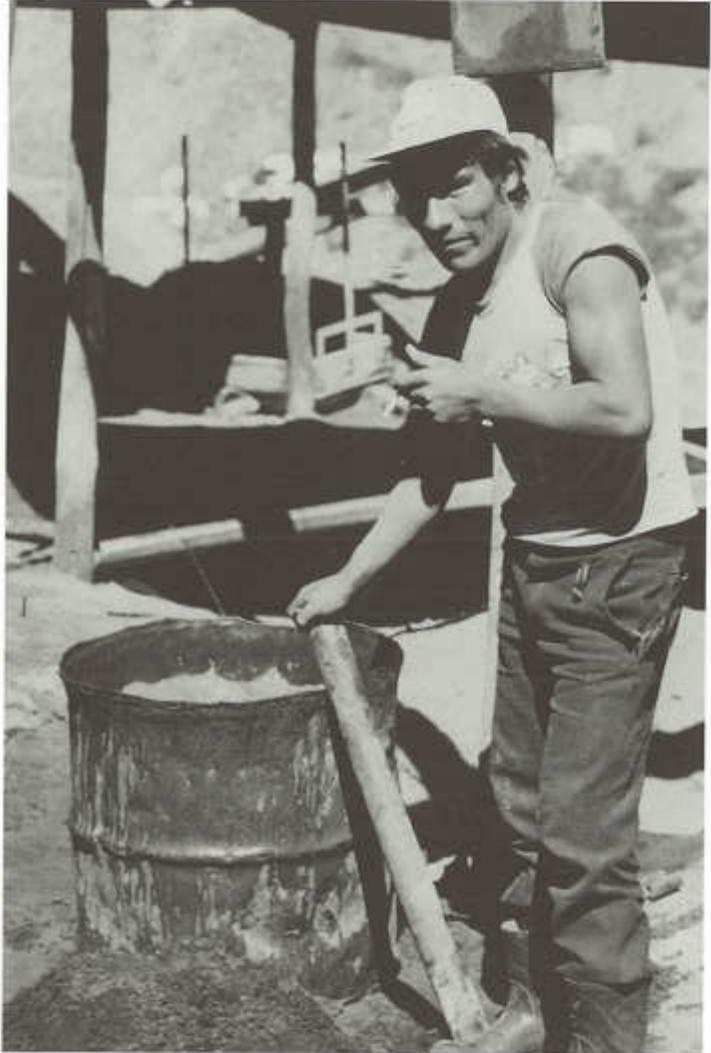
Los turriles de refinación según el proceso de Schanz se pueden emplear en forma práctica como aparatos de relimpieza y desagüe en operaciones no mecanizadas para el tratamiento de concentrados de alto valor (por ejemplo, concentrados de estaño, wolfram y plata). Los costos de inversión son extremadamente bajos y el grado de separación es bastante alto, incluso para material fino.



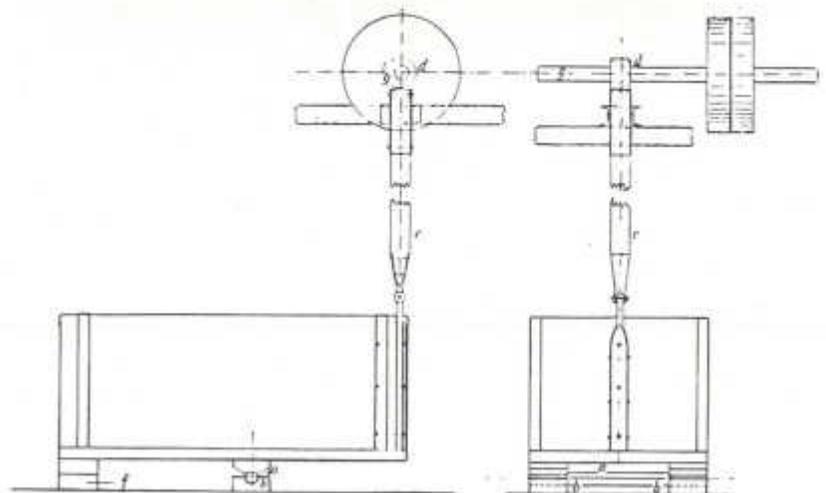
Dib.: Cronograma de trabajo de etapas de concentración en turriles de refinación según el proceso Schanz, de Priestter

## 14.12 TINA DE REFINACION

Minería metálica

Beneficio  
Concentración

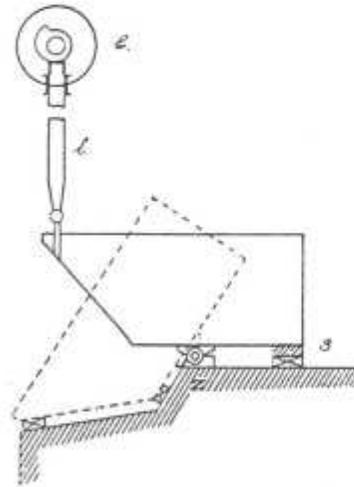
Turril de refinación según el proceso de Schanz para la relimpieza de concentrados de wolfram, Santa Rosa, Kami, Bolivia



Dib.: Caja de Inmersión, según Schennen

**14.12 TINA DE REFINACION**

Minería metálica

Beneficio  
Concentración

Dib.: Cajón de asentamiento, según Treptow

## 14.13 MESA DE CONCENTRACION A GOLPES

Minería metálica

Beneficio  
Concentración

Español:	mesa de sacudimientos, mesa de concentración, mesa de golpe
Inglés:	concussion table
Aleman:	Stoßherd

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	3 m largo, 1.2 m ancho
Tipo de energía motriz:	la fuerza motriz hidromecánica es práctica debido al relativamente bajo número nominal de revoluciones de la mesa de concentración a golpes
Posibilidades alternativas:	fuerza motriz electromecánica, fuerza motriz mecánica de motor a combustión, accionamiento manual, accionamiento a pedal
Producción/Rendimiento:	aprox. 250 kg/Hh inclusive alimentación, extracción de los productos
Grado de rendimiento técnico:	mayor que las mesas de limpieza manual, en el concentrado se logra también material pesado muy fino, por ejemplo en mirales auríferos < 20 $\mu\text{m}$
Material:	
Cuál:	agua
Cantidad:	aprox. 50 - 80 % peso

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	en producción local la mesa de concentración a golpes se puede producir bastante económicamente, p.ej., en Colombia, en el marco de una medida piloto se construyó una mesa de concentración a golpes con un tamaño de superficie de 0.65 x 1.5 m por aprox. 250 DM sin eje de levas ni maquinaria motriz.
Costos de operación:	costos de energía, costos de personal
Costos derivados:	eventualmente, espesador

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	menores que los de las mesas de limpieza manual	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:		bajos		altos
Exigencias al personal:	un hombre puede manejar tres mesas de concentración a golpe, es necesaria experiencia para la regulación			
Tamaño de grano de la alimentación:	entre aprox. 1.000 $\mu\text{m}$ hasta 2.000 $\mu\text{m}$ y 10 $\mu\text{m}$ y por debajo			
Recuperación:	las leyes de concentrado, la recuperación y la producción son mayores a los de las mesas de concentración de limpieza manual, según experimentos de Althaus: 3 mesas de concentración a golpe: 3.300 kg de mineral, 48 h, 552 kg de concentrado de Pb con 53.0 % de plomo (296 kg Pb) 1 H/3 h 3 mesas de concentración de limpieza manual: 3.300 kg de mineral, 60 h, 643 kg de concentrado de Pb con 45.5 % de plomo (292 kg Pb) 2 H/3 h			
Aparato que puede reemplazar:	mesas vibradoras, buddles, en parte lavado en canaleta			
Divulgación regional:	antes muy divulgado			
Experiencia del operador:		muy buena		mala
Contaminación ambiental:		baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:		muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	buen taller de carpintería			
Tiempo de vida:		muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Gurlt, Schennen, Treptow, Wagenbreth, Fisher, Villefose, Althaus,

## 14.13 MESA DE CONCEN- TRACION A GOLPES

Minería metálica

Beneficio  
Concentración

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La mesa de concentración a golpe consiste en un recipiente de sedimentación rectangular y plano. La pulpa es distribuída por el lado de la alimentación sobre una tabla de distribución (ver abajo) en forma homogénea por todo el ancho de la mesa. La pulpa corre luego hacia abajo sobre la mesa que está inclinada en dirección longitudinal. El material pesado sedimenta cerca del punto de alimentación, el material liviano es evacuado con el agua. Para un aumento del grado de separación y una soltura del material se imprimen golpes sobre la superficie de la mesa en dirección longitudinal. Para ello, se desvía la mesa que está instalada de manera colgante mediante un eje de levas que oscila de regreso por su propio peso contra un amortiguador. Este golpe es transmitido al material que está encima de la mesa con diferente fuerza. El material sedimentado según la diferencia de densidad en dirección horizontal forma, debido a ésto, diferentes corrientes parciales en dirección contraria al movimiento: el material pesado que se encuentra directamente sobre la plancha de la mesa recibe el impulso más fuerte y experimenta un movimiento hacia adelante en dirección contraria al flujo de la pulpa. El material liviano que se encuentra por encima experimenta un impulso de golpe más amortiguado y se encuentra mayormente en la zona de la película de agua evacuable, de manera que este material se mueve en dirección de la corriente. De tiempo en tiempo el total del material sobre la mesa deberá ser barrido en dirección contraria al lado de la alimentación para evitar evacuaciones eventuales con granos extraviados.

Después de un largo tiempo de concentración se interrumpe la alimentación y se recoge el concentrado mediante palas, espátulas o bien escobillas y se almacena para una posterior reconcentración.

### **FORMAS DE USO:**

Las mesas de concentración a golpes se emplean para la concentración de material de alimentación con tamaño fino y mediano cuando se debe recuperar minerales pesados, por ejemplo, galena, wolframita, casiterita, oro, etc.

### **OBSERVACIONES:**

Las mesas de concentración a golpe se han originado de las bateas grandes y provienen de Böhmen, se las encontraba ya en el año 1770 en Hungría; desde 1772 se las conoció en la minería de Freiberg debido al alcalde Schmidt.

Las mesas de concentración a golpe se emplearon hasta principios de este siglo en Europa Central, sobre todo en los centros mineros en Harz y Sachsen.

Un detalle de construcción muy importante de la mesa de concentración a golpe es la tabla de distribución que debe asegurar la distribución homogénea de la pulpa sobre el ancho de la mesa. Formas históricas de la tabla de distribución están representadas en los dibujos.

Una gran ventaja de la mesa de concentración a golpe radica en la buena regulabilidad de las condiciones de separación mediante el ajuste muy rápido de la inclinación de la mesa, como también a través de la intensidad y frecuencia de los golpes y de la cantidad de pulpa de la alimentación.

Para un alto grado de separación son importantes la homogeneidad de la cantidad de pulpa y sobre todo de la densidad de la pulpa para una buena concentración, ya que fluctuaciones de estos parámetros conducen a otras condiciones de transporte para la corriente evacuable.

Se diferencian mesas de concentración a golpes con rebote fijo y elástico. En una comparación las mesas de concentración a golpe con rebote fijo trabajan con mayor grado de separación a mayores diferencias de densidad de la alimentación, pero necesitan de más energía para menor producción.

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Las mesas de concentración a golpe son muy adecuadas para formar un puente técnico entre los buddles y las mesas vibratoras. La construcción sencilla y robusta en combinación con las fuerzas motrices sencillas y de bajo rendimiento permite la construcción local de la máquina y conduce a bajos costos de inversión propios de la Pequeña Minería.

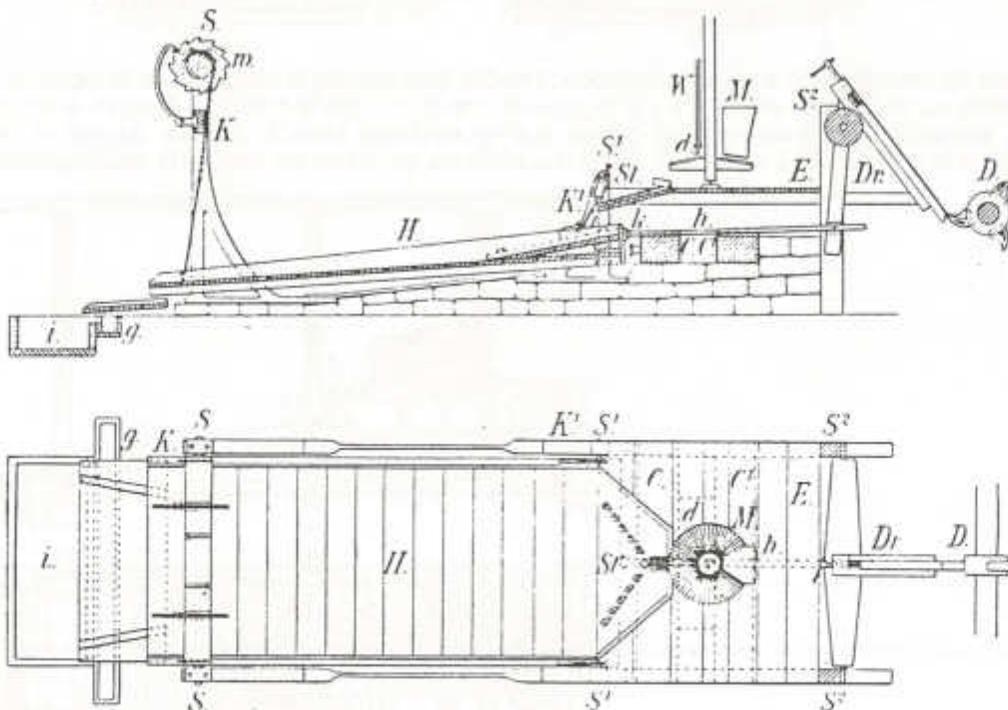
## 14.13 MESA DE CONCEN- TRACION A GOLPES

Minería metálica

Beneficio  
Concentración



Mesa de concentración a golpe con rueda hidráulica como maquinaria motriz de construcción local para la concentración de minerales auríferos. En el fondo, la tabla de distribución para la homogeneización y distribución de la pulpa de alimentación. La Llanada, Nariño, Colombia.

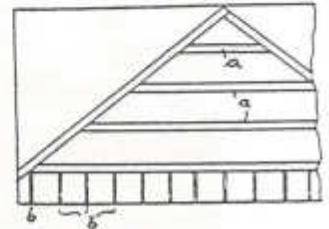
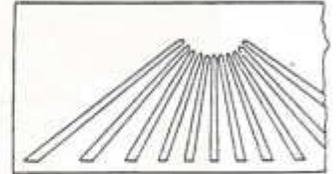
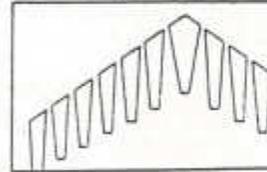
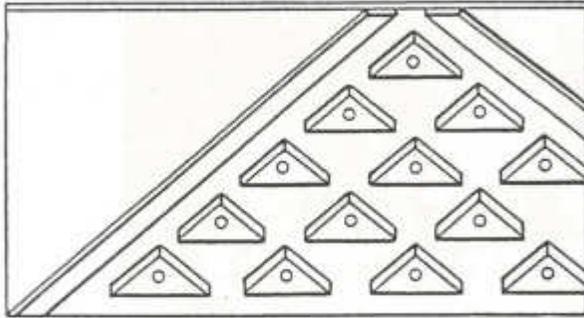


Dib.: Mesa de concentración a golpe (mesa larga de concentración a golpe de Freiberg), de Treptow

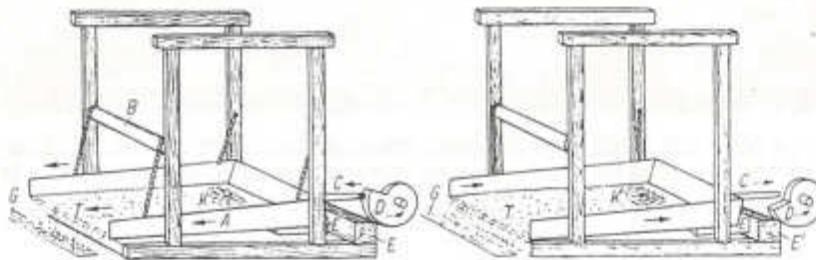
## 14.13 MESA DE CONCENTRACION A GOLPES

Minería metálica

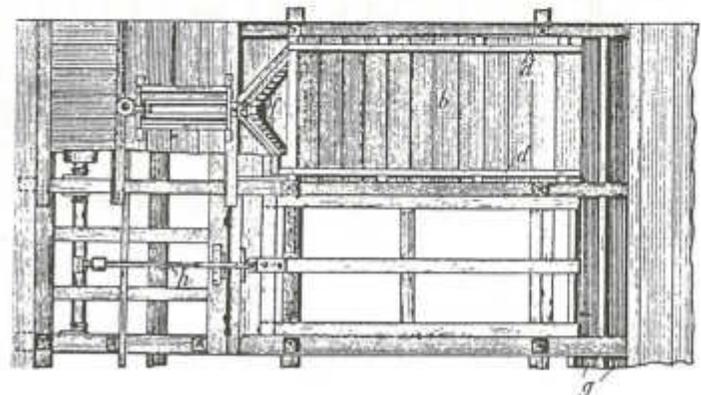
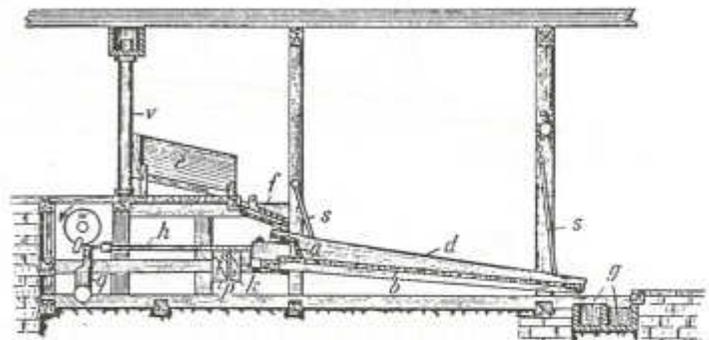
Beneficio  
Concentración



Dib.: Diferentes formas de construcción de tablas de distribución para la homogeneización de la alimentación, Fuente: Schennen (izquierda), Liwehr (derecha)



Dib.: Mesa de concentración a golpe. A Superficie, B Rodillo para cambiar la inclinación de la superficie, C Vara que es movida por el disco en espiral D, E y E' lingotes de empuje, E sobre la superficie, E' sobre el armazón, G Canaleta de evacuación, K concentrado del mineral que es empujado hacia la derecha durante el retrogolpe de la superficie y empuje de E sobre E', T Ganga que es lavada por medio del agua en G, de Wagenbreth



Dib.: Mesa de concentración a golpe, de Schennen

## 14.14 MESA DE CONCEN- TRACION VOLTEABLE

Minería Metálica

Beneficio  
Concentración

Inglés: racking table  
Aleman: Kippherd

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: como la mesa de concentración de limpieza manual, aprox. 2 - 6 m longitud, 1 - 2 m ancho  
Grado de mecanización: no mecanizada  
Tipo de energía motriz: solo agua de proceso o sea pulpa  
Forma de trabajo: semicontinua  
Producción/Rendimiento: bajo, incrementable mediante construcción de varios pisos  
Material:  
Cuát: agua para el lavado

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: aprox. 1500 DM en construcción propia

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	—■—	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	—■—	altos
Exigencias al personal:	es necesaria experiencia		
Exigencias al lugar:	se debe disponer de grandes cantidades de agua		
Tamaños de grano de la alimentación:	0.1 - 2 mm		
Propiedades específicas de la alimentación:	gran diferencia de densidad entre mineral valioso y ganga		
Recuperación:	comparable con la mesa de concentración de limpieza manual; la producción es mayor debido a la extracción más sencilla del producto		
Aparato que puede reemplazar:	mesa de concentración de limpieza manual, buddle mecanizado		
Divulgación regional:	técnica histórica		
Experiencia del operador:	muy buena	—■—	mala
Contaminación ambiental:	baja	—■—	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	—■—	mala
Bajo qué condiciones:	taller de carpintería		
Tiempo de vida:	muy largo	—■—	muy corto

Literatura, Fuente: Zirkel

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Las mesas de concentración de volteo en su forma de trabajo corresponden a las mesas de limpieza manual: sobre la superficie de sedimentación de la mesa levemente inclinada en dirección longitudinal los granos específicamente más densos sedimentan cerca del punto de alimentación y las partículas de cada vez menor densidad a mayor distancia del punto de alimentación. Cuando la superficie está llena se interrumpe el ciclo de alimentación y se voltea la mesa en su eje longitudinal. Luego se limpia la superficie con agua limpia. De esta manera los productos sedimentados caen en diferentes cajas (camaras) separadas entre sí mediante lengüetas.

Después de la fase de limpieza la mesa se voltea nuevamente a su posición horizontal inicial y la alimentación comienza otra vez.

## 14.14 MESA DE CONCEN- TRACION VOLTEABLE

Minería Metálica

Beneficio  
Concentración

### FORMAS DE USO:

Las mesas de esta clase eran bastante divulgadas en la minería del estaño en Cornwall en el siglo pasado.

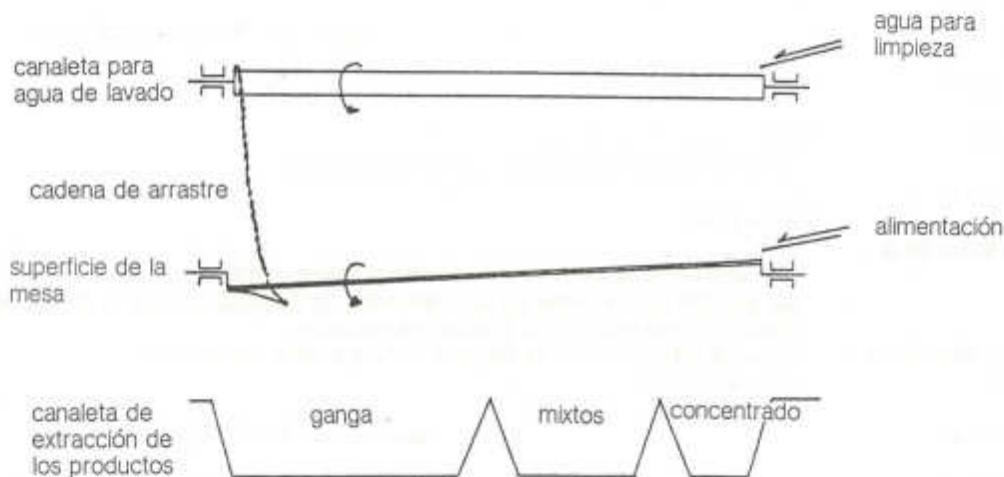
### OBSERVACIONES:

Zirkel describe una forma de concentración en la cual el proceso de volteo de la mesa está conectado mediante una cadena a una canaleta con agua para el lavado de los productos sobre la mesa.

Formas modernas de construcción de mesas de volteo con disposición vertical de varias capas y eventualmemte con un sistema de vibración (Bartles-Mozley) se emplean para la concentración de cargas finas de minerales pesados (5 - 100  $\mu\text{m}$ ).

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

En la Pequeña Minería se emplean las mesas de volteo en forma práctica para la recuperación de materiales valiosos de fracciones de tamaño de grano finísimo en mesas de varios pisos.



Dib: Principio de una mesa de volteo sencilla, Priester según Zirkel

## 14.15 MESA DE CONCEN- TRACION DE LIMPIEZA MANUAL

Minería metálica,  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración

Español:	bayetas, paños, tableros, mesas rayadas, mesa de concentración con paño, mesa de concentración brunton, pieles de animal
Inglés:	frue vanner, belt tables
Aleman:	Kehrherd, Planenherd, Bruntonherde, Tierfelle

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	7 m longitud, 1.2 m ancho, mesa Brunton 3 x 1 m
Grado de mecanización:	no mecanizada/parcialmente mecanizada/totalmente mecanizada
Tipo de energía motriz:	solo corriente de la pulpa, mesa Bruton eléctrica o mecánica con o sin vibrador
Forma de trabajo:	intermitente/semicontinua
Producción/Rendimiento:	H.Althaus: aprox. 100 kg/Hh inclusive alimentación, extracción etc. 3 m <sup>2</sup> mesa de concentración de corderoy: aprox. 100 t/24 h
Material: Cuál:	agua

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	aprox. 200 DM en construcción propia, amurallada
Costos de operación:	costos de personal

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al personal:	es necesaria experiencia para la regulación		
Exigencias al lugar:	son necesarios agua y diferencia de altura		
Tamaños de grano de la alimentación:	aprox. 0.05 - 2 mm		
Propiedades específicas de la alimentación:	son necesarias grandes diferencias de densidad entre mineral valioso y ganga		
Recuperación:	La recuperación de mesas fijas está claramente por debajo de los valores de la recuperación que se alcanza mediante las mesas a golpe o vibratoras. La geometría del espacio de sedimentación condiciona las circunstancias de deposición casi constantes en sentido del eje longitudinal. De esta manera, el grado de separación de esta clase de máquinas de concentración está fuertemente limitado. Compare los resultados de investigación sobre las mesas de concentración a golpe obtenidos por H. Althaus, canales, mesas de concentración, mesas de amalgamación		
Aparato que puede reemplazar:	canaletas, mesas de concentración, mesas de amalgamación		
Divulgación regional:	las mesas con paño son ampliamente divulgadas en la minería aurífera en Colombia y Ecuador; históricamente, divulgación mundial		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller simple de carpintería o trabajo de albañilería		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Schubert, Treptow, Reitemeier, Villefosse, Althaus, Ullmann, Crennell, Plinius en Moesta, Agricola, M. Priester, v. Bernewitz, Libro de Inventos 1890, Medina/Perú

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

La superficie de la mesa levemente inclinada en dirección longitudinal sirve como superficie de sedimentación para los granos específicamente densos del mineral valioso y para los granos entrecrecidos de mineral y ganga del material de alimentación.

## 14.15 MESA DE CONCEN- TRACION DE LIMPIEZA MANUAL

Minería metálica,  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración

La inclinación de la mesa y la cantidad de pulpa son parámetros que influyen la densidad de separación. Luego de una completa sedimentación se interrumpe la alimentación de la pulpa y los concentrados, cerca del punto de alimentación, son barridos y extraídos. Los productos intermedios sedimentan más lejos del punto de alimentación.

Para la concentración de productos finísimos la superficie de la mesa se cubre con paños de material tosco (aspero), los que contribuyen a la sedimentación del material pesado. Después de la finalización de la sedimentación éstos son lavados y nuevamente extendidos sobre la mesa. Como material para cubrir las mesas de concentración de paño fué divulgado el corderoy. Luego se empezaron a utilizar pisos de goma con estrías (espesor 10 mm, profundidad de las estrías 3 mm, distancia entre estrías 6 mm).

Los procesos de beneficio mecanizados emplean cintas sin fin, las así llamadas mesas Bruton, donde la superficie de concentración tenía una inclinación de aprox. 11° y las cintas eran movidas en contra de la dirección de la corriente de la pulpa con una velocidad de 0,4 m/min. El concentrado es extraído en forma continua en el extremo superior de la mesa. Las mesas con paño de trabajo continuo se construyen también en forma de trómel de rotación lenta (p.ej. 3,6 m longitud, 0,9 m Ø, 3,75° inclinación), revestidos interiormente con goma estriada.

Para la recuperación de estaño se utiliza cuero de vaca análogamente a los "Golden Vlies" para la extracción de oro en el beneficio de lama finísima. El grano pesado se queda entre los pelos de la piel y se puede recuperar luego mediante el lavado de la piel. La piel es quemada después de usarla varias veces y la ceniza en la que aún se encuentran partículas finísimas del material valioso es posteriormente tratada.

Fosa de limpieza (en Bolivia buddle cuadrado)

Fosa de limpieza con sección de forma cuadrada o trapecio de aprox. 2 x 1 x 1 m con un recipiente de sedimentación conectado anteriormente. En el primer recipiente de sedimentación se deposita el concentrado grueso, en el segundo análogamente a los buddles se realiza la sedimentación y la concentración clasificadora de la alimentación (100 - 2.000 µm). Debido a la geometría de la alimentación se tienen solo pocas variaciones de velocidad de la pulpa. Debido a esto, el grado de +separación no es muy alto.

### **FORMAS DE EMPLEO:**

Para la concentración de granos finos y finísimos de pulpas con minerales pesados, por ejemplo, en la minería de estaño, oro o wolfram. Para la extracción de minerales pesados de lamas finísimas.

### **OBSERVACIONES:**

Ya en el tiempo de los antiguos egipcios, en el beneficio de minerales de plata, oro y cobre se concentró mediante mesas de concentración de limpieza manual.

El buddle cuadrado utilizado en Bolivia es una especie de mesa de concentración simple de limpieza manual amurallada.

Las mesas de concentración de limpieza manual deben ser construídas de tal manera que un mecanismo sencillo permita el ajuste de la inclinación de la mesa, por ejemplo, mediante una suspensión en un extremo. De esta manera, la inclinación puede ser regulada según los parámetros de la alimentación o sea según el corte de separación deseado. Los ángulos de inclinación se encuentran entre alrededor de 1 : 10 (aprox. 6°) y 1 : 120 (aprox. 0,5°). Mientras más fino sea el tamaño de grano de alimentación o mientras menor sea la densidad de separación elegida, más pequeño deberá ser elegido el ángulo de sedimentación o sea el ángulo de inclinación.

En vez de pieles de animales se ofrece el empleo de materiales fabricados industrialmente, por ejemplo, corderoy o similares. Esta técnica en la minería aurífera en Norteamérica tuvo temporalmente gran divulgación.

Las pieles de animales, canaletas o mesas con corderoy son independientes del valor del pH de las agua de mina, contrariamente a las mesas de amalgamación.

La recuperación de oro de placeres auríferos en Brasil se realizaba hasta comienzos de siglo mediante pieles de buey.

Informes de la minería artesanal de Perú mencionan la recuperación de preconcentrados en "empedrados", que son sencillas trampas artificiales de empedrados, construídas en el lecho del río durante la época de estiaje. Estas "chacras de oro" se recogen después del tiempo de lluvias y a continuación los preconcentrados son concentrados en mesas con pieles de oveja. De esta manera se pudieron recuperar por cada m<sup>2</sup> de empedrado hasta 4 g de oro.

## 14.15 MESA DE CONCENTRACION DE LIMPIEZA MANUAL

Minería metálica,  
Minería aurífera

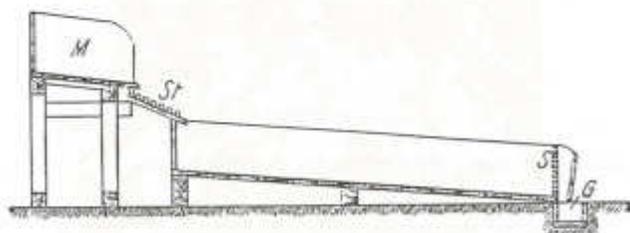
Beneficio  
Concentración

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

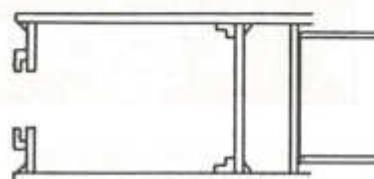
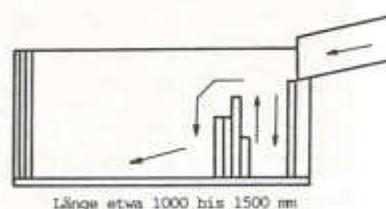
Las mesas de concentración fijas son aptas para el empleo sobre todo en el beneficio de alimentaciones con bajas leyes y con altas densidades de minerales valiosos (por ejemplo, en los beneficios de casiterita, wolfram y oro). En el beneficio de alimentaciones con leyes altas y de productos previos la forma discontinua de trabajo limita la producción.



Mesa de concentración con paño para la concentración de minerales auríferos. Atrás se ven claramente las tiras de goma para la evacuación de un bocarte y la rueda hidráulica con el tarugo de arrastre. La Llanada, Nariño, Colombia.



Dib.: Instalación de deslame, mesa de concentración sencilla de limpieza manual, izquierda según Treptow, derecha de Priester



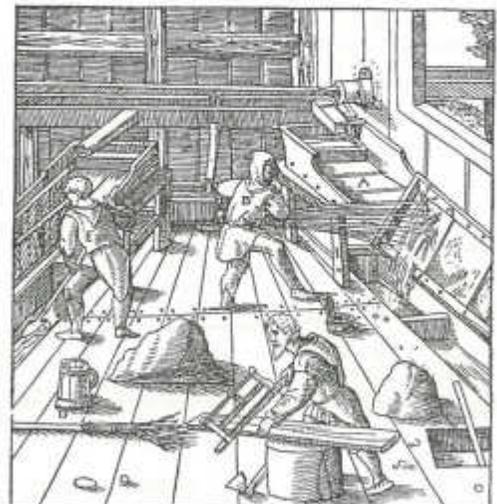
## 14.15 MESA DE CONCENTRACION DE LIMPIEZA MANUAL

Minería metálica,  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración



Mesa de concentración con cubierta de paño para la concentración de preconcentrados de minerales auríferos. Planta de concentración Portovelo, El Oro, Ecuador

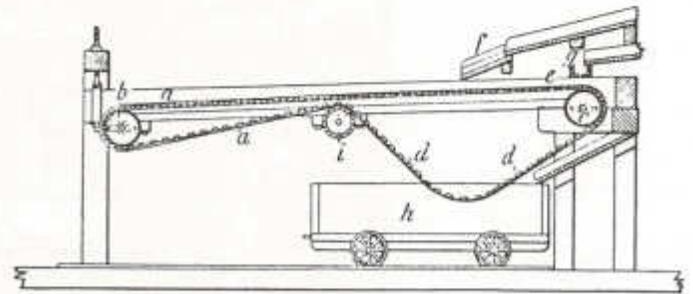
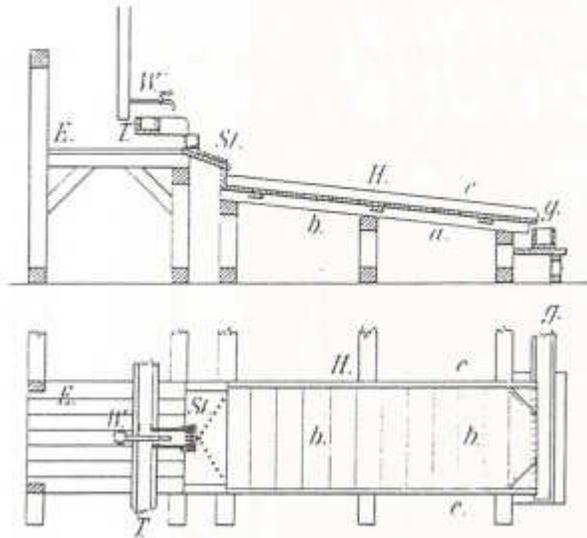


Dib.: Mesa de concentración de limpieza manual (izquierda) y mesa de concentración con paño (derecha), de Agrícola

## 14.15 MESA DE CONCENTRACION DE LIMPIEZA MANUAL

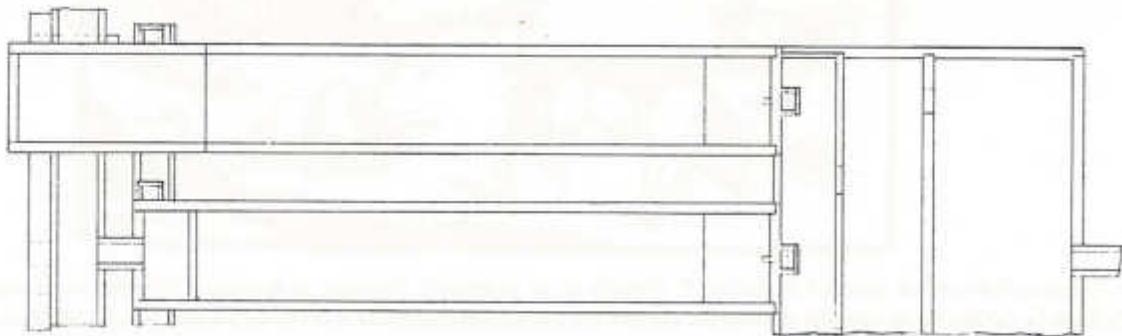
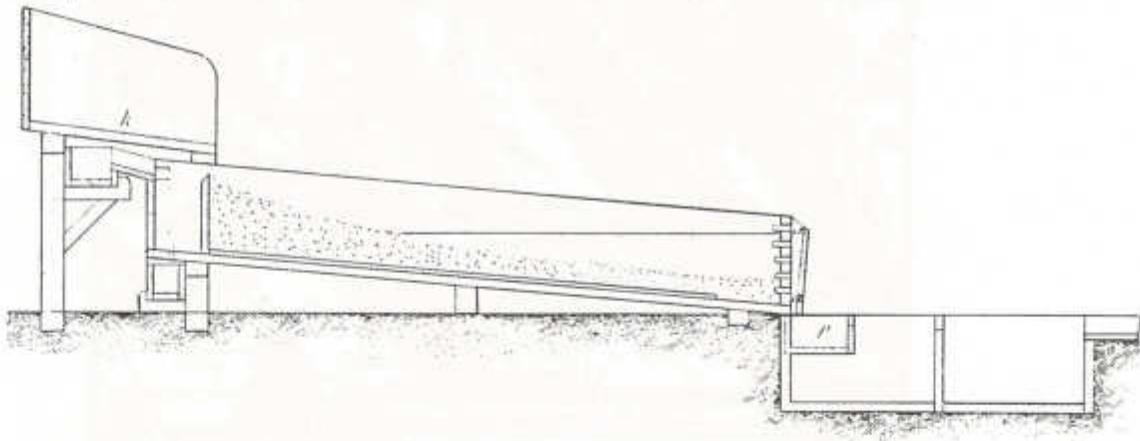
Minería metálica,  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración



Dib.: Mesa de concentración de limpieza manual, de Treprow

Dib.: Mesa de concentración de paño sin fin, de Brunton, Fuente: Schennen



Dib.: Mesa de concentración de limpieza manual, de Callon

# 14.15 MESA DE CONCEN- TRACION DE LIMPIEZA MANUAL

Minería metálica,  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración



A. Canaleta transversal superior B. Salidas C. Superficie de la mesa D. Cajones de la mesa E. Canaleta transversal inferior  
F. Fosa G. Apoyo en la travesía del suelo H. Soportes medioanillo colocados en la viga I. Barra K. Su cajón L. Otro cajón

Dib.: Mesa de concentración de limpieza manual, de Agrícola

## 14.16 MESA DE CONCEN- TRACION VIBRADORA

Minería metálica  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración

Español:	mesa concentradora, mesa de concentración de Wilfley
Inglés:	shaking table, percussion table
Aleman:	Schwingherd, Wilfleyherd, Schüttelherd
Fabricante:	Millán, Denver, Keene, Mineral Deposits, Wedag, Wilfley Mining, Mozley, Svalcor, Talleres J.G., Eq. Ind. Astecnia, Buena Fortuna, COMESA, FAHENA, FIMA, MAGENSA, SOTEEL

### DATOS TECNICOS:

Datos característicos tecnológicos óptimos y parámetros de operación de mesas vibradoras para el tratamiento de minerales de estaño, wolfram y similares (según Isaev)

Datos característicos	mesa granzera (1 - 3 mm)	mesa de finos (0.2 - 1 mm)	mesa lamera (- 0.3 mm)
	(mesa vibradora, o mesa a golpe)	(mesa a golpe)	(mesa a golpe)
Relación largo a ancho de la superficie de la mesa	aprox. 2.5	aprox. 1.8	< 1.5
Carrera en mm	16 hasta 26	12 hasta 18	6 hasta 12
Número de carreras en min <sup>-1</sup>	200 hasta 270	270 hasta 320	320 hasta 420
Inclinación transversal de la plancha en grados	4 hasta 10	2 hasta 4	1 hasta 2.5
Inclinación longitudinal o subida a lo largo de la plancha en mm	subida 20 hasta 30	subida 10 hasta 20	bajada 1 hasta 10
Relación volumétrica líquido/material sólido en la alimentación	3.5:1 hasta 5:1	3.5:1 hasta 4:1	3.5:1 hasta 4:1
Cantidad de agua en la corriente transversal (relación volumétrica líquido/material sólido)	1:1 hasta 1.5:1	1.5:1	2:1
Altura de estrías en el extremo de la energía motriz en mm	26 hasta 18	18 hasta 12	12 hasta 8
Distancia entre las estrías en mm	30 hasta 45	25 hasta 40	30 hasta 45
Producción en t/h	4 hasta 2	2 hasta 0.9	0.8 hasta 0.2
Medidas:	aprox. 4.3 x 1.9 x 1 m largo, ancho, altura, hay también más pequeñas como mesas medianas, mesas para laboratorio y mesas especiales		
Peso:	aprox. 500 - 1.000 kg para mesas grandes		
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado		
Tipo de energía motriz:	0.2 - 2 kW		
Tipo de energía motriz:	eléctrica		
Posibilidades alternativas:	turbina, motor a combustión		
Forma de trabajo:	continua		
Material:			
Cuál:	agua		
Cantidad:	80 - 85 % de vol.		
<b>DATOS ECONOMICOS:</b>			
Costos de inversión:	9600 US\$ (Denver cif La Paz), 2000 US\$ (Millán, algo más pequeño)		
Costos de operación:	costos de personal, costos de energía		
Costos derivados:	es necesaria molienda, clasificación hidráulica		

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al personal: personal entrenado  
Exigencias al lugar: son necesarias agua y diferencia de altura  
Tamaño de grano de la alimentación: 150 µm - 1.5 mm

## 14.16 MESA DE CONCEN- TRACION VIBRADORA

Minería metálica  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración

Propiedades específicas de la alimentación:	es necesaria gran diferencia de densidad entre mineral valioso y ganga, de manera más práctica la alimentación deberá ser hidroclasificada, por ejemplo mediante ciclón, clasificador hidráulico de corriente ascendente, cajas en punta, etc.		
Recuperación:	alta solamente cuando las colas son concentradas posteriormente mediante instalaciones de concentración para grano de tamaño finísimo, por ejemplo buddles y buddles mecanizados.		
Aparato que puede reemplazar:	canaletas, buddles, separadores helicoidales		
Divulgación regional:	mundialmente la máquina de concentración más divulgada para el beneficio gravimétrico hidromecánico de granos de tamaño mediano y fino, raramente con accionamiento manual		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	buen taller de carpintería o metal-mecánico, soldadura, conocimiento en vulcanización, etc, eventualmente empleo de elementos de construcción de material plástico, goma, fibra de vidrio		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Taggart, Schubert, Información de empresas, Hunter, Stewart, Silva, Andresen

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Las mesas vibradoras consisten en una superficie para la separación en forma rectangular o de paralelogramo, inclinada levemente en dirección del movimiento y en sentido transversal. Además la superficie está provista de estrías cuyo grosor es cada vez más pequeño en dirección del movimiento. La alimentación se realiza en el punto más alto de la mesa; en toda la longitud de la mesa se riega con agua en dirección transversal. El material pesado es menos arrastrado por la corriente transversal de agua de tal manera que la carga se diferencia en franjas según su densidad. El material pesado es extraído en el borde transversal como concentrado, el material mixto cerca de la esquina inferior y la ganga a lo largo de la mesa.

### **FORMAS DE USO:**

Concentración de granos de tamaño mediano y fino de alimentaciones de cargas de mineral pesado en la minería de roca dura y de placeres de:

- Oro
- Estaño
- Wolfram
- Antimonio
- Plomo - Plata
- Zircón

y para la separación de preconcentrados de tierras raras en productos de monazita y xenotima.

### **OBSERVACIONES:**

Las mesas de fibra de vidrio son muy apropiadas para la fabricación local donde las estrías ya se encuentran preformadas en forma de negativo y en cuya construcción se graban sus relieves.

En el mercado para aparatos de prospección (Keene) se ofrece también una mesa en miniatura accionada con 12 V, tiene un peso completo de aproximadamente 15 kg y una capacidad de producción de máximo 250 kg/h, lo cual le permite ser apta para la reconcentración de preconcentrados auríferos (precio aprox. 600 US\$).

El ajuste de la inclinación de la mesa influye bastante en el resultado de la separación. Frecuentemente se observó que las mesas no estaban correctamente ajustadas.

## 14.16 MESA DE CONCEN- TRACION VIBRADORA

Minería metálica  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración

Especialmente, para el beneficio de minerales auríferos las mesas con goma negra han dado buen resultado (buen contraste con el oro).

Las mesas son capaces de tratar cargas relativamente clasificadas con amplio rango de tamaño de grano.

El tamaño de grano máximo tiene que ser más pequeño que la altura de las estrías y un tercio más pequeño que el ancho de los canales.

La desventaja es que al tratar grandes cantidades de carga y altos porcentajes de lama juntamente con la ganga, se evacúa material valioso finísimo. En estos casos se deben instalar posteriormnete máquinas de concentración para grano de tamaño finísimo.

Por eso, las mesas especiales para oro trabajan con cargas extremadamente pequeñas, por ejemplo, Gémini 60 trabaja con  $25 \text{ kg/m}^2 \times \text{h}$ .

Las cargas de alimentación para las mesas deben ser siempre hidroclasificadas para obtener un alto grado de separación en la concentración.

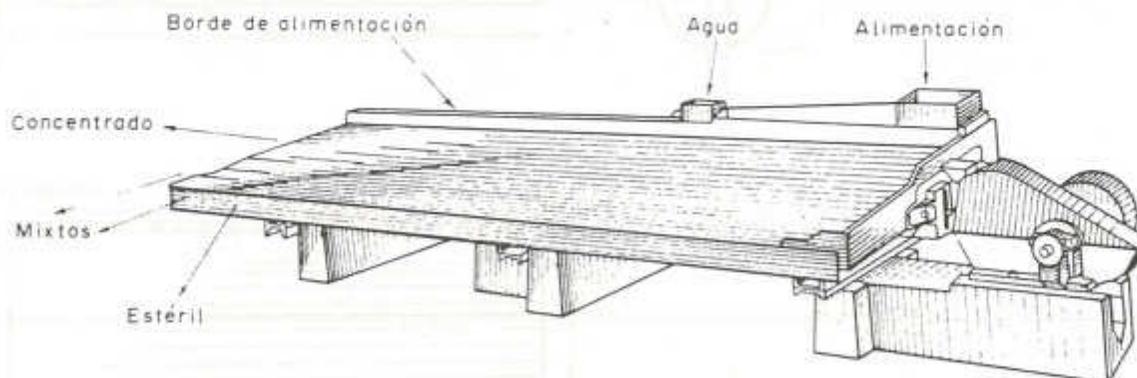
El tamaño de grano menor que se puede concentrar sobre mesas con alto grado de separación es, según el material de la alimentación, de  $20 - 100 \mu\text{m}$  (aquí juegan un papel importante la forma del grano del mineral valioso y la distribución de la densidad del mineral).

Hace tiempo que la industria intenta desarrollar aparatos de concentración que concentren en el campo centrífugo (EP 0247795, EP 0323447, DE 3309385) para una reducción del tamaño de grano tratable. Para ello, la superficie de concentración es enrollada como un cono obtuso con un pequeño ángulo de abertura y puesta en rápida rotación ( $160 - 240 \text{ min}^{-1}$ ). Debido a esto, se trabaja con una velocidad centrífuga de  $10 - 50 \text{ kg}$ . Posteriormente se coloca el trómel con la abertura hacia arriba ( $0 - 5^\circ$ ). Todo ésto está bajo una oscilación paralela al eje de rotación con una frecuencia de  $240 - 450 \text{ min}^{-1}$  y una amplitud de oscilación de  $1 - 35 \text{ cm}$ . El único ofertante (Mozley) informa una producción de alrededor  $0.2 \text{ t/h}$  en la gama de tamaño de grano entre  $1$  y  $250 \mu\text{m}$ .

La técnica muy complicada de la extracción de la ganga con un mecanismo rastrillador rotante y los altos costos de inversión de alrededor de  $150.000 \text{ DM}$  lo señalan como un aparato no apto para la Pequeña Minería, aunque experiencias de operación de la minería de estaño de Korn, donde el separador multigravity se emplea en substitución de la concentración usual, certifican a este aparato una producción comparativamente alta, alta recuperación y altas leyes de concentrado.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Las mesas vibratoras son máquinas muy aptas para cubrir la concentración de grano de tamaño fino y mediano de cargas de minerales pesados debido a la alta capacidad de producción y a las posibilidades de ajuste muy flexibles con un principio comparativamente simple de trabajo y una baja potencia motriz.

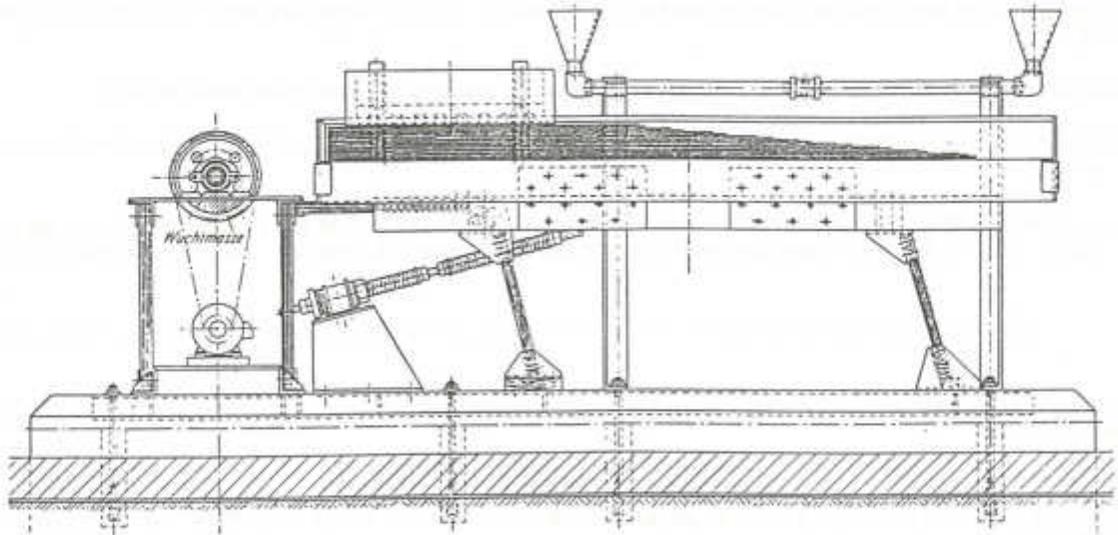


Dib.: Mesa de Wilfley, de Otero

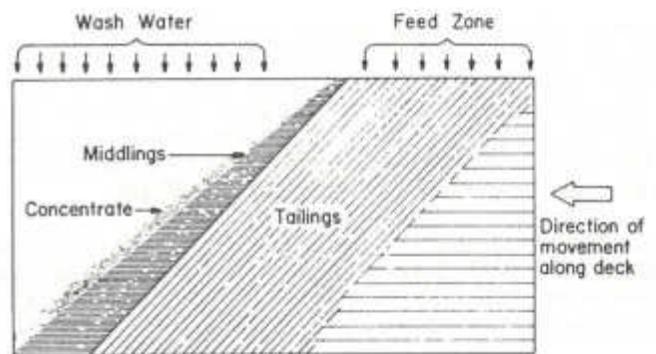
**14.16 MESA DE CONCENTRACION VIBRADORA**

Minería metálica  
Minería aurífera

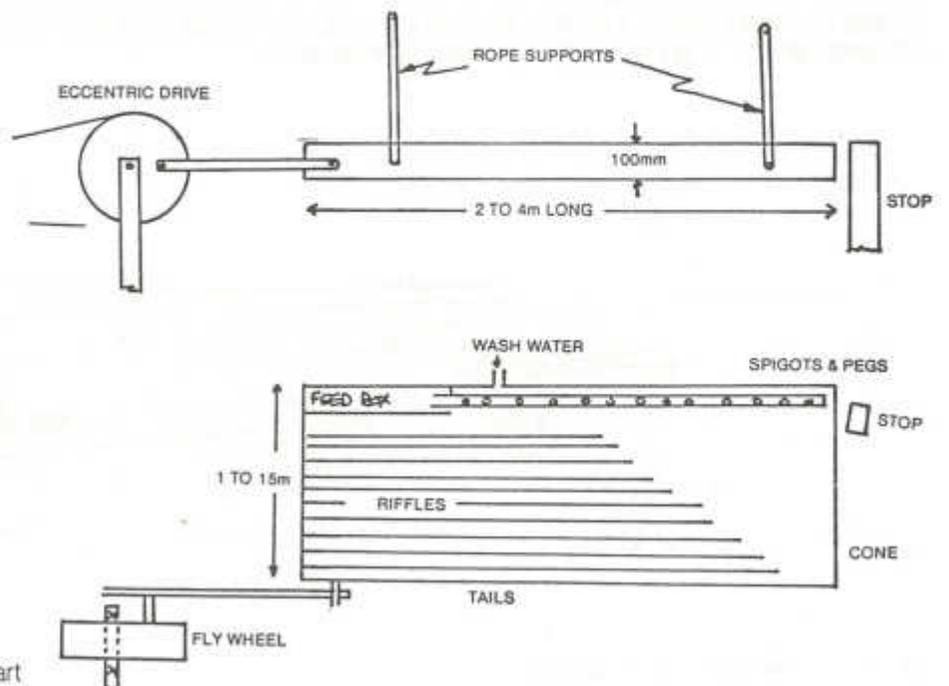
Beneficio  
Concentración



Dib.: Mesa vibradora, según Schmedchen



Dib.: Distribución de los productos sobre la mesa, de Silva



Dib.: Mesa vibradora manual, de Stewart

## 14.17 ESPIRAL DE HUMPHREY

Minería metálica  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración

Español:	espiral de separación por gravedad, separador helicoidal, espiral
Inglés:	Humphrey's spiral, spiral
Aleman:	Humphreyspirale, Wendelscheider, Spiralscheider

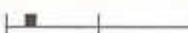
### DATOS TECNICOS:

Medidas:	aprox. 1 x 1 x 3 m / 5 - 6 espiras / 1 - 3 evacuadores
Peso:	aprox. 200 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	velocidad de la pulpa de alimentación/del agua de proceso
Forma de trabajo:	continua
Producción/Rendimiento:	0.5 - 12 t/h según la dimensión del canal y tamaño de grano de la alimentación
Material:	
Cuál:	agua de lavado, agua de la pulpa

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	aprox. 8000 DM
Costos de operación:	bajos
Costos derivados:	eventualmente bombas de pulpa

### CONDICIONES DE EMPLEO :

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	D <sub>n</sub> mínima desde 5 m (sin empleo de bomba)		
Tamaño de grano de la alimentación:	(50 μm) 100 μm - 2 mm		
Propiedades específicas de la alimentación:	diferencia de densidad entre mineral valioso y ganga		
Recuperación:	contenido de sólidos de la pulpa: 14 - 20 % volumen		
Aparato que puede reemplazar:	otros lavadores de canaleta		
Divulgación regional:	en la Pequeña Minería en Latinoamérica, muy rara; en la minería del sudeste asiático (placeres de estaño) y de Australia, empleo divulgado		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	fundición de metales		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto
	cuando está engomada contra la abrasión		

Literatura, Fuente: Kirchner, DBM

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

En las espirales la alimentación se concentra en la canaleta verticalmente según la densidad. Las partículas más pesadas llegan al piso de la parte más profunda de la canaleta. En este lugar se produce una fricción en el piso que frena la partícula. Debido a esto, se ejerce menor fuerza centrífuga sobre el material pesado que sobre las partículas livianas, las cuales fluyen más rápidamente por la parte superior de la corriente en la vía de la canaleta dispuesta en forma de espiral. Debido a esto, se produce una diferenciación horizontal según la densidad, en la cual el material pesado fluye en la parte interior de las curvas y es evacuado por los orificios de extracción. El agua adicional mejora el grado de separación de la concentración.

## 14.17 ESPIRAL DE HUMPHREY

Minería metálica  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración

### FORMAS DE USO:

Producción de concentrados o de preconcentrados de fracciones de tamaño de grano mediano.

### OBSERVACIONES:

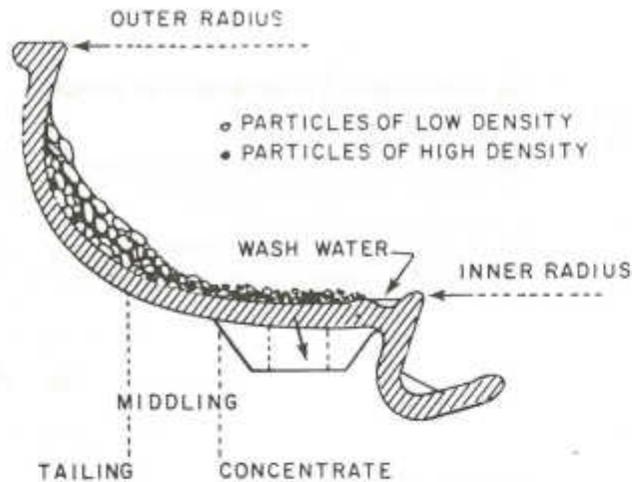
Los cuerpos de las canaletas son fabricados de hierro fundido engomado o de acero fundido, en la construcciones modernas también son de fibra de vidrio y cerámica. La construcción con la variedad de mangueras para el agua adicional y para las descargas hacen de la canaleta un aparato comparativamente complicado.

Los parámetros constructivos más importantes son : perfil de la canaleta, diámetro de la canaleta, cantidad de espiras, inclinación de la canaleta y cantidad de dispositivos de descarga.

Los concentradores a espirales de esta clase fueron construídos por primera vez por Humprey en el año 1943.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Los espirales de Humprey debido a la costosa extracción del agua adicional y del concentrado son poco aptos para la Pequeña Minería, a pesar de que el proceso como concentración continua y sin fuerza motriz da buenos resultados.

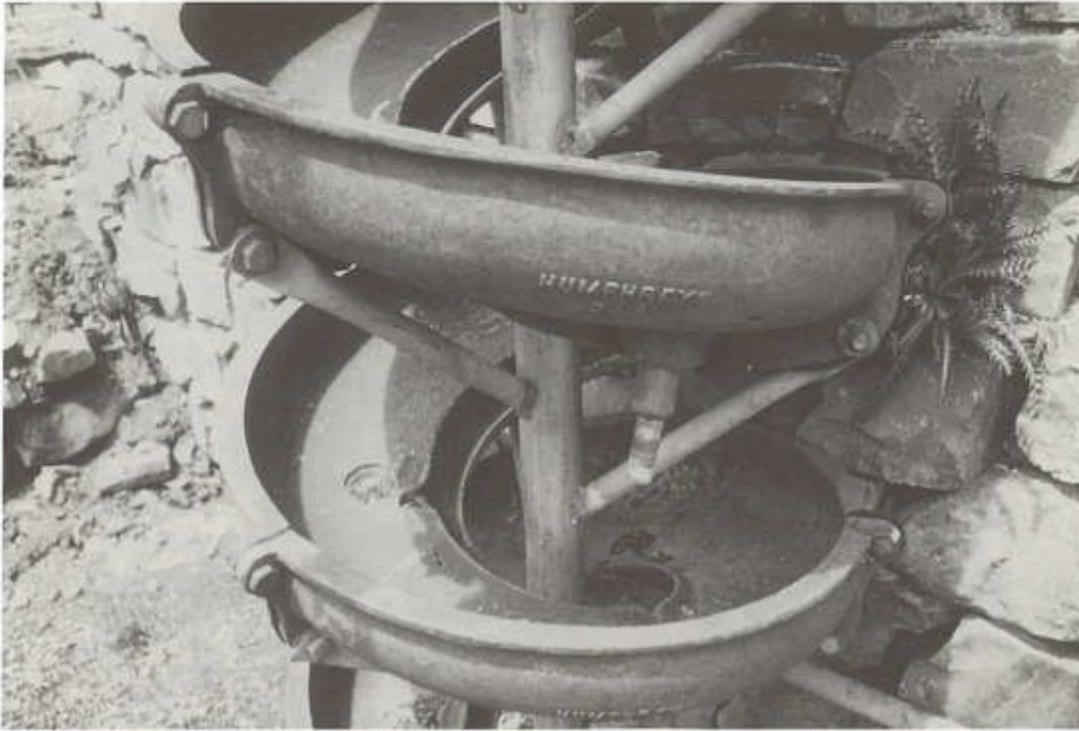


Dib.: Distribución de las partículas de mineral en el espiral de Humprey, de Silva.

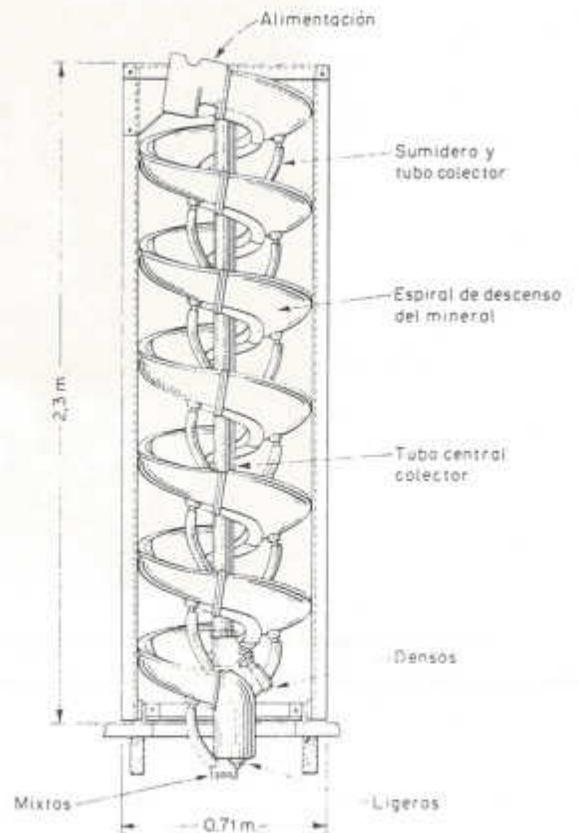
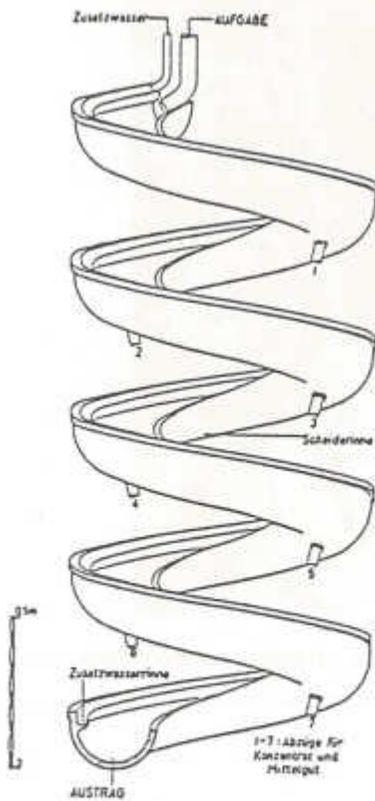
## 14.17 ESPIRAL DE HUMPHREY

Minería metálica  
Minería aurífera

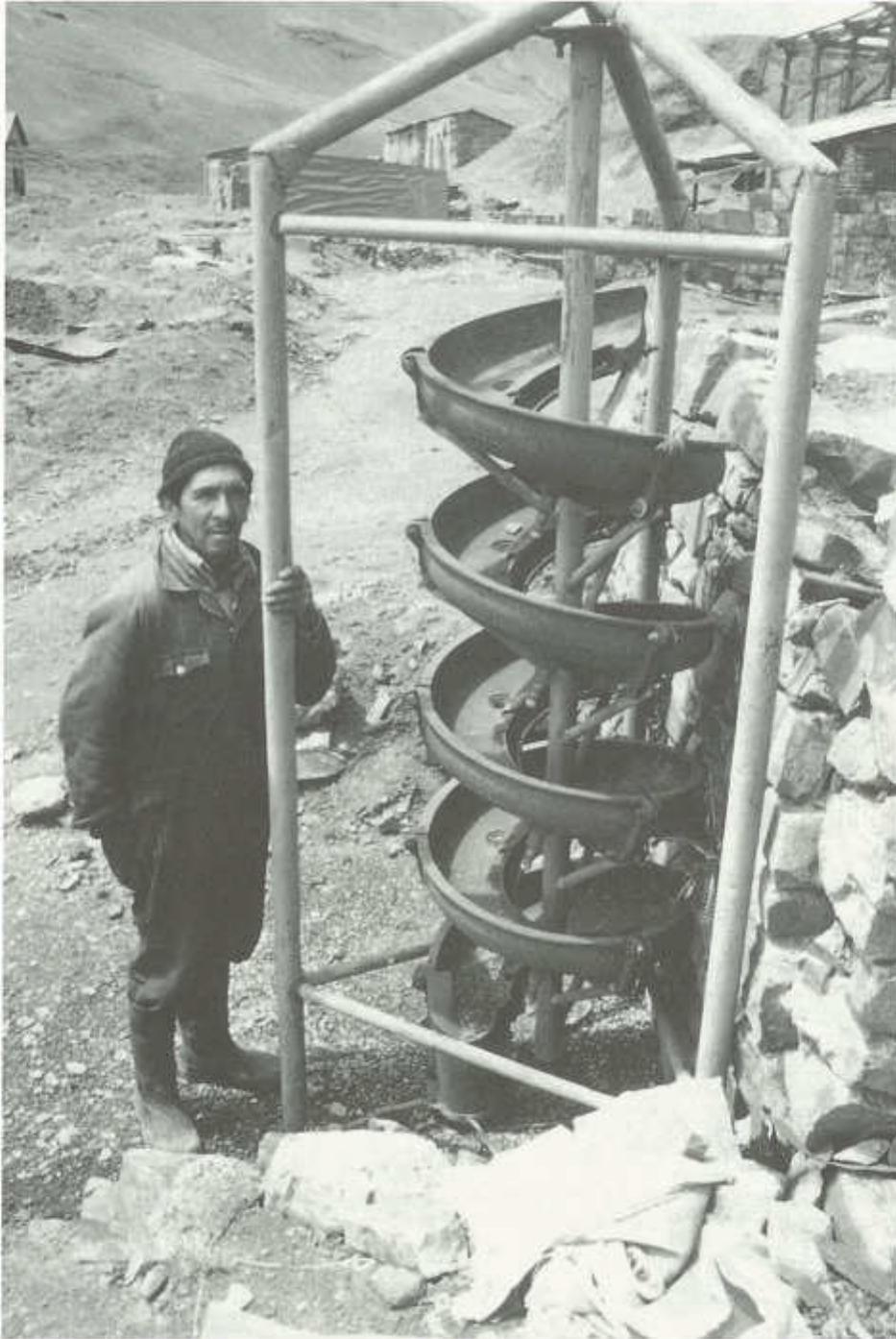
Beneficio  
Concentración



Vista en detalle de una espiral de Humphrey. Es visible un orificio de extracción del concentrado y una descarga del concentrado. Mina Kaluyo, La Paz, Bolivia



Dib.: Espiral de Humphrey, izquierda de Kirchner, derecha de Otero.

**14.17 ESPIRAL DE  
HUMPHREY****Minería metálica  
Minería aurífera****Beneficio  
Concentración**

Vista completa de una espiral de Humphrey para la producción de preconcentrados de minerales con contenido de estaño.  
Mina Kaluyo, La Paz, Bolivia.

## 14.18 CONCENTRADOR A ESPIRAL

Minería metálica  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración

Español:	separador helicoidal, espiral de Reichert, mesa centrífuga
Inglés:	spiral concentrator
Aleman:	Wendelscheider, Reichertspirale, Centrifugal-Fallherd
Fabricante:	Mineral Deposits, AKW, Svalcor

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	aprox. 3.5 x 1 x 1 m , alto, ancho, profundidad/revestido con fibra de vidrio poliuretano
Peso:	43 kg (canaleta individual) - 105 kg (de tres canaletas)
Grado de mecanización:	parcialmente mecanizado
Tipo de energía motriz:	presión hidrostática
Forma de trabajo:	continua
Producción/Rendimiento:	hasta 2 t/h, hasta 0.3 t/h concentrado
Material:	
Cuál:	agua
Cantidad:	80 - 40 % peso

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	aprox. 6000 DM
Costos de operación:	bajos
Costos derivados:	eventualmente, bombas para el transporte de pulpa

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos	
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos	
Exigencias al personal:	bajas			
Exigencias al lugar:	agua y diferencia de altura			
Tamaños de grano de la alimentación:	0.03 - 2 mm			
Propiedades específicas de la alimentación:	según la clase de espiral, por ejemplo, en el modelo LG (Low Grade) < 10 % minerales pesados			
Recuperación:	según el Instituto de Investigaciones de la Escuela de Minas de Colorado entre 75 y 98 % de Au en el concentrado			
Aparato que puede reemplazar:	espiral de Humprey, canaletas, buddles, jig para grano fino			
Divulgación regional:	mundialmente para placeres, minería de cromita, etc.			
Experiencia del operador:	muy buena		mala	
Contaminación ambiental:	baja		muy alta	
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala	
Bajo qué condiciones:	difíciles, construcción de fibra de vidrio			
Tiempo de vida:	según la abrasividad de la alimentación	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: AKW, C.N. Robinson, Cziernloch, Gaetzschmann, EP 0075563, EP 0074366, EP 0123501, EP 149518

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

En las espirales de 6 espiras durante la corriente de la pulpa se forman corrientes parciales diferenciadas por la densidad, en lo profundo de la canaleta (interior) la fracción pesada (concentrado) que debido a la fricción con el suelo se mueve más lentamente, en el medio las fracciones de grano de densidad media, arriba, en lo más alto de la espira, la fracción más liviana (ganga). Las últimas fracciones se mueven más rápido y están más expuestas a la fuerza centrífuga (mayor radio, mayor velocidad). Las tres corrientes parciales se separan mediante lengüetas de separación.

## 14.18 CONCENTRADOR A ESPIRAL

Minería metálica  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración

### FORMAS DE USO:

Concentración de preconcentrados de oro de placeres

Arenas de estaño y minerales de estaño primarios filonianos  
Arenas de titanio (ilmenita, rutilo)  
Arenas de circón  
Piritas y otros sulfuros para lixiviación  
Oro de filones aurocuarcíferos  
Scheelita  
Cromita

### OBSERVACIONES:

Al contrario de las espirales de Humprey este tipo de espiral tiene una construcción sencilla, pues la espiral mark 7 está libre de conexiones para la introducción del agua adicional y para la extracción del concentrado. La corriente se divide solo al final de la espiral en concentrado, producto medio y ganga.

Varias de estas canaletas (2 o 3) pueden ser combinadas una dentro de otra en unidades de espirales.

Gaetzschmann describe un antecesor de la espiral de Reichert:

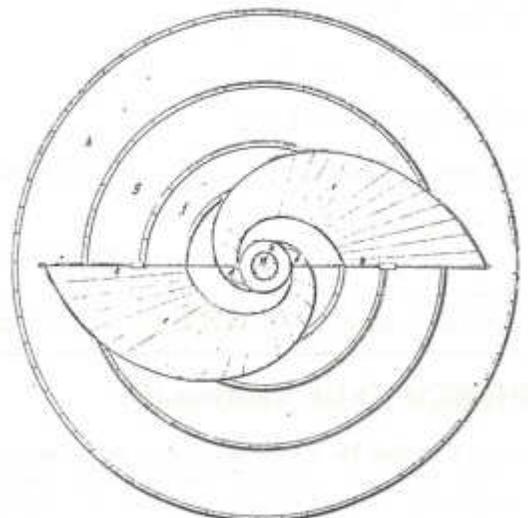
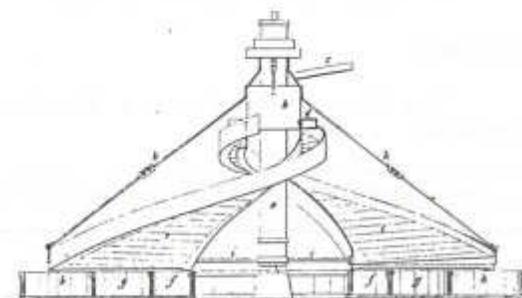
La mesa centrífuga fue inventada por von Hundt en el año 1863. Se trata de una espira rotatoria en un eje vertical con una inclinación de la canaleta de 15 - 25°, la que extrae el material en recipientes receptores concéntricos, o sea separa análogamente mediante lengüetas el concentrado (adentro), el producto medio y la ganga (afuera).

Las formas modernas de las espirales de Reichert se caracterizan porque la profundidad de la canaleta de relativamente baja sección se ensancha en su extremo inferior (la zona del concentrado). Debido a ésto, el corte de separación se desplaza más hacia afuera, motivo por el que pueden haber mayores influencias de la fuerza centrípeta. Simultáneamente, en la zona de la corriente del concentrado se produce una disminución en la profundidad de la pulpa por lo que se forman ondas tangenciales que contribuyen a un aumento del grado de separación debido a que ellas transportan hacia afuera el grano liviano de la zona del concentrado.

En caso de que en la zona en el fondo de la canaleta (interior) la densidad de la pulpa aumente de tal forma que cese la concentración, en el canto exterior de la canaleta se deben colocar planchas reflectoras o salpicadoras que salpiquen la corriente de la pulpa extrema sobre el ancho total de la canaleta (EP 123501).

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Para operaciones difíciles de mecanizar, la espiral de Reichert es una buena posibilidad de aumento del rendimiento en el campo de la producción de preconcentrados de alimentaciones con contenidos de minerales pesados. A pesar de mayores costos de inversión comparativos su aptitud de empleo es considerada como positiva.

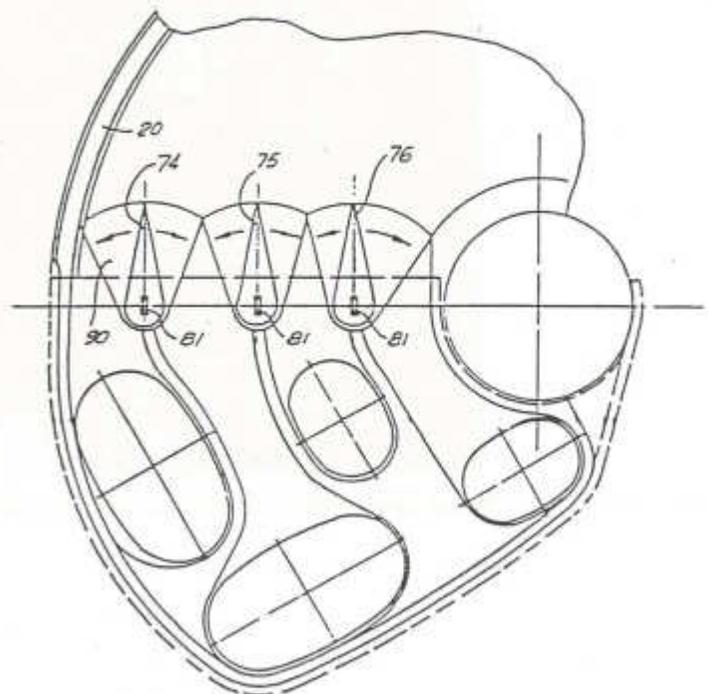
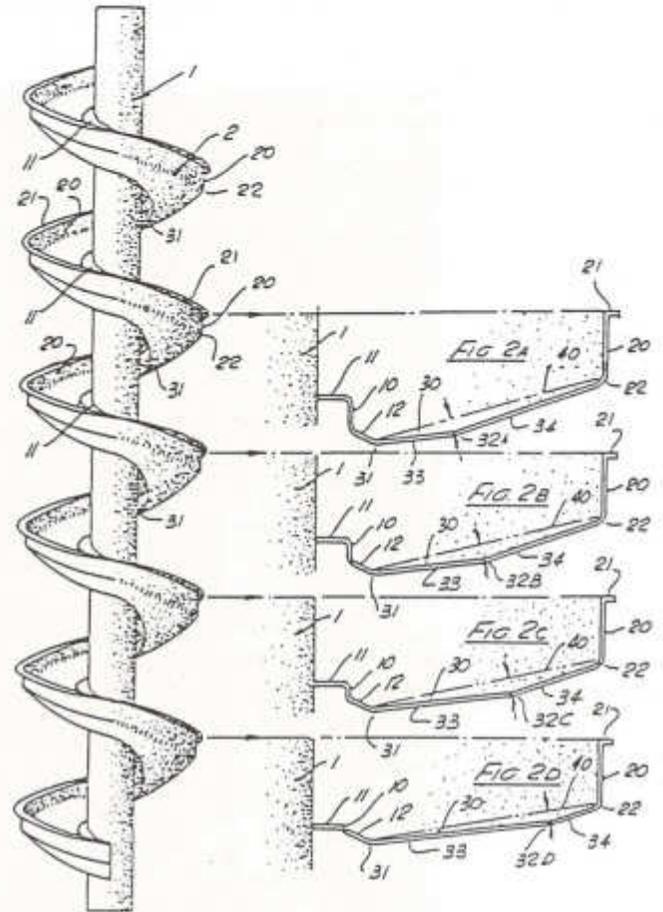
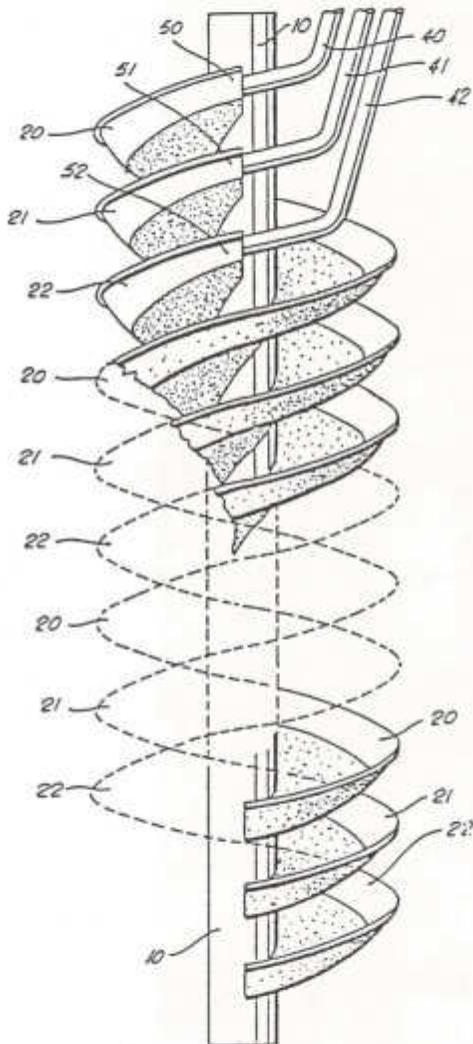


Dib.: Mesa centrífuga, un antecesor del concentrador a espiral, de Gaetzschmann

# 14.18 CONCENTRADOR A ESPIRAL

Minería metálica  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración



Dib.:

Dibujos del concentrador a espiral; Arriba izq., concentrador de tres canaletas; arriba der., concentrador a espiral con canaletas de sección cambiante; abajo: lengüetas de separación para la extracción de productos, de documentos de patentes EP 0075563 y EP 0074366.

## 14.18 CONCENTRADOR A ESPIRAL

Minería metálica  
Minería aurífera

Beneficio  
Concentración

---



Espiral de Reichert en una planta de concentración de carbon, Curinalahue, VII. Region, Chile

## Capítulo técnico 15: Beneficio del oro

### 15.1 PRENSA DE AMALGAMA

Minería aurífera

Beneficio  
Beneficio del oro

Aleman: Amalgampresen  
Fabricante: ASEA, Zutta

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: desde aprox. 0.5 x 0.5 x 1 m  
Peso: aprox. 40 kg  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Tipo de energía motriz: manual  
Forma de trabajo: intermitente  
Producción/Rendimiento: muy alto, varios cientos de kilogramos de mezcla de amalgama-Hg/día  
Grado de rendimiento técnico: grado de separación muy alto en comparación con el prensado de amalgama en paño sin instrumento de apoyo, el resto de amalgama contiene alrededor de 50 - 65 % de Hg  
Material: Cuál: eventualmente agua caliente

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: en construcción local aprox. 100 DM  
Costos de operación: bajos

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al personal: altas, debido al contacto con medios de operación tóxicos  
Recuperación: muy alta, en el Hg queda < 0.2 % Au el cual es introducido nuevamente al proceso juntamente con el Hg

Técnica que puede reemplazar: el prensado sencillo sin instrumento de apoyo.  
Divulgación regional: en aplicación muy raramente, en países en desarrollo hasta ahora desconocido

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller metal-mecánico

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Schnabel, Schennen, Villefose

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La prensa de amalgama aprovecha la gran diferencia de viscosidad entre el Hg metálico puro y la aleación de amalgama aurífera ( $Au_3Hg$  y  $Au_2Hg$ , masa viscosa). La mezcla se prensa bajo presión dentro de un cuero agamuzado, cuero de ante, tela u otro textil tupido. La amalgama queda totalmente en la prensa mientras que el mercurio puro con porcentajes inapreciables de oro (< 0.2 %) es prensado a través del paño y recuperado.

#### **FORMAS DE USO:**

Separación de la amalgama de las mezclas de amalgama y mercurio de procesos de amalgamación para la disminución de la alimentación de los matracas de destilación.

## 15.1 PRENSA DE AMALGAMA

Minería aurífera

Beneficio  
Beneficio del oro

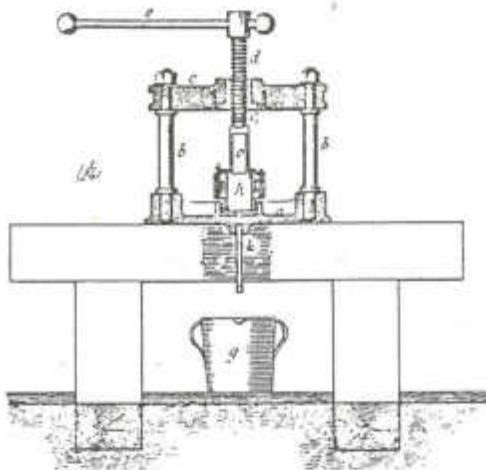
### OBSERVACIONES:

En la Pequeña Minería en Latinoamérica se separa frecuentemente la amalgama del mercurio sin prensa de amalgama. De la masa de la amalgama viscosa y pastosa se aplasta lateralmente el mercurio líquido con el dedo. Luego la amalgama es envuelta en un paño húmedo, haciendo escurrir el mercurio que sale en forma de perlas y es recogido en una batea. Este proceso no es aconsejable debido a las propiedades altamente tóxicas del mercurio y a la baja recuperación.

Para mejorar la separación de la amalgama y el mercurio en la minería colombiana la masa es calentada en agua caliente antes de ser prensada. Esto conduce a una disminución de las viscosidades de los componentes y con ello a una mejor separación en los componentes individuales durante el prensado mediante un paño o con la prensa.

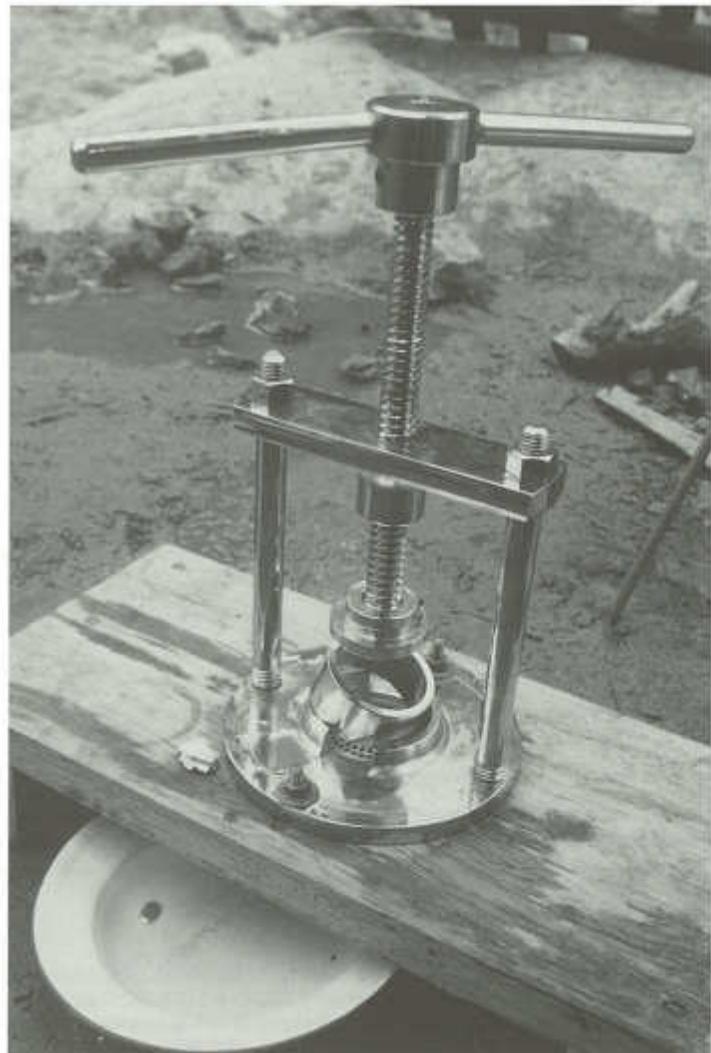
### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Las prensas de amalgama de construcción sencilla son baratas y se pueden fabricar localmente. Su empleo disminuye los riesgos para la salud y ecológicos en el trato con el mercurio. Debido a ésto, la Pequeña Minería debería usar prensas de amalgama en combinación con matraces de destilación mientras se sirva de los procesos de amalgamación.



Dib.: Prensa de amalgama, de Rittinger

Prensa de amalgama niquelada sobre un bloque de madera por encima de un plato para mercurio, construcción local en Colombia. Son visibles el anillo del cilindro suelto que fija el tejido de separación sobre el piso del hueco y la escotadura del anillo del cilindro soporte que facilita el retiro del tejido y la amalgama.



## 15.2 PLACA DE AMALGAMACION

### Minería aurífera

### Beneficio Beneficio del oro

Español:	placa electroplateada, mesa de amalgamación, planchas de cobre
Inglés:	copper plates
Aleman:	Amalgamierherd, Amalgamiertisch

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	4 x 2 x 1 m ancho, profundidad, alto y más pequeñas; ángulo de inclinación: 2.5 - 12°	
Peso:	varios cientos de kg como instalación fija con base, caso contrario construcción sobre el suelo	
Grado de mecanización:	no mecanizado	
Tipo de energía motriz:	solo agua de proceso	
Forma de trabajo:	semicontinua	
Producción/Rendimiento:	3 t/d x m <sup>2</sup> de superficie de la placa	
Material: Cuál:	agua	Hg
Cantidad:	densidad de pulpa 20 % sólidos	≥ 50 g/m <sup>2</sup>
		ver observaciones abajo

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	de importación construídas con base, debido a las placas de cobre o latón alfa - beta, altos, aprox. 10.000 DM; en construcción local con planchas de cobre en canaletas amuralladas con placas en el piso, bastante económicas, menores a 1000 DM
Costos de operación:	relativamente bajos, casi exclusivamente costos de reactivos
Costos derivados:	Conexión ulterior de placas hidráulicas para la recuperación de cantidades evacuadas de amalgama y mercurio, techo de protección solar sobre las planchas para la disminución de la evaporación del mercurio

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	— ■ —	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	— ■ —	altos
Exigencias al personal:	altas, en lo que se refiere al trato con materiales tóxicos.		
Exigencias al lugar:	agua, necesaria		
Tamaño de grano de la alimentación:	50 μm - 1 mm; es necesaria una buena clasificación para así evitar la abrasión mecánica de la amalgama		
Propiedades específicas de la alimentación:	el oro debe estar en estado puro y liberado, no debe estar encostrado, por ejemplo, en limonita; un valor levemente básico del pH de la pulpa mejora la amalgamación.		
Recuperación:	60 - 80 % del oro libre, de esta manera en el margen de tamaño de grano fino por lo general mayor que en la concentración gravimétrica		
Aparato que puede reemplazar:	canaletas, mesas, trómel de amalgamación		
Divulgación regional:	antes sobre todo ampliamente divulgado en USA.		
Experiencia del operador:	muy buena	— ■ —	mala
Contaminación ambiental:	baja	— ■ —	muy alta
	son posibles: evacuación de altas cantidades de mercurio por abrasión mecánica y por evacuación de amalgamas de metales extraños, por ejemplo, antimonio y amalgama de arsénico, evaporación de mercurio mediante película de agua en el aire, evacuación de reactivos en la preparación de las placas de cobre para la amalgamación, por ejemplo, cianuro y nitrato de plata.		
Facilidad de fabricación local:	muy buena	— ■ —	mala
Bajo qué condiciones:	tiene que ser posible adquirir buenas placas de cobre		
Tiempo de vida:	muy largo	— ■ —	muy corto

Literatura, Fuente: Schnabel, von Bernewitz, Schennen, Clennell, Treptow, Hentschel, Amalgamación ABC, Taggart, Hypolito, Escobar Alvarez y Echeverri Villa

## 15.2 PLACA DE AMALGAMACION

### Minería aurífera

### Beneficio Beneficio del oro

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La pulpa de alimentación molida y liberada corre sobre las placas de cobre levemente inclinadas. La inclinación se elige de tal manera que las partículas del mineral no sedimenten (según la densidad del acompañante más pesado). El oro corre sobre la parte inferior de la pulpa y es amalgamado por el mercurio. Las placas son liberadas de la amalgama de oro varias veces al día y nuevamente preparadas para la amalgamación.

#### **FORMAS DE USO:**

Para la amalgamación de minerales auríferos finamente molidos o pasados por bocarte.

Para la recuperación de mercurio luego de la amalgamación en bocartes o trapiches.

#### **OBSERVACIONES:**

- Fuera de placas de cobre se aconsejan placas de latón alfa-beta (60 % Cu, 40 % Zn).
- El pretratamiento de las placas es laborioso:
  - pulido con arena fina
  - desengrasado con solución de 1 % de cianuro de Na o cianuro de K
  - pulido con arena fina
  - limpieza de los óxidos de metales innobles mediante solución de sal de amoníaco
  - Recubrimiento con mercurio
- La amalgama de plata tiene un grado de rendimiento mayor para la amalgamación de oro que el mercurio puro. Debido a esto, se agrega al mercurio ya sea una solución de nitrato de plata o aleación con una hoja de plata. Alternativamente se puede activar la placa de cobre o de latón mediante una aplicación fina de plata. (El cobre puro tiende a la oxidación superficial. Mediante la aplicación de mercurio las sales de cobre parcialmente solubles inertizan la superficie del mercurio. Además, estas capas de hidrato conducen a que el mercurio no se adhiera a la superficie de la placa. Esto se evita mediante la aplicación de plata sobre la superficie).
- Las aguas ácidas de mina producen un efecto dañino en la amalgamación. Estas pueden ser neutralizadas por medio del molido simultáneo de cal. De esta manera, el empleo es solamente aconsejable en yacimientos que tengan solo bajos o ningún contenido de acompañantes de sulfuros.

El desarrollo de la amalgamación se realizó en el siglo I después de Cristo bajo el emperador Nerón (54 - 68 después de Cristo) en Bosnia.

La inclinación de las placas tienen un significado decisivo para la recuperación del oro. Las placas deberán estar inclinadas de tal manera que el material pesado no sedimente en ningún lugar. La pulpa debe correr sobre la superficie de la placa con pequeñas ondas periódicas, pequeñas trancas mejoran la amalgamación. En todo caso las placas deben ser totalmente planas.

Para evitar la evaporación del mercurio, sobre todo cuando se desconecta la corriente de la pulpa, las placas de amalgamación deberán estar siempre protegidas de la luz solar directa.

- Los minerales de plomo solubles, arsénico en arsenopiritas, sulfuros de arsénico, etc., antimonio y bismuto reaccionan ya sea con el mercurio, forman amalgamas o capas químicas o disuelven el mercurio o bien las amalgamas de metales preciosos de la estructura y conducen por eso a grandes pérdidas de metales preciosos y mercurio. Por el contrario, la pirita fresca o calcopirita no influye en la amalgamación. La barita, talco, esteatita y los silicatos duros hidratados de magnesio y aluminio conducen igualmente a estorbos o pérdidas en la amalgamación.
- Los aceites, agentes grasosos o lubricantes son extremadamente entorpecedores y rebajan inmediatamente la recuperación en la amalgamación.
- Antes de la amalgamación sobre placas de amalgamación se tiene que clasificar cuidadosamente para asegurar que no corra sobre la placa ningún grano grueso que conduzca a una abrasión mecánica de la amalgama.

El mercurio sucio es mucho menos activo que el fresco. Mientras el último forma bolas ideales casi redondas de fuerte brillo metálico, al sucio se lo reconoce en una superficie opaca por las deformaciones de la forma esférica y en que las bolas al rodar sobre una superficie plana inclinada parecen adherirse un poco a la superficie y arrastran una cola.

Para limpiar y activar el mercurio sucio existen varias posibilidades:

- Mediante el tamizado a través de un tamiz muy fino ( $\approx$  malla 200)
- Mediante el lavado con ceniza de madera y agua (donde el carbonato de potasio contribuye a la saponificación de las impurezas).

## 15.2 PLACA DE AMALGAMACION

### Minería aurífera

### Beneficio Beneficio del oro

- El lavado del mercurio con agua con contenidos tensoactivos o soluciones especiales de jugos de plantas, ambas con capacidad de saponificar grasas y sustancias similares y disolverlas.
- El lavado con reactivos como amoníaco, cloruro de amonio, cianuros, ácido clorhídrico, ácido nítrico, etc.
- La destilación del mercurio en la retorta con la cual se eliminan impurezas poco volátiles.
- Mediante el agregado de amalgama de sodio al mercurio, donde la amalgama de sodio en contacto con el agua se transforma en NaOH, el cual por su lado disuelve los componentes sucios de la superficie del mercurio. La concentración más favorable es de alrededor de una parte de sodio por 2.000 partes de mercurio. (La fabricación de amalgama de sodio por medio de electrólisis está descrita a continuación: se llena un recipiente con mercurio y se lo pone en contacto con un cátodo de carbón que está introducido en un tubo de material aislante, por ejemplo, vidrio o material plástico. Luego se agrega sobre el mercurio un baño de solución de sal de cocina (solución de 10 - 15 %) que está en contacto con un ánodo de carbón. Por medio de la tensión continúa de una batería de auto se descargan iones de Na<sup>+</sup> sobre la superficie del mercurio y éste es amalgamado como sodio metálico. Después de 10 - 15 min se alcanzan concentraciones suficientes. La amalgama de sodio resultante se debe conservar en forma hermética, por ejemplo bajo petróleo).

### INFORMES DE EXPERIENCIA SOBRE LOS USOS:

En la minería aurífera del norte de Chile las placas de cobre son lavadas con orina antes de ser cubiertas con mercurio.

En la minería aurífera colombiana las placas amalgamadoras son ampliamente divulgadas. Las placas de amalgamación son liberadas de la amalgama localmente cada 6 horas y nuevamente preparadas. Las placas de cobre son limpiadas ya sea con fuertes polvos de lavar o con jugo de hojas de sisal (cabulla fique) y luego también la superficie del mercurio. El sisal contiene materiales similares a sustancias tensoactivas que disuelven las grasas. Simultáneamente el jugo de sisal también ayuda a impedir la flotación de partículas de oro durante el proceso de amalgamación. Para ello se introduce un pedazo de hoja en el bocarte, liberando jugos durante la molienda.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

La placa de amalgamación es un aparato eficiente de concentración, económico y fácil de manejar para el beneficio de minerales con oro libre y finamente entrecrecidos sin mucho contenido de sulfuros. Una condición deberá ser siempre la conexión ulterior de instalaciones para la recuperación de la amalgama y del mercurio (retortas y trampas hidráulicas), por motivos de salud y del medio ambiente.



Cobertura de una placa de amalgamación con mercurio mediante el prensado del amalgama en una tela, Mina Los Guavos, Nariño, Colombia

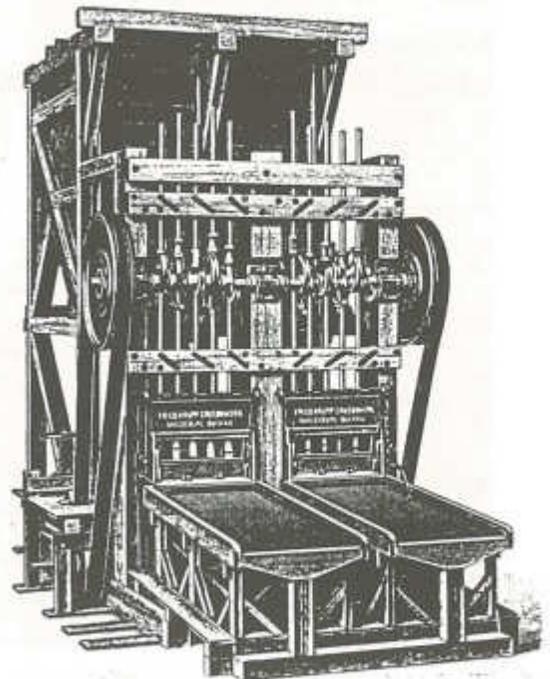
## 15.2 PLACA DE AMALGAMACION

Minería aurífera

Beneficio  
Beneficio del oro



Placa de amalgamación con placas de cobre recubiertas de amalgama de plata para la amalgamación de oro fino de la pulpa guiada por encima. Nambija, Ecuador



Dib.: Placas de amalgamación, detrás un bocarte, de Usiar

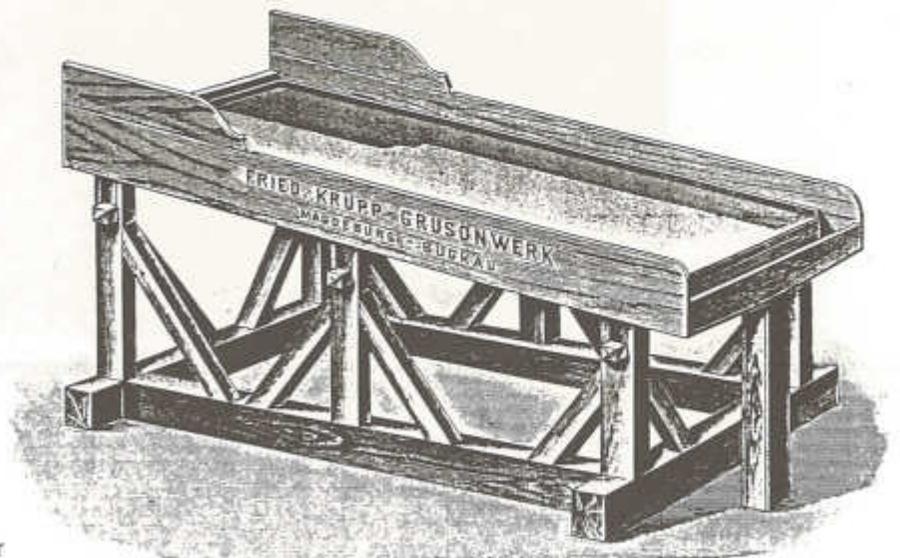
## 15.2 PLACA DE AMALGAMACION

Minería aurífera

Beneficio  
Beneficio del oro



Placa de amalgamación con bocarte de madera de cinco pisones conectado anteriormente y fuerza motriz hidráulica. Mina Los Guavos, Nariño, Colombia

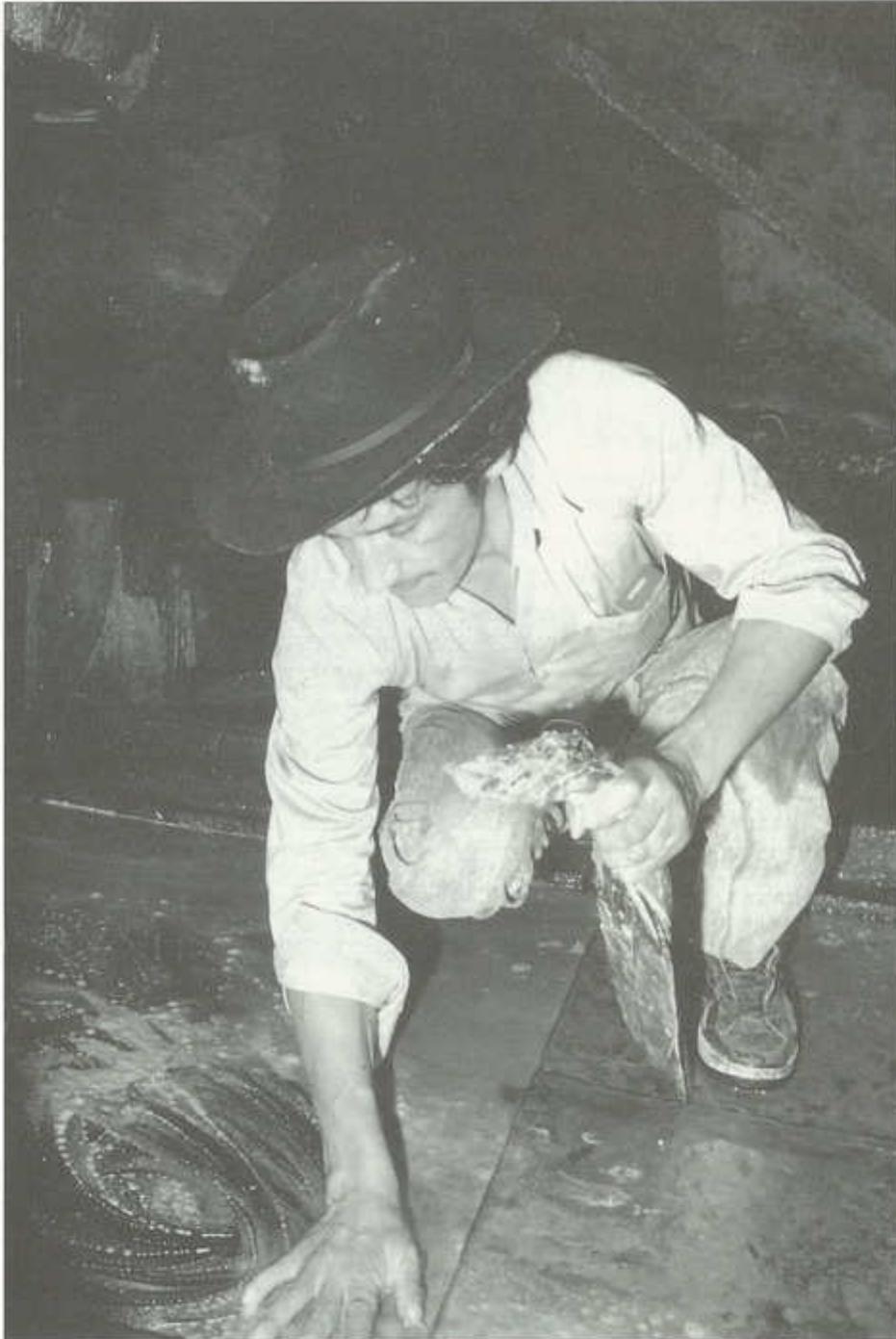


Dib.: Mesa de amalgamación, de Uslar

## 15.2 PLACA DE AMALGAMACION

Minería aurífera

Beneficio  
Beneficio del oro



Limpeza de planchas de cobre recubiertas de plata de una placa de amalgamación con jugos de sisal antes de recubrir nuevamente la placa con mercurio. Mina Los Guavos, Nariño, Colombia

## 15.3 TROMEL DE AMALGAMACION

### Minería del oro

### Beneficio Beneficio del oro

Español:	chancho, amalgamadora, barril de amalgamación
Inglés:	berdan pan, amalgamation drum
Aleman:	Amalgamiertrommel
Fabricante:	Svalcor

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	Berdan pan : 1.0 x 0.6 x 0.6 m alto, ancho, profundidad, ángulo de inclinación aprox. 15°, 20 - 30 min <sup>-1</sup>			
Peso:	desde aprox. 50 kg hasta varios 1000 kg			
Grado de mecanización:	no mecanizado/parcialmente mecanizado			
Tipo de energía motriz:	motor eléctrico, motor a combustión, hidromecánico, manual, accionamiento a pedal			
Forma de trabajo:	intermitente			
Producción/Rendimiento:	según el tamaño			
Material:				
Cuál:	mercurio	eventualmente	agua	reactivos para la activación de la superficie del mercurio, p.ej., NaOH, amalgama de sodio, cloruro de amonio, cianuro, ácido nítrico, tensoactivos
Cantidad:	aprox. 1 - 3 kg/kg oro	cuerpos de acero o rodados de piedra		

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	según la participación de la fabricación local y maquinaria de fuerza motriz desde aprox. 100 US\$
Costos de operación:	costos de reactivos y costos de energía
Costos derivados:	prensa de amalgama, matraz de destilación, maquinaria para producción de preconcentrados

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	Según la fuerza motriz	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:		bajos		altos
Exigencias al personal:	es necesaria instrucción sobre el manejo del mercurio			
Exigencias al lugar:	es necesaria muy poca agua			
Tamaños de grano de la alimentación:	2 mm - 20 - 50 µm para la fracción de oro			
Propiedades específicas de la alimentación:	oro libre, liberado, no encostrado, por ejemplo, por óxidos finos de hierro, eventualmente tratamiento con reactivos, ningún mineral de antimonio de baja ley en forma de laminillas platiformes, eventualmente flotación anterior, luego, sin embargo, propiedades superficiales problemáticas (hidrocarburos)			
Recuperación:	muy alta, bajo buenas condiciones de trabajo, a veces > 95 %			
Leyes de concentrado:	la amalgama tiene hasta máximo 50 % de Au, sin embargo son prácticas pequeñas concentraciones de oro en la amalgama y posterior concentración en la prensa de amalgama			
Aparato que puede reemplazar:	amalgamación manual en batea, amalgamación en procesos combinados.			
Divulgación regional:	mundialmente en la minería aurífera			
Experiencia del operador:		muy buena		mala
	en comparación con la amalgamación en canaletas, trapiches, bocartes, etc., la emisión de mercurio se puede mantener baja en el trómel de amalgamación, la producción de "floured mercury" se evita sobre todo mediante el agregado de reactivos y bajas velocidades de pulpa			
Contaminación ambiental:		baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:		muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller metal-mecánico donde se trabaje con recortes de tubos, planchas, rodamientos, etc.			

## 15.3 TROMEL DE AMALGAMACION

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Hentschel, Born, Bernewitz,

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El trómel de amalgamación trabaja según el principio del molino a bolas. El material de alimentación consiste en preconcentrados ricos. El material dentro del cuerpo del trómel experimenta una mezcla interactiva durante la rotación del trómel juntamente con el agua, con una cantidad de mercurio que corresponde a tres veces la cantidad esperada recuperable de oro y un montón de cuerpos moledores, así como también con los reactivos nombrados anteriormente. Durante ella, las partículas de oro entran en contacto con el mercurio y se amalgaman. Mediante los elementos moledores el oro es abatanado en el mercurio, o sea que también las fracciones de tamaño más pequeño alcanzan de esta manera el mercurio. Sin este proceso de abatanamiento, éstas no podrían ser extraídas como amalgama debido a la tensión superficial del mercurio. Después de desconectar el proceso de rotación, vibraciones y movimientos de golpe ayudan a una sedimentación diferenciada por la densidad, por los que la mezcla de mercurio y amalgama se junta en el fondo del trómel y es extraída después de sacar el agua o lavar la ganga.

### **FORMAS DE USO:**

Para la amalgamación de preconcentrados en reactor cerrado.

### **FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Para molienda y amalgamación simultánea en forma de trabajo discontinuo para preconcentrados aún no liberados. Luego, de todas maneras con un gran montón de bolas en el molino.

### **OBSERVACIONES:**

La Pequeña Minería en lugar de molino a bolas frecuentemente utiliza mezcladores de cemento como trómel de amalgamación. El material de alimentación de un trómel de amalgamación debería ser siempre previamente lavado una vez para eliminar minerales solubles que podrían conducir a una inactivación de la superficie del mercurio.

La velocidad de rotación del trómel de amalgamación durante una amalgamación pura es de alrededor del 50 % de la velocidad de rotación óptima de un molino del mismo tamaño. Mediante esta baja velocidad se evita la formación de "floured mercury". Para la molienda y amalgamación simultánea se tiene que encontrar un compromiso entre las pérdidas de rendimiento debido al deslizamiento de los elementos moledores y las desventajas para la amalgamación.

El "berdan pan" americano es un molino a una bola con rotación lenta con una solera en forma circular heliética, donde la solera circulante rota y la bola permanece flotando sobre el mercurio en el fondo de la solera.

La ventaja del trómel amalgamador es la contribución a la contaminación ambiental mediante la elusión o bien la reducción de pérdidas de mercurio metálico (como "floured mercury") durante la amalgamación. Durante la operación se pueden optimizar las propiedades superficiales del mercurio en el trómel cerrado mediante la adición de reactivos, según el material de alimentación.

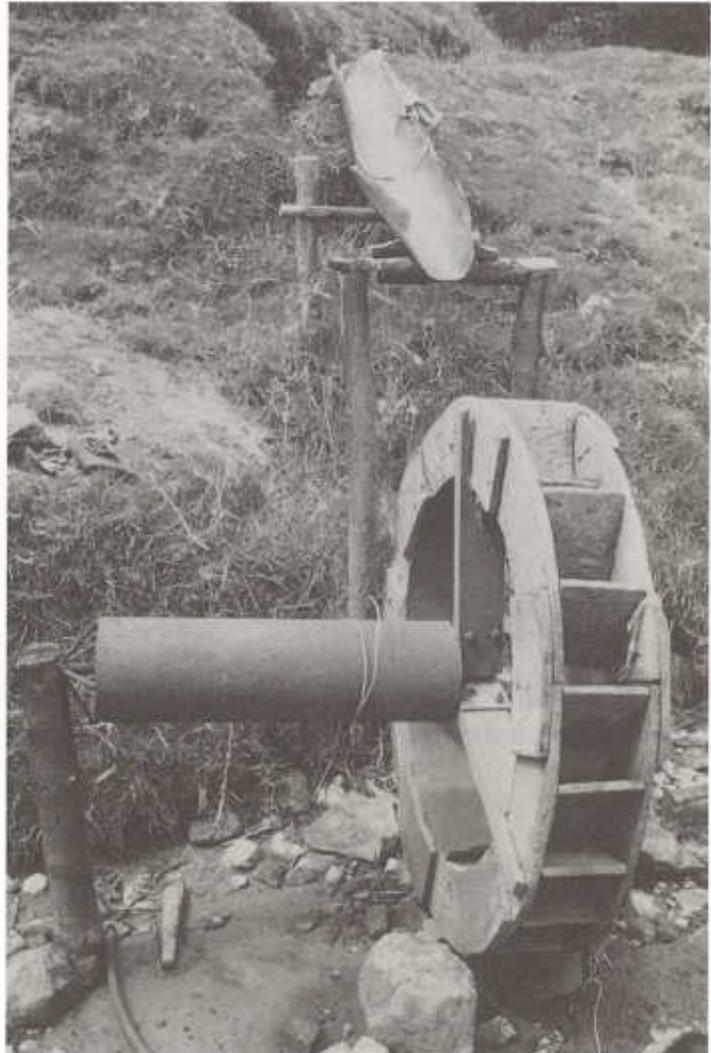
### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Los trómel de amalgamación son recomendables para evitar la liberación de mercurio durante la amalgamación. El aparato une la buena idoneidad para la construcción propia con bajos costos, las amplias posibilidades de mecanización, el control de la actividad de la superficie por medio de la adición de reactivos con el aprovechamiento de las buenas propiedades de separación de la amalgamación. La condición es la producción de preconcentrados.

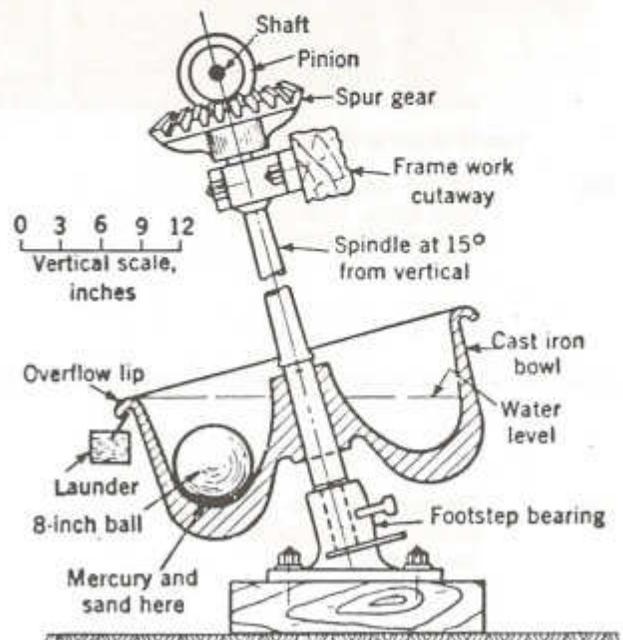
## 15.3 TROMEL DE AMALGAMACION

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro



Trómel de amalgamación sencillo con barras de hierro para el abatanado del mercurio, accionado por rueda hidráulica. El Canadá, Nariño, Colombia.



Dib.: Berdan pan, molino a una bola para la amalgamación de Bernewitz

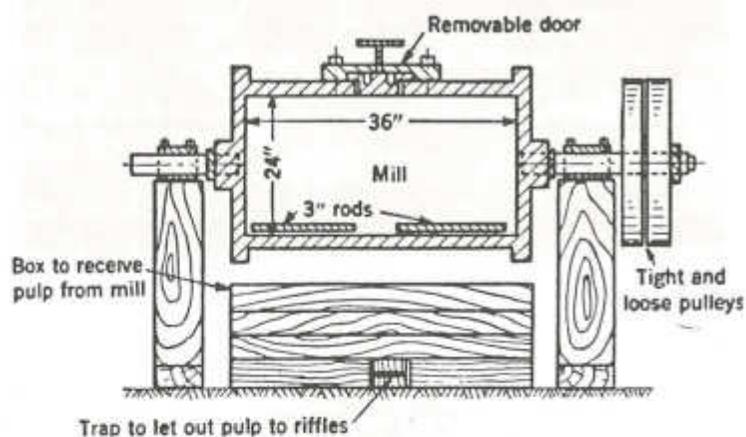
## 15.3 TROMEL DE AMALGAMACION

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro



Trómel de amalgamación accionado con motor eléctrico. Son visibles las bolas de acero que sirven para el abatanado de mercurio. Planta de beneficio en Portovelo, El Oro, Ecuador.



Dib.: Trómel de amalgamación como molino de rodillos, de Bernewitz.



Dib.: Amalgamación en mecanismos de agitación, de Agrícola

## 15.4 CUNA

### Minería del oro

### Beneficio Beneficio del oro

Español:	criba cuna, chinchola, cuna californiana, cuna siberiana, lavador, concentrador
Inglés:	rocker, cradle
Aleman:	Rocker, Wiege, Wiegensieb
Fabricante:	Keene

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	hasta varios metros de longitud
Peso:	20 - 50 kg
Grado de mecanización:	no mecanizada
Tipo de energía motriz:	manual
Forma de trabajo:	semicontinua
Producción/Rendimiento:	500 - 1.000 kg/Hombre turno, inclusive refinación con batea
Grado de rendimiento técnico:	aprox. 6 - 10 t de material de alimentación con 2 personas y 10 h solo en producción de preconcentrados
Material: Cuát:	agua
Cantidad:	400 - 3.000 lt/10 h

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	desde aprox. 200 DM en construcción propia
Costos de operación:	principalmente, costos de personal

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	-----■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■----- -----	altos
Propiedades específicas de la alimentación:	en lo posible, poco contenido de arcillas duras pegajosas o sea sedimentos parcialmente solidificados, los cuales no pueden ser triturados en el tratamiento con la cuna y el oro no es liberado		
Recuperación:	relativamente mala recuperación en el tratamiento de fracciones de tamaño de grano fino, motivo por el que es de uso práctico para grandes cargas de alimentación con tamaño de granos de oro relativamente gruesos (> 100 $\mu\text{m}$ )		
Aparato que puede reemplazar:	canaleta, batea		
Divulgación regional:	Chile		
Experiencia del operador:	muy buena	■----- -----	mala
Contaminación ambiental:	baja	■----- -----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	■----- -----	mala
Bajo qué condiciones:	las cunas pueden ser fabricadas de madera y de buen material para la criba en maestranzas metal-mecánicas simples		
Tiempo de vida:	muy largo	■----- -----	muy corto

Literatura, Fuente: Rittinger, Libro de inventos 1890, Silva

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La cuna, principalmente consiste en una instalación de clasificación y una canaleta de lavado. La instalación de clasificación tiene la forma de un cajón profundo con un tamiz para la recepción del material de alimentación. Debajo de este cajón empieza una canaleta de madera inclinada con trancas transversales. La inclinación de la canaleta varía según el tamaño del grano en la alimentación. Para cargas ricas en arcilla la inclinación tiene que ser menor que para cargas con material de grano

## 15.4 CUNA

### Minería del oro

### Beneficio Beneficio del oro

grueso. Toda esta unidad está montada sobre vigas de madera con secciones redondeadas, por lo que toda la parte superior puede oscilar de un lado a otro, mediante una palanca, sobre una tabla en el suelo.

La alimentación y la adición de agua para el lavado se realiza manualmente de tal manera que para la recuperación de oro con una cuna se necesitan cuatro hombres. Uno para el arranque del mineral bruto, otro para el transporte del mismo y la alimentación del mineral a la cuna, otro para el movimiento de la cuna y por último, otro para la alimentación del agua.

#### **FORMAS DE USO:**

Para el beneficio de sedimentos sueltos y levemente consolidados con contenido de oro.

#### **OBSERVACIONES:**

La cuna es el aparato clásico de beneficio de los buscadores de oro de Norteamérica y fué usado hasta este siglo.

En la minería aurífera norteamericana, los preconcentrados del beneficio mediante la cuna (arenas con minerales pesados y oro) fueron secados a continuación y posteriormente concentrados mediante la fuerza de la corriente de aire.

La posición correcta de la inclinación de la canaleta influye en gran medida en la recuperación. En forma análoga lo que se dijo para el lavado en canaleta vale para la cuna.

Debido al bajo consumo de agua, las cunas son especialmente aptas para regiones áridas.

#### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Las ventajas de la cuna criba (construcción sencilla, transportable, técnica sin fuerza motriz, muy buena aptitud para la construcción local) lo legitiman como un aparato de beneficio móvil para minerales de oro sedimentarios en el campo de la prospección y explotación. La cuna criba es ventajosa especialmente para materiales sueltos que no necesitan de trituración debido a que en ella están unidas la clasificación y la concentración.



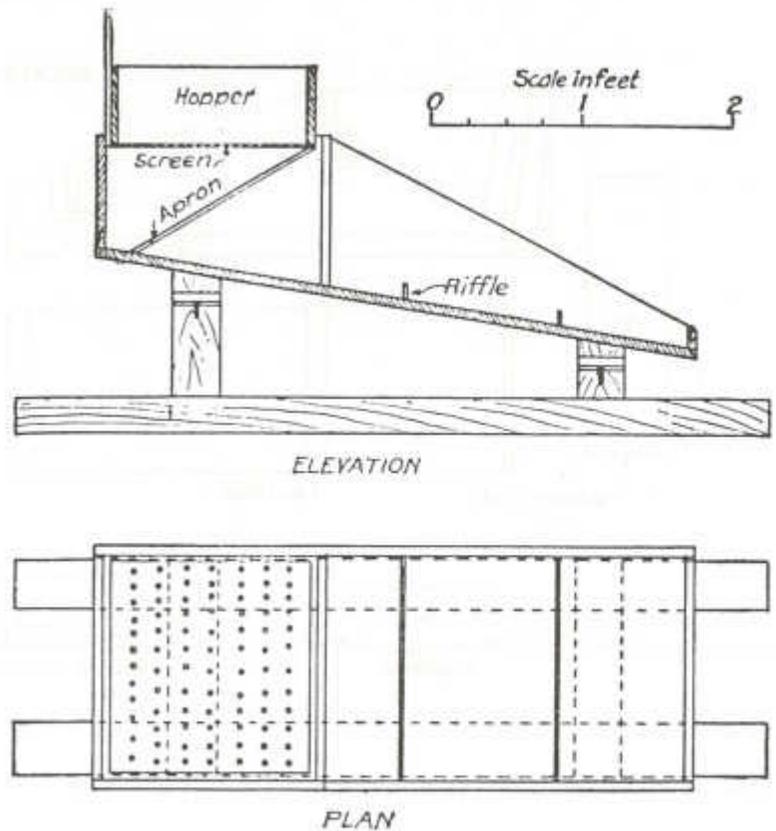
Vista total de una cuna para la recuperación de oro de sedimentos. Andacollo, IV Región, Chile.

## 15.4 CUNA

## Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Vista en detalle de una cuna. Arriba es visible el cajón de la criba con plancha agujereada para la clasificación, debajo, la canaleta de alimentación. Abajo, la canaleta con trancas para la concentración. La palanca sirve para suministrar el movimiento a la cuna. Andacollo, IV Región, Chile.

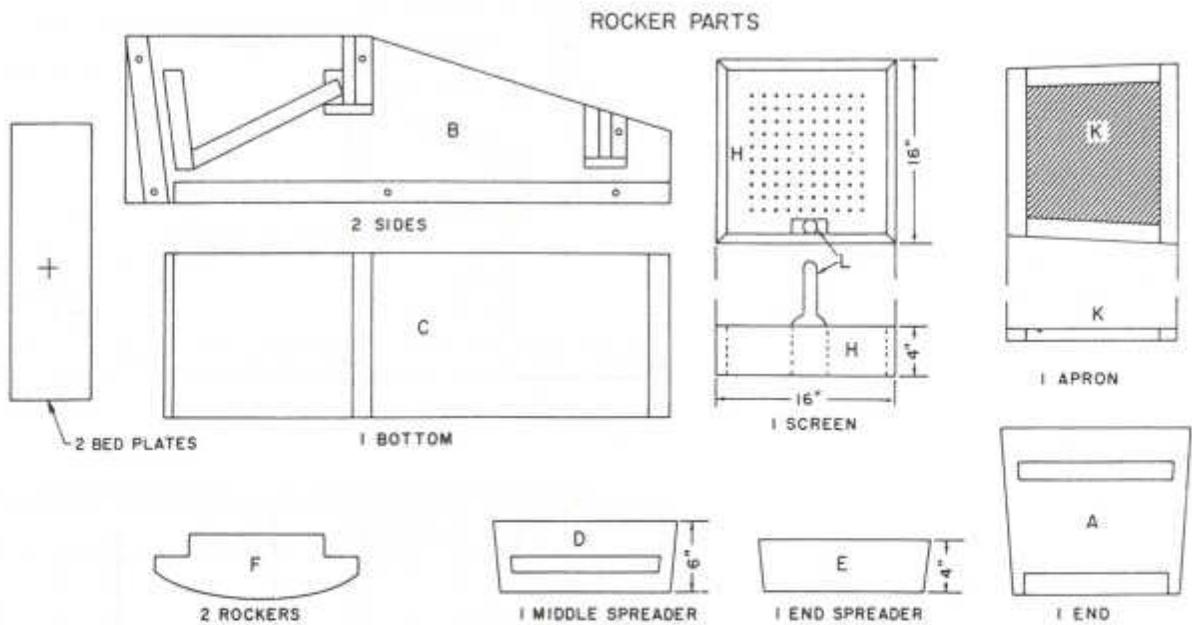
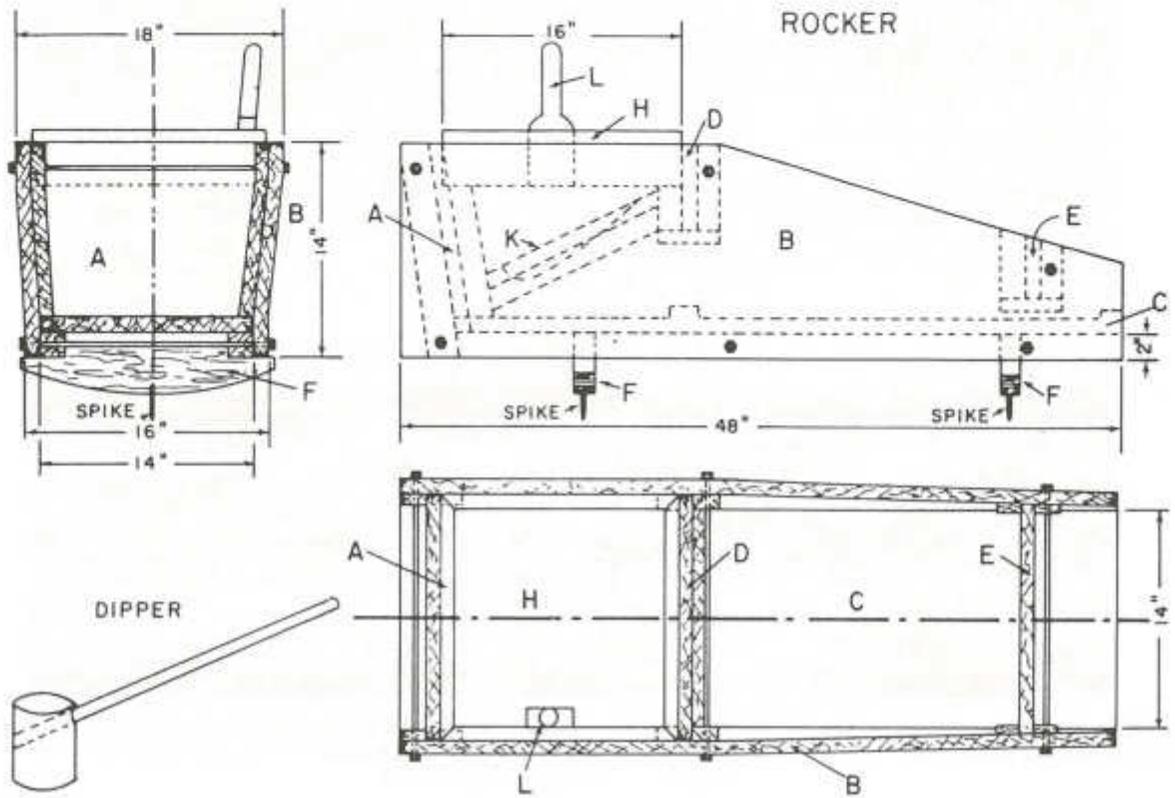


Dib.: Cuna en corte y en planta, de Bernewitz

15.4 CUNA

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro



Dib.: Dibujos de la construcción de una cuna criba, de Silva

## 15.5 BENEFICIOS DE ORO MECANIZADOS EN FORMA COMPACTA

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Español:	beneficios de oro mecanizados en forma compacta, por ejemplo gold saver, prospector
Inglés:	gold saver, washplants
Aleman:	Mechanisierte kompakte Goldaufbereitung, z.B. Gold Saver, Prospektor
Fabricante:	Denver, Goldfield, Svalcor, Buena Fortuna, Fima, Metal Callao E. P. S., Met. Lacha

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	117 x 74 x 153 cm alto, ancho, largo		
Peso:	270 kg		
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado		
Potencia motriz:	3 PS		
Tipo de energía motriz:	motor a combustión o motor eléctrico		
Posibilidades alternativas:	hidromecánica ?		
Forma de trabajo:	semicontinua		
Producción/Rendimiento:	2 - 3 m <sup>3</sup> /h		
Material: Cuát:	agua	combustible	lubricante
Cantidad:	20 - 35 lt/min	aprox. 2 - 5 lt/h	pequeñas cantidades

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: aprox. 4000 US\$ en construcción propia; aprox. 25.000 DM en fábrica

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	— —■—	altos
	3 hombres: 1 alimentación, 1 extracción de colas, 1 manejo		
Gastos de mantenimiento:	bajos	— —■—	altos
Tamaño de grano de la alimentación:	menores a 100 mm		
Propiedades específicas de la alimentación:	granos de oro relativamente gruesos		
Recuperación:	incrementable por medio de canaleta y/o mesa de amalgamación		
Aparato que puede reemplazar:	canaletas, Long Tom		
Divulgación regional:	Colombia		
Experiencia del operador:	muy buena	— —■—	mala
Contaminación ambiental:	baja	— —■—	muy alta
	Según la clase de material de alimentación puede producirse alta contaminación por lamas		
Facilidad de fabricación local:	muy buena	— —■—	mala
	Según informe de Degowski ya se contruyó un Gold Saver en Pasto		
Bajo qué condiciones:	buen taller metal-mecánico y de soldadura		
Tiempo de vida:	muy largo	— —■—	muy corto

Literatura, Fuente: Degowski

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Las maquinarias compactas para el beneficio de oro, por ejemplo como ofrecen Denver o Goldfields, consisten prácticamente en un trómel clasificador con una criba gruesa para la separación y para la trituración autógena de pedazos de roca caja pegados. Para el material fino se conecta posteriormente una canaleta vibradora con una frecuencia de 200 - 220 min<sup>-1</sup>. Posteriormente, el rebalse puede ser nuevamente tratado por ejemplo, con canaleta o mesa de amalgamación.

## 15.5 BENEFICIOS DE ORO MECANIZADOS EN FORMA COMPACTA

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

### **FORMAS DE USO:**

Extracción de oro de sedimentos poco o bien no consolidados con pedazos gruesos de tamaño  $< 100$  mm.

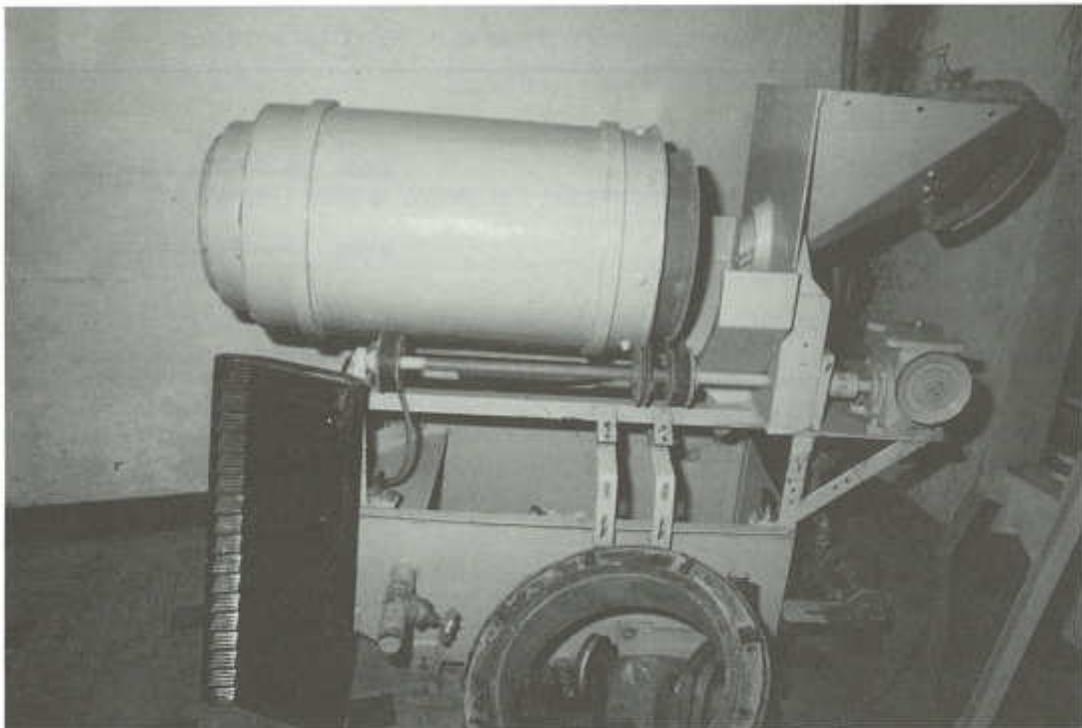
### **OBSERVACIONES:**

En un proyecto de la GTZ en Colombia se puso en uso un Gold Saver construido como fue indicado anteriormente.

La aceptación de los Gold Savers en comparación con los sistemas tradicionales, puede ser relativamente baja. Los usuarios critican como problema, sobre todo en la recuperación de oro de placeres fluviales, la dependencia de combustibles, el peligro de los cambios de nivel del río y por ello, la necesidad del traslado del Gold Saver cada noche a un nivel seguro contra las aguas altas como también la producción muy alta que implica la necesidad de incremento de capacidad en la explotación.

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:**

La ventaja del Gold Saver está en la construcción móvil compacta de una unidad completa de beneficio para sedimentos sueltos y ligeramente consolidados. Para el uso estacionario y el accionamiento con energía hidromecánica la solución más económica parece ser una disposición de los componentes individuales.



Gold Saver de la firma Denver para la recuperación de oro de placeres. Arriba, el trómel clasificador; apoyada, una canaleta vibradora de goma para la concentración. Barbacoas, Nariño, Colombia

## 15.6 TRAMPAS HIDRAULICAS PARA MATERIAL PESADO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Inglés: hydraulic gold trap  
 Aleman: Hydraulische Schwergutfalle  
 Fabricante: Zutta Hermanos, ASEA-Perini

### DATOS TECNICOS:

Medidas: hasta 60 x 60 x 60 cm según el rendimiento  
 Peso: aprox. desde 2 - 20 kg  
 Grado de mecanización: no mecanizada  
 Tipo de energía motriz: solamente agua de proceso, sin accionamiento motriz  
 Forma de trabajo: continúa  
 Producción/Rendimiento: varias t/d  
 Material: Cuál: agua como agua de contracorriente  
 Cantidad: 10 - 50 lt/min con presión hidrostática de 0.1 - 0.5 bar

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión: muy bajos, aprox. 100 - 200 DM según el tamaño  
 Costos de operación: muy bajos

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al lugar: se construye dentro del sistema de canaletas, agua

Tamaño de grano de la alimentación: el margen del tamaño de grano deberá tener como límite superior 1 - 3 mm

Recuperación: se separa solamente oro grueso de la corriente de masa, por ejemplo para evitar otra molienda, ninguna amalgamación, en el Jackpot construido análogamente se amalgama en el lugar más profundo

Aparato que puede reemplazar: canaletas para fracciones gruesas

Bajo qué condiciones: taller metal-mecánico

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta  
debido a que no hay mercurio

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller metal-mecánico

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: v. Bernewitz, Schennen

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Su forma de funcionamiento es la de un pequeño recipiente de sedimentación artificial que está ubicado en la corriente del material. La corriente no es interrumpida, solamente las partículas pesadas sedimentan. El espacio de sedimentación se mantiene ampliamente libre de material liviano mediante agua adicional, alimentada por la parte inferior. De esta manera, la trampa hidráulica para oro grueso se puede comparar con una caja en punta de una celda con agua clara de contracorriente.

El concentrado puede ser extraído durante la operación por medio de la abertura del grifo de extracción.

## 15.6 TRAMPAS HIDRAULICAS PARA MATERIAL PESADO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

### FORMAS DE USO:

Separación de fracciones gruesas de oro y de arena pesada de circuitos de beneficio, por ejemplo, antes de una próxima molienda, concentración, amalgamación, lixiviación, etc.

### FORMAS ESPECIALES DE USO:

También para la separación de amalgama y mercurio después de las etapas de amalgamación, por ejemplo, detrás de un bocarte como receptor de amalgama.

También apto para la recepción de partículas de la cama evacuadas de los jigs.

### OBSERVACIONES:

Empleo solo en yacimientos que contienen oro como componentes gruesos. El empleo de la trampa hidráulica para oro grueso no tiene sentido en yacimientos en los cuales el oro está exclusivamente en fracciones finas.

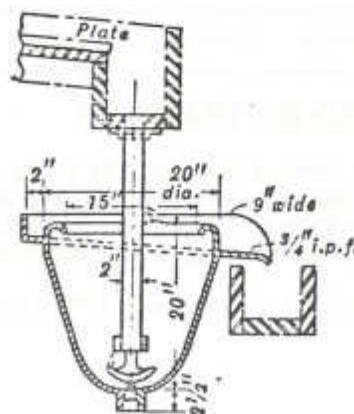
Además de la forma de construcción expuesta con flujo transversal, existen trampas para oro grueso construídas en parte, de tal manera, que la pulpa se alimenta a través de un tubo central debajo de la superficie de la pulpa. La pulpa es obligada a un movimiento invertido en el que el oro cae hacia abajo. Este sistema es análogo al de los espesadores redondos.

## APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA

Las trampas hidráulicas para oro grueso son una posibilidad sencilla, efectiva y económica de preseparar partículas de oro gruesas como granos, pepitas, etc. que se encuentran en la alimentación. Las trampas hidráulicas para material pesado tienen mayor significado como trampas de mercurio y amalgama colocadas a continuación de toda clase de aparatos de amalgamación.



Dib.: Trampa sencilla para material pesado,  
Fuente: Schennen



Dib.: Corte de una trampa de material pesado, de Taggart

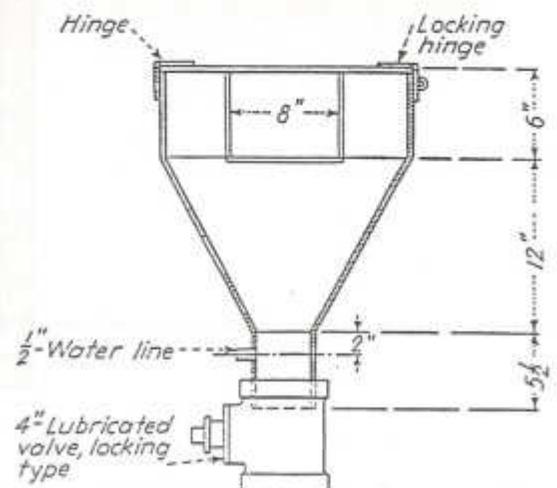
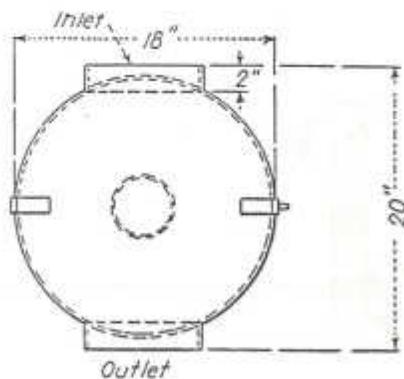
## 15.6 TRAMPAS HIDRAULICAS PARA MATERIAL PESADO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro



Trampa hidráulica para material pesado de fabricación local en Colombia. Es visible el grifo de bola para la regulación del agua de contracorriente. A la trampa para material pesado está conectada posteriormente una instalación de amalgamación. El rebalse es conducido a un recipiente de sedimentación para el deslame antes de una instalación de lixiviación por percolación. Mina Los Guavos, Nariño, Colombia



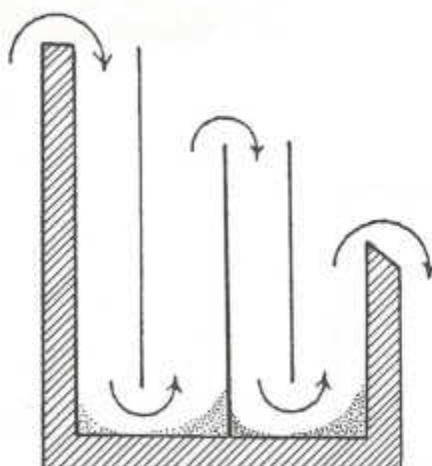
Dib.: Trampa hidráulica para material pesado, según Bernewitz

## 15.6 TRAMPAS HIDRAULICAS PARA MATERIAL PESADO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Trampa hidráulica de fabricación colombiana



Dib.: Principio de construcción de una trampa simple para material pesado para mercurio y amalgama, de Escobar Alvarez.

## 15.7 RETORTA DE DESTILACION

### Minería del oro Beneficio del oro

### Beneficio

Español:	retorta de amalgama, matraz de destilacion
Inglés:	retort for amalgam
Aleman:	Destillierkolben
Fabricante:	Keene, Svalcor, Talleres J. G., Taller Centro del muchacho trabajador, ASEA, Zutta

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 10 x 10 x 60 - 80 cm, crisol aprox. 5 cm diámetro, 5 cm profundidad
Peso:	aprox. 1 hasta 10 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	térmica, de combustibles biogénéticos
Forma de trabajo:	intermitente
Producción/Rendimiento:	capacidad según el tipo de construcción entre 0.5 y 70 y más kg. Duración de un proceso de destilación aprox. 15 - 25 min
Material: Cuát:	agua calor mediante combustión de madera, carbón, bencina, diesel, gas, etc.
Cantidad:	bajas cantidades para refrigeración

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	retorta: de fabricación local 100 - 500 DM, se debería procurar la producción en serie para disminuir los costos de fabricación. Pero la amortización deberá ser mediante la recuperación del mercurio
Costos de operación:	debido a los combustibles, relativamente alto. En la destilación en circuito abierto también se tienen costos de combustible
Costos derivados:	lámpara para soldar aprox. 30 DM

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos 
Gastos de mantenimiento:	bajos 
Exigencias al lugar:	la destilación de amalgama en retorta también debe llevarse a cabo en un ambiente bien ventilado, mejor al aire libre
Propiedades específicas de la alimentación:	la amalgama debe ser limpiada (ver también 15.2)
Recuperación:	de la amalgama con oro se separa por medio de calentamiento sobre el punto de ebullición del mercurio (350° C), oro (residuo) y mercurio (vapor). Recuperación prácticamente 100 %.
Técnica que puede reemplazar:	tiene que reemplazar la separación en la atmósfera !!
Divulgación regional:	divulgado en los laboratorios de beneficio en Latinoamérica; en operaciones de producción, raramente
Experiencia del operador:	muy buena 
Contaminación ambiental:	baja  Baja contaminación por mercurio al abrir el crisol y en caso de cierre no hermético.
Facilidad de fabricación local:	muy buena 
Bajo qué condiciones:	buen taller metal-mecánico, fabricación de retazos de tubos (Rossi-Retorta)
Tiempo de vida:	muy largo 

Literatura, Fuente: v. Bernewitz, Stout, Albes, Villefose, Rittinger, Ullmann, Información de empresas.

## 15.7 RETORTA DE DESTILACION

### Minería del oro Beneficio del oro

### Beneficio

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Por el calentamiento del crisol la aleación oromercurio se descompone en sus componentes individuales a alrededor de 600° C y el mercurio se evapora. En el tubo de condensación el vapor de mercurio se condensa en forma de gotitas (refrigeración en contracorriente con agua) y corre en un recipiente receptor con agua. El agua evita una próxima evaporación.

#### **FORMAS DE USO:**

Para la separación de amalgama en mercurio y mineral valioso (oro o plata).

#### **OBSERVACIONES:**

Debido a la corta duración del uso la retorta de destilación en un proceso de destilación, ésta debería ser usada también (mientras sea posible) con el objetivo de una distribución mancomunada de los costos de inversión.

Las construcciones hechas de retazos de tubos de acero son comparativamente económicas y apropiadas para la construcción en serie sin muchos gastos.

En todas las formas de retortas se debe prestar especial atención a que la brida y el cierre sean impermeables al gas.

En caso de no ser posible impedir la amalgamación en circuitos abiertos, es posible empezar por los compradores, estimulándolos a la compra exclusiva de amalgama. Luego, en presencia de los mineros, la amalgama puede ser destilada y el oro recuperado y cancelado.

Antes de la destilación, la amalgama es envuelta en papel. La ceniza del papel forma una capa intermedia no pegagosa entre el oro y el piso de la retorta. Es mejor empolver la pared interior de la retorta con una capa delgada de grafito, cal, yeso o talco antes de meter la amalgama para que después de la destilación el oro no quede pegado en el piso de la misma. En ningún caso se deben usar grasas. Estas se evaporan juntamente con el mercurio y desactivan la superficie.

Si una retorta deja de ser hermética, la parte dañada en el ajuste entre tapa y piso puede ser reparada con una masa de arcilla fina húmeda mezclada con ceniza. La arcilla no debe contener granos.

Frecuentemente se pudo determinar que la aceptación de los aparatos de destilación en la Pequeña Minería en los países en desarrollo es relativamente baja. Incluso a pesar de la existencia de retortas se sigue trabajando en circuito abierto debido a que primero es más rápido y segundo a que el color del oro recuperado, después de la evaporación del mercurio de un plato de cerámica, es más claro y alcanza mayores precios de los compradores. Eventualmente, esta desventaja se podría eliminar mediante un revestimiento altamente anticorrosivo de la superficie interior de la retorta. Por otro lado, las impurezas de la amalgama son en parte culpables de las coloraciones. Por eso, en la Pequeña Minería del Ecuador el concentrado de oro es lavado con jugo de caña de azúcar, de naranja, o de limón para hacer compleja la plata y así aumentar el contenido fino del oro. Tales impurezas durante la destilación sin entrada de aire dan recubrimientos negros. Un buen lavado del concentrado o bien de la amalgama puede alejar estas sustancias de acción colorante posterior provenientes de la alimentación de la destilación.

Por último, las otras amalgamas, por ejemplo, de arsénico, antimonio o cobre son causantes de las impurezas tanto del oro como también, eventualmente, del mercurio. Según la temperatura de ebullición y la presión de vapor de los metales, éstos se evaporan juntamente con el mercurio durante el proceso de destilación o quedan como costras sobre el oro. Estas impurezas de la amalgama se pueden lavar igualmente antes de la destilación. Para ello, se desengrasa la amalgama con leche de cal viva, se libera de astillas de hierro y por último, se lava con ácido clorhídrico diluido.

Para aumentar la aceptación de las retortas pueden ser útiles procesos de demostraciones con retortas de vidrio resistentes al fuego que hagan comprensible el proceso a los mineros y les quite el miedo de tratar su oro o bien su amalgama en un reactor cerrado. Esta clase de retortas también puede ser fabricada en los países en desarrollo por los sopladores técnicos de vidrio.

Para la construcción de retortas es importante mantener la superficie de condensación del mercurio lo más pequeña posible. Esto disminuye las pérdidas del mercurio debido a la cohesión de las perlas finísimas en la pared interior de la retorta. Por eso, los tubos de refrigeración deben tener el diámetro mínimo posible. Los tubos deben ser necesariamente de hierro o de acero debido a que el latón se amalgama con el mercurio. La superficie interior del tubo debe ser lisa, las costuras de los tubos deben estar siempre dirigidas hacia arriba para que no se produzcan pérdidas en el recorrido de las gotas hacia abajo. Sin embargo, siempre se quedan alrededor de 2 - 5 g de mercurio en el aparato, éstos se pueden recuperar recién por medio de un lavado. Por eso, siempre es práctico juntar grandes cantidades de amalgama y luego destilarlas en una sola operación.

## 15.7 RETORTA DE DESTILACION

### Minería del oro Beneficio del oro

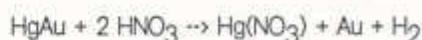
### Beneficio

Durante la operación, las retortas tienen que ser siempre calentadas de tal forma que el crisol entero y su tapa, así como la parte ascendente del tubo de evaporación estén lo suficientemente calientes como para evitar la condensación del mercurio en este lugar. De otra manera, este mercurio cae en forma líquida al fondo de la retorta y tiene que ser nuevamente evaporado.

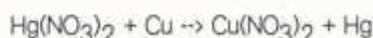
Lamentablemente, en vez de una destilación en retorta muy frecuentemente el mercurio se evapora de la amalgama en circuito abierto. Para ello, se emplean platos planos abiertos de cerámica o de arcilla que se calientan con lámpara para soldar. Se producen vapores de mercurio altamente tóxicos.

En Ecuador se pone sobre un plato una hoja fresca de plátano para la recuperación parcial del mercurio de la amalgama. El mercurio se condensa en la superficie de la hoja y se reúne en los cantos. El minero colombiano utiliza en forma análoga una cáscara de naranja u hojas de coliflor.

Además de la destilación en retortas existen también métodos químicos para separar el mercurio de la amalgama. Para ello, se cuenta con la capacidad del ácido nítrico de diluir el mercurio de la amalgama, método químico conocido del análisis químico. La transformación se realiza según la siguiente reacción:



El mercurio, después de ser separado del residuo aurífero esponjoso precipitado del nitrato disuelto, puede ser separado mediante un cambio con cobre u otros metales no nobles; el nitrato de cobre es eliminado.



En la separación química en minerales auríferos con contenido de plata existe el peligro que la plata se acumule lentamente en el mercurio y éste tenga que ser sometido de tiempo en tiempo a una limpieza por destilación.

Las pérdidas de mercurio por la destilación en retortas son muy bajas (< 1 - 3 %).

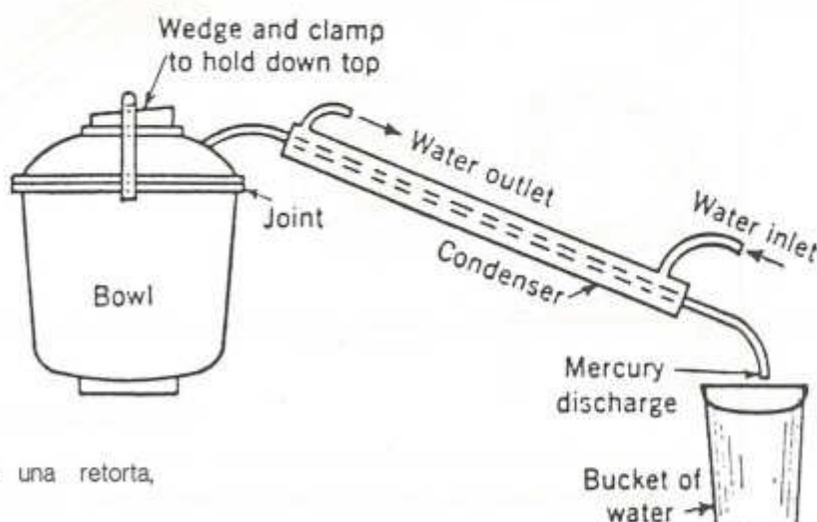
#### ADVERTENCIA:

La separación de la amalgama en la atmósfera constituye un peligro para la vida y de envenenamiento del medio ambiente (vapores de mercurio).

En todas las retortas se debe prestar atención que después de la conclusión del calentamiento, durante el enfriamiento no se absorba agua que pueda entrar al interior del crisol. Esto podría conducir a una explosión del crisol que aún se encuentra caliente, por evaporación repentina. Este peligro se puede prevenir mediante bolsas de agua o similares, o bien mediante el colgado del tubo de refrigeración sobre el balde de recepción.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Toda operación de amalgamación debería amalgamar necesariamente por motivos económicos y sobre todo ecológicos y de salud en circuitos cerrados de mercurio, es decir usar las retortas.



Dib.: Dibujo de construcción de una retorta,  
Fuente: Bernewitz

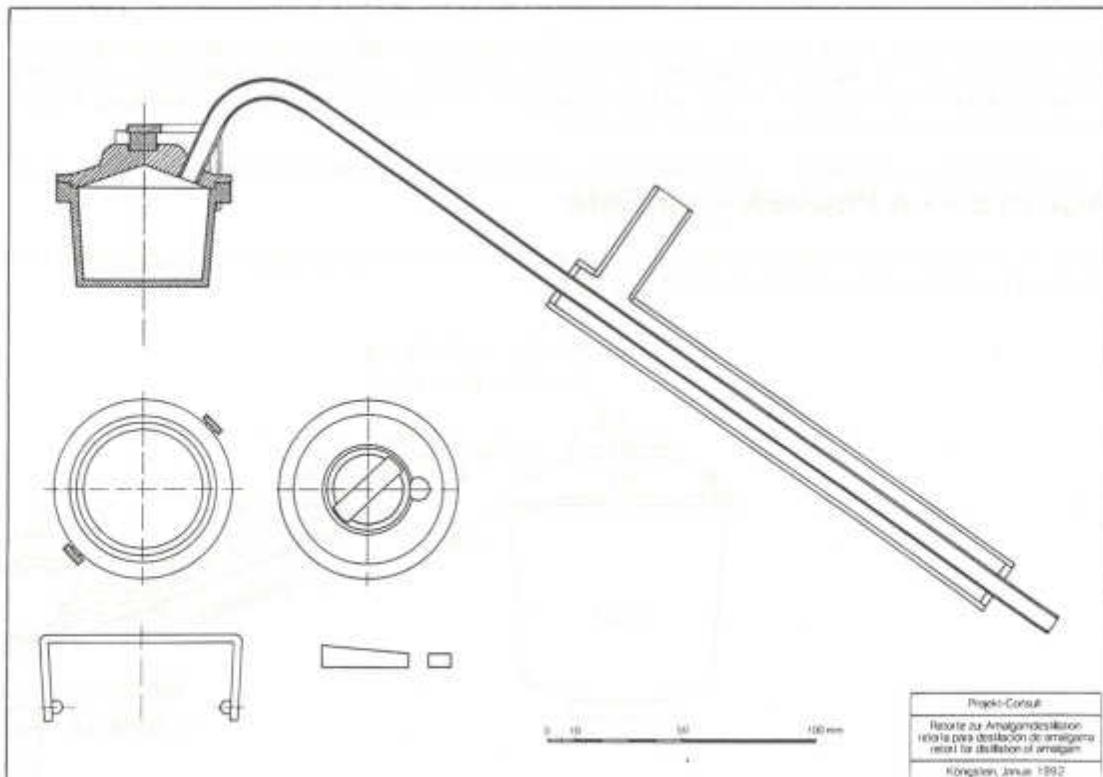
## 15.7 RETORTA DE DESTILACION

Minería del oro  
Beneficio del oro

Beneficio



Retorta de vidrio para fines de demostración, de fabricación ecuatoriana. Se determinaron como problemáticos los resortes que durante el calentamiento de la retorta se deformaron y condujeron a fugas en el cierre. Luego fueron cambiados por un cierre de alambre fijo.



Dib.: Retorta para destilación de amalgama, modelo projekt-consult, fabricado en Colombia

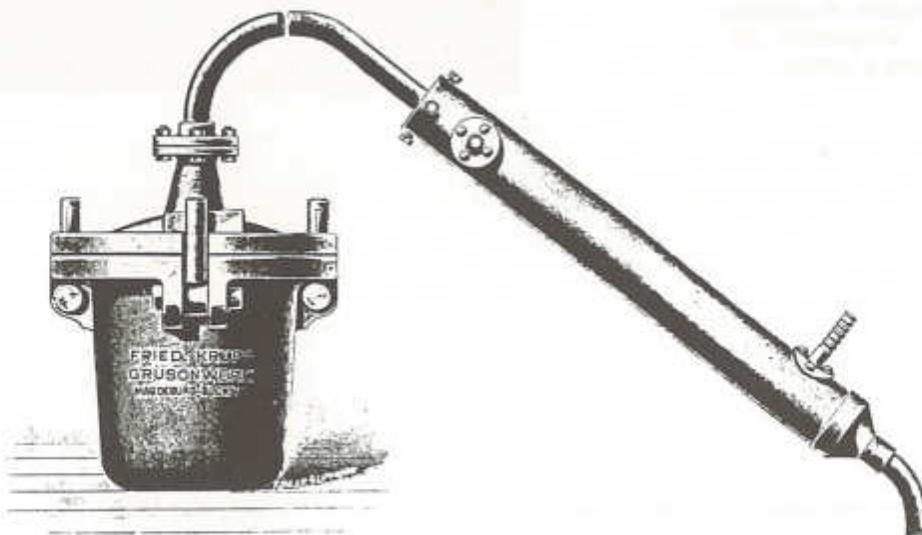
## 15.7 RETORTA DE DESTILACION

Minería del oro  
Beneficio del oro

Beneficio



Modelo de retorta listo para su difusión, de fabricación colombiana, uso en campo con lámpara de soldar a bencina como fuente de calor y taza llena de agua para recolectar el precipitado de mercurio. El crisol está fijado mediante un cierre en cuña que va por un canal conductor. Esta clase de cierre es de fácil manejo y duradero. Precio de la retorta: alrededor de 110 DM.



Dib.: Retorta para destilación de amalgama, de Usiar

## 15.7 RETORTA DE DESTILACION

Minería del oro  
Beneficio del oro

Beneficio

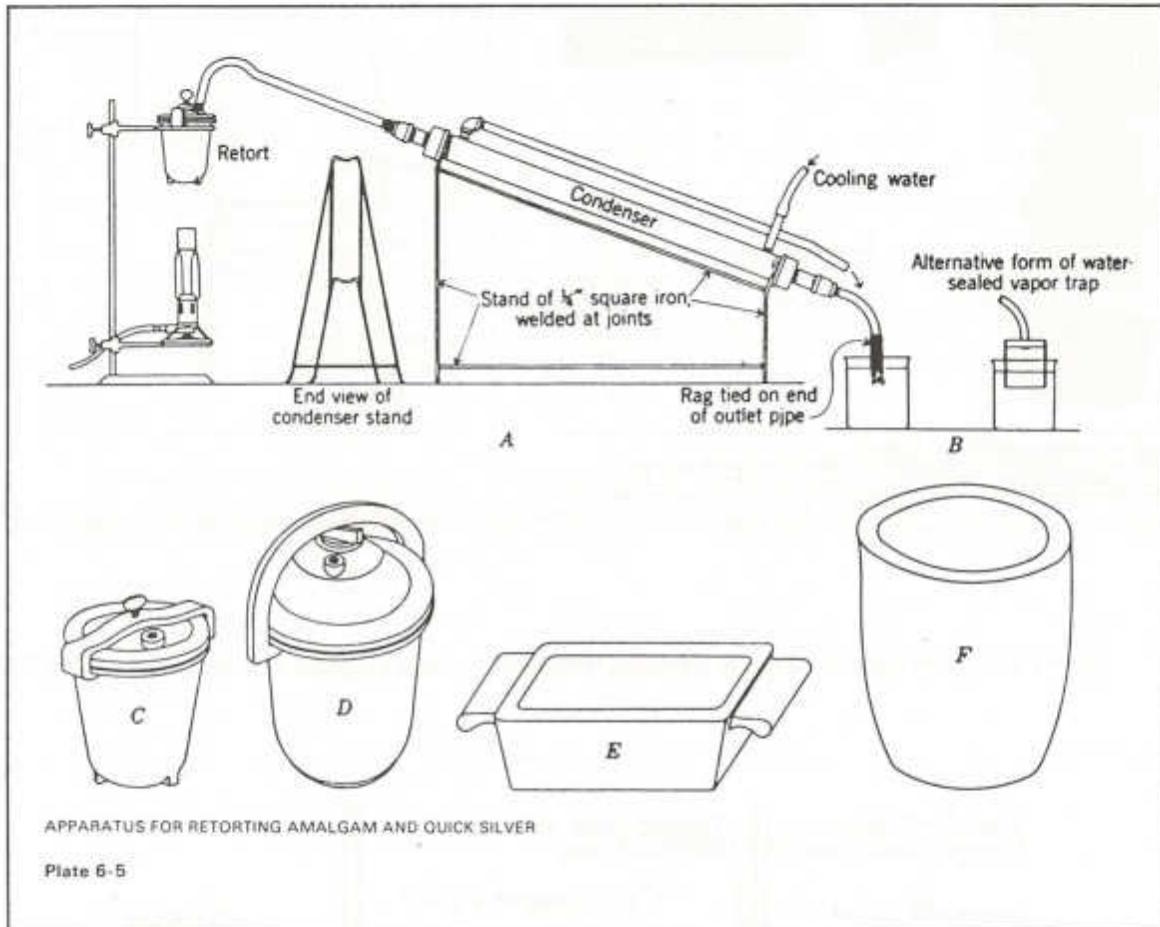


Retorta de fabricación ecuatoriana con circuito de refrigeración por convección y cierre a tornillo.

## 15.7 RETORTA DE DESTILACION

Minería del oro  
Beneficio del oro

Beneficio



Dib.: Formas de retorta y montaje de la retorta para destilación, de Stout



## 15.8 CONCENTRADOR CENTRIFUGO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Inglés:	Knelson concentrator, Knudson bowl
Aleman:	Zentrifugalscheider
Fabricante:	Knelson International Sales Inc., Mineral Deposits, Steve and DukeÅs Manufacturing Co. o Lee-Mar Industries Ltd., Goldfield, Falcon Concentrators, FUNDEMIN, VARDAX, Met. Lacha, INCOME C

### DATOS TECNICOS:

	Knelson 7.5"	Knelson 12"	Knudson
Medidas: largo, ancho, alto	33" x 22" x 26"	31" x 31" x 34"	≈ 860 x 760 x 585
Peso	117 kg	154 kg	172 kg (sin motor)
Potencia motriz	3/4 PS	1 PS	7.5 PS
Producción	650 kg/h	5 m <sup>3</sup> /h	3 - 4 t/h
Concentrado	1.5 kg	5 kg	-
Pulpa	17 galones/min	30 galones/min	-
Cantidad de agua de contrapresión	20 galones/min	35 galones/min	-
Presión del agua de contrapresión	2 - 3 bar	aprox. 4 bar	-
Agua de lavado			
Ø máx. grano	< 4 mm	< 4 mm	< 4 mm
Ø mín. grano	> 30 µm	> 30 µm	50 - 70 µm
Revoluciones	≈ 400 min <sup>-1</sup>	100 - 400 min <sup>-1</sup>	100 - 105 min <sup>-1</sup>
Aceleración centrífuga	60 gr		
Corte de separación			
Forma de trabajo	semicont.	semicont.	discont.
	Falcon B 12	Falcon B 6	Vardax 801
medidas	36" x 60" x 73"	19" x 20" x 32"	72" x 18" x 24"
peso	800 kg	100 kg	110 kg con instalación de clasificación
Potencia motriz	7.5 PS	1.0 PS	2 PS
Producción	≈ 6 t/h	0.5 t/h	- 2 t/h
Concentrado	- 4.5 kg	≈ 1 kg	≈ 80 kg
Pulpa			7 - 12 gal/min
Cantidad de agua de contrapresión	-	-	-
Presión del agua de contrapresión	-	-	-
Agua de lavado	5 gal/lavado	2 gal/lavado	
Ø máx. grano	< 1.5 mm	< 0.9 mm	< 6 mm
Ø mín. grano	> 30 µm	> 30 µm	
Revoluciones			
Aceleración centrífuga	300 g	300 g	
Corte de separación			4 g/cm <sup>3</sup>
Forma de trabajo	discont.	discont.	discont.
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado		
Tipo de energía motriz:	eléctrica, a elección fuerza motriz de motor a combustión, eventualmente, costosa modificación a fuerza motriz hidromecánica		
Potencia motriz:	Grado de rendimiento técnico: concentraciones por encima de 1 : 8,000, comparativamente muy alta recuperación en oro libre bien liberado		

### DATOS ECONOMICOS:

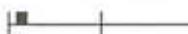
Costos de inversión:	Precios de fabricación original de fábrica fob:			
	Knelson 7.5":	6.850 US\$	Knelson 12":	12.500 US\$
	Knudson:	4.500 US\$	Falcon B 12:	34.000 US\$
	Falcon B 6:	7.000 US\$	Vardax 801:	2.400 US\$
	Vardax Sec.:	14.500 US\$		
Costos de operación:	costos de energía y bajo porcentaje de costos de personal			
Costos derivados:	eventualmente costos de espesador, estanque de sedimentación o dique para lamas			

## 15.8 CONCENTRADOR CENTRIFUGO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:		bajos		altos
Gastos de mantenimiento:		bajos		altos
Exigencias al lugar:	agua			
Tamaño de grano de la alimentación:	menores a 6 mm			
Propiedades específicas de la alimentación:	la alimentación debe contener solamente pequeños porcentajes de minerales arcillosos o de sedimentos parcialmente consolidados los que encierran el oro y que debido a su consistencia impiden que el oro se encuentre liberado.			
Recuperación:	según datos del fabricante aprox. 95 % del oro libre hasta tamaños de grano > malla 500 (aprox. 30 $\mu\text{m}$ ). Mineral Deposits da 50 - 70 $\mu\text{m}$ como límite inferior de tamaño de grano para la centrífuga Knudson. Según el Instituto de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania (BGR) en Burundi: Knelson 95.5 %, 0.63 - 0.063 mm			
Aparato que puede reemplazar:	canaletas			
Divulgación regional:	rara			
Experiencia del operador:		muy buena		mala
Contaminación ambiental:		baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:		muy buena		mala
Tiempo de vida:		muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Beyer, Hersteller, BGR

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

#### Knelson:

Centrífuga con aceleración radial hasta 60 g. La pulpa es alimentada mediante un tubo en el fondo de la centrífuga y centrifugada en secciones del trómel con formas de anillo. El agua en contracorriente es inyectada a presión desde afuera en los espacios entre los anillos, ésta suelta el material y forma un lecho fluidizado. El material liviano fluye sobre las paredes al espacio próximo superior entre anillos.

#### Knudson:

La centrífuga Knudson, construida en forma análoga, trabaja sin agua de contracorriente, lo cual simplifica marcadamente la construcción. En vez de eso el material es movido en forma de remolino en el trómel rotante en los espacios entre los anillos mediante una varilla fija, éste conduce a una limpieza del material del concentrado.

#### Falcon:

La centrífuga Falcon consiste en un cilindro vertical rotante con una pared inferior parcialmente en forma cónica. La pulpa es conducida mediante un tubo central de alimentación sobre el plato de alimentación rotante. Debido a la aceleración centrífuga el material se dirige hacia afuera y choca sobre la pared de la centrífuga que se abre hacia afuera en forma cónica. Se realiza una concentración radial según la densidad de la pulpa, así las partículas más pesadas se quedan adheridas a la pared lisa. El material liviano fluye sobre la parte superior cilíndrica de la centrífuga y es extraído. Se forma una zona de concentración en forma de anillo con una sección en forma de cuña. Este concentrado es lavado mediante agua adicional después de desconectar la alimentación, así el material sólido que se encuentra entre el plato de alimentación y la pared de la centrífuga llega al recipiente receptor del concentrado a través del eje hueco.

### FORMAS DE USO:

Concentración de alimentaciones con alto porcentaje de oro fino, especialmente placeres de oro.

## 15.8 CONCENTRADOR CENTRIFUGO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

### FORMAS ESPECIALES DE USO:

Además del empleo en yacimientos auríferos, a veces la recuperación de subproductos con la centrífuga Knelson también es económica, por ejemplo oro de operaciones de grava o minerales pesados de tierras raras de yacimientos de caolín. La alta capacidad de producción de la centrífuga Knelson permite su montaje directamente en el flujo del proceso.

En la centrífuga Knudson a veces también se amalgama.

### OBSERVACIONES:

Las centrífugas Knelson ya se construyen localmente en Brasil. Lo problemático en la construcción local es el soporte de la centrífuga, el cojinete desviado tiene que ser regulado o en caso dado, cambiado.

Es sumamente importante que el material de alimentación para la centrífuga esté totalmente liberado o bien sea entregado a la centrífuga bien preparado por un lavado anterior. Los sedimentos arcillosos o bien la existencia de oro en lateritas necesitan en parte una costosa preparación antes de la concentración en centrífugas. Los porcentajes de minerales específicos muy pesados sobre todo de arsenopirita conducen a que ellos también sean extraídos en el concentrado. En caso de que estos porcentajes sean muy altos, el grado de separación de la concentración por centrífuga se perjudica.

El producto de las centrífugas es un preconcentrado que luego tiene que ser limpiado mediante amalgamación, lixiviación o similares.

Para el agua de contracorriente en el Knelson es imprescindible agua pura, caso contrario los huecos finos en el manto de la centrífuga se podrían tapar y el material en el espacio entre los anillos no podría ser más revuelto. Además, la presión de agua debe mantenerse necesariamente constante ya que mediante un pequeño aumento de la presión se extraería concentrado fino, especialmente partículas con superficie específica grande. Igualmente, el flujo de la alimentación no tiene que ser interrumpido. Esta clase de problemas de regulación no existen en las centrífugas sencillas.

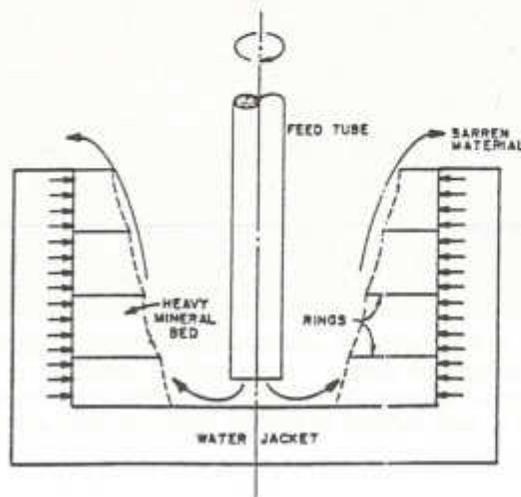
Las centrífugas Knudson y eventualmente la centrífuga Falcon son fáciles de fabricar localmente debido a su sencilla construcción.

En comparación con las centrífugas de lecho fluidizado (Knelson) y las centrífugas sencillas, las ventajas del Knelson son la capacidad de recuperar tamaños más pequeños de granos de partículas de los metales preciosos y los mayores grados de concentración que se alcanzan mediante la construcción del lecho fluidizado. Mientras que la centrífuga Knelson puede trabajar ininterrumpidamente durante varias semanas, por lo que se realiza una concentración de oro extremadamente alta, la construcción de las centrífugas sencillas (por ejemplo la producción de turbulencia en la centrífuga Knudson es bastante incompleta y el trómel de concentración tiene bajo número de revoluciones) es responsable que éstas solo puedan trabajar durante cortos períodos en forma semicontinúa y que produzcan comparativamente grandes cantidades de preconcentrados.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

La centrífuga Knelson es un aparato muy apto para recuperar oro de placeres, incluso en fracciones finísimas. A pesar de los altos costos de inversión y la necesidad de importación, la inversión se amortiza pronto mediante la alta recuperación de oro en las fracciones finísimas. Condición son características apropiadas del yacimiento.

Las centrífugas sencillas son - sobre todo si se pueden construir localmente - más apropiadas para la Pequeña Minería debido a su robusta construcción.

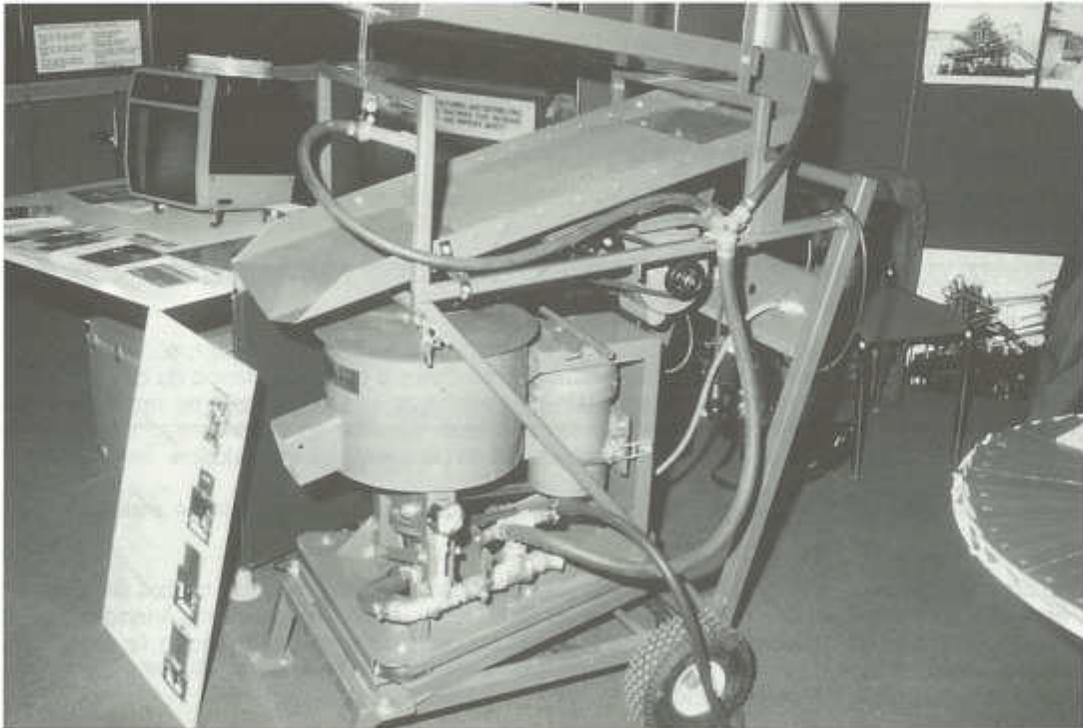


Dib.: Dibujo de corte esquemático a través de la centrífuga de un concentrador Knelson, Fuente: Información de la empresa Knelson.

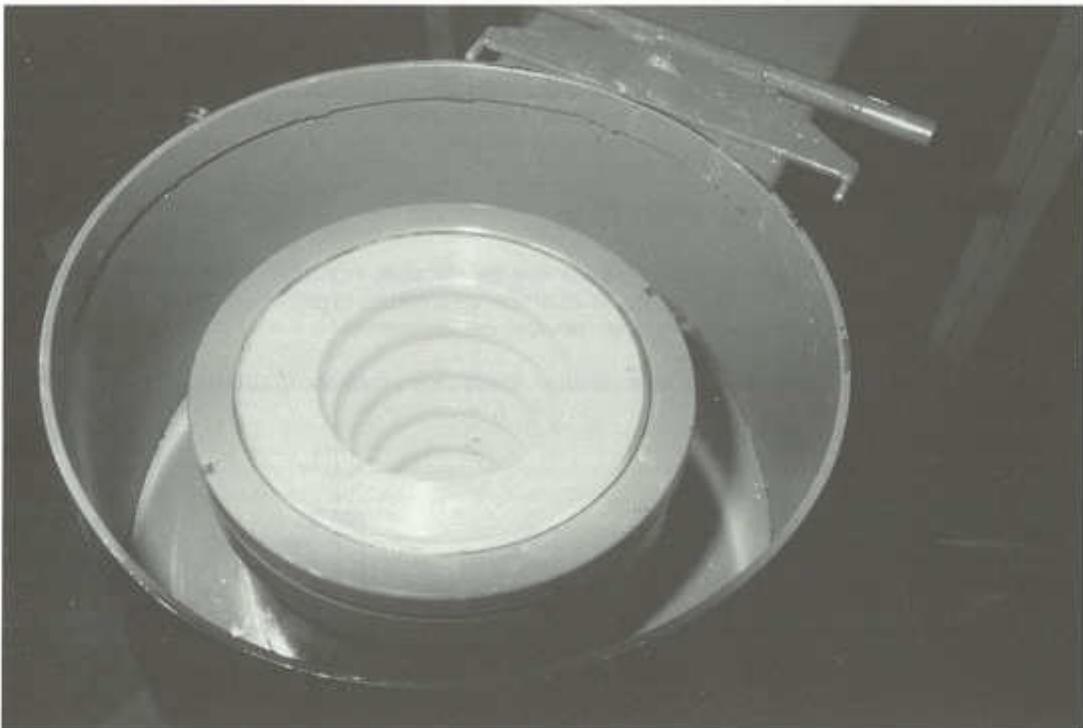
## 15.8 CONCENTRADOR CENTRIFUGO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro



Instalación móvil de una centrifuga de lecho fluidizado (Knelson 7.5") con canaleta de alimentación y sistema de abastecimiento de agua. Feria Minera Düsseldorf, 1989



Vista de la cámara de separación de una centrifuga de lecho fluidizado - Knelson 7.5". En el centro, la cámara con los espacios entre anillos fabricada de poliuretano que está introducida en un cono obtuso de acero perforado a través del cual se introduce a presión el agua de contracorriente. Para la extracción del concentrado este elemento de la centrifuga es desmontable. En la parte exterior el plato de recepción para el rebalse del material liviano. Feria Minera Düsseldorf, 1989.

**15.9 BATEA****Minería del oro****Beneficio  
Beneficio del oro**

Español:	chua, batea, challa, poruña, zuruca (v.), sarten lavador, batea en forma de bote
Inglés:	gold pan, batna
Aleman:	Sichertrog, Waschpfanne, Schiffchen, Niersch, Saxe
Sudeste asiático:	dulong, dulang
Fabricante:	Krantz, Keene

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	20 - 50 cm Ø, 5 - 25 cm profundidad, / 15 x 15 x 150 cm alto, ancho, profundidad / aprox. 45 - 50 cm Ø, 10 cm profundidad, 35 - 40° inclinación (USA)
Peso:	0.5 - 5 kg
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	manual
Forma de trabajo:	intermitente
Producción/Rendimiento:	aprox. 1 - 5 kg/min, labor diaria 100 bateas a 20 libras = 1 t/d
Material: Cuál:	agua
Cantidad:	poca (utilizable en aguas tranquilas)

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	aprox. 10 - 20 DM
Costos de operación:	solo costos de personal
Costos derivados:	ninguno

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	----- ■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	■----- -----	altos
Exigencias al personal:	es necesaria mucha experiencia para la concentración con alto grado de separación y alta recuperación		
Tamaño de grano de la alimentación:	< aprox. 30 mm		
Propiedades específicas de la alimentación:	oro puro como mineral valioso o mineral valioso con muy alta densidad		
Recuperación:	alta también en el margen de grano fino (límite inferior 20 µm), mediante la batea se recuperan laminillas hasta 50 µm		
Divulgación regional:	mundialmente		
Experiencia del operador:	muy buena	■----- -----	mala
Contaminación ambiental:	baja	■----- -----	muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena	■----- -----	mala
Bajo qué condiciones:	taller de carpintería sencillo o latonería para bateas de latón galvanizado		
Tiempo de vida:	muy largo	----- ■-----	muy corto

Literatura, Fuente: Treptow, Schnabel, Agrícola, Calvör, Ramdohr, Lepper, Clennell, Silva, Colección Treptow/Freiberg

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Mediante el sacudido de la batea el oro se acumula en el punto más hondo de ésta. En el proceso de lavado la batea es movida de tal manera que su centro se encuentra casi en reposo mientras que mediante el agua fluyente y la aceleración radial el material estéril se extrae por el borde. Este proceso se repite hasta que solo quede el oro o la arena negra con el oro. Al final del proceso el minero aurífero sostiene la batea levemente inclinada y golpea suavemente en la parte trasera en dirección de la inclinación hacia el canto de la batea. De esta manera, se realiza un proceso análogo a la mesa de concentración a golpes donde el oro se concentra en el punto más alto de la franja del concentrado.

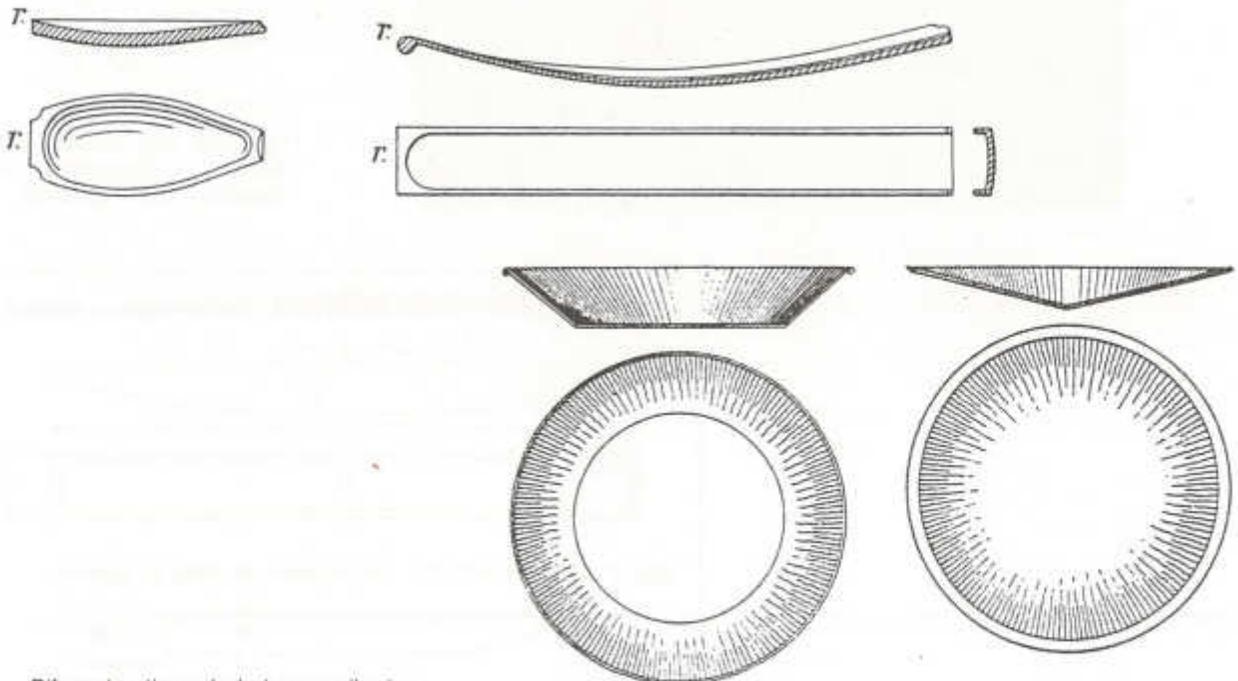


## 15.9 BATEA

## Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Trabajo con batea en la zona aurífera de Tipuani, La Paz, Bolivia.



Dib.:  
Diferentes tipos de bateas, arriba izq.:  
batea de Freiberg, arriba der.: Batea  
de Salzburg, abajo izq.: forma norteamericana,  
abajo der.: forma latinoamericana, de Treptow  
(arriba) y Schnabel (abajo)

## 15.9 BATEA

## Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Limpieza de amalgama en una batea con tensoactivos. Mina Los Guavos, Nariño, Colombia.

Abb. 6 Goldwäscherschiffchen Heilmuseum Rastatt

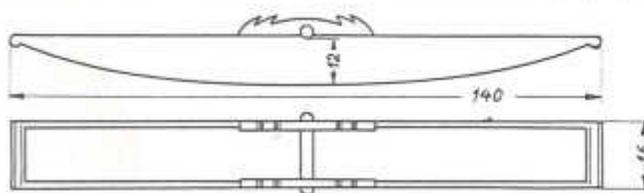
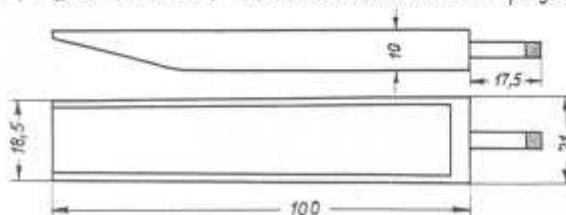


Abb. 7 Der Niersch Hist. Museum der Pfalz in Speyer



Maße in cm

Dib.:

Formas de bateas de la minería aurífera del Rin, de Lepper

## 15.10 JIG CON CAMA DE BOLAS DE PLOMO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Inglés: russel jigs, jig con lead shot  
Aleman: Setzmaschinen mit Setzbett  
Fabricante: Mineral Deposits, Denver, IHC Sliedrecht, Goldfield

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: desde 1 x 0.75 x 1 m hasta 3.60 x 3 x 3 m largo, ancho, alto con 0.5 x 0.2 m (2 camas) hasta varios metros cuadrados de tamaño de la cama  
Peso: desde 50 kg  
Grado de mecanización: totalmente mecanizado  
Potencia motriz: 0.5 hasta varios kW, 50 - 300 golpes/min, aprox. 25 mm de carrera  
Tipo de energía motriz: eléctrica  
Posibilidades alternativas: con motor a combustión, eventualmente, incluso manual en aparatos pequeños  
Forma de trabajo: continua  
Producción/Rendimiento: 4 - 65 t/h  
Material: Cuát: Bolas de plomo Lubricantes  
Cantidad: 8 - 10 DM/kg

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: desde aprox. 3000 DM en construcción propia  
Costos de operación: principalmente costos de energía y costos de personal

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos altos

Gastos de mantenimiento: bajos altos

Exigencias al lugar: Se debe disponer de agua

Tamaño de grano de la alimentación: se recuperan granos de oro con tamaños de 50  $\mu\text{m}$  - 2.5 mm; sobre el tamiz debajo de la cama se acumulan pepitas mayores a 2.5 mm

Propiedades específicas de la alimentación: el oro debe estar en estado liberado como oro libre

Aparato que puede reemplazar: canaletas, otros jigs, Goldsaver

Divulgación regional: se puede adquirir en el mercado mundial; divulgado en la minería australiana, Indonesia

Experiencia del operador: muy buena mala

Contaminación ambiental: baja muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena mala

Bajo qué condiciones: totalmente construible por talleres metal-mecánicos locales, eventualmente como jig manual o accionado mediante pedal. Para unidades con fuerza motriz se utilizan motores importados.

Tiempo de vida: muy largo muy corto

Literatura, Fuente: Información de las empresas, Silva, Schubert, Horway

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Los jigs con cama para oro consisten en jigs de membrana de dos etapas con una membrana interior de doble efecto. Esta forma de construcción permite, en comparación a los jigs convencionales, una marcada reducción de la potencia motriz. El agua pulsante fluye por un tamiz grueso, por ejemplo, con un diámetro de alambre de 1.6 mm y apertura de malla de 2.5 mm. Sobre este tamiz se encuentra como piso una cama de bolas de plomo ( $\delta P_b$  aprox. 11.3 g/cm<sup>3</sup>) con diámetros ajustados al

## 15.10 JIG CON CAMA DE BOLAS DE PLOMO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

tamiz de 4.1 mm. La cama, la cual se deposita sobre el tamizpiso en forma de paquete cúbico de bolas de manera más densa, es capaz de cerrar totalmente las aberturas del tamizpiso, lo que conduce a un mayor grado de separación y menor cantidad de concentrado. Las frecuencias de pulsación de la máquina son regulables entre 50 y 300  $\text{min}^{-1}$ . Igualmente, las amplitudes de pulsación y la cantidad de agua adicional son regulables. El agua adicional se introduce en el recipiente de sedimentación por debajo del tamiz. Con referencia a esto, se diferencian las construcciones de jigs con cantidad de agua constante (con aspiración) y aquellos en los cuales la adición de agua se ejecuta solo en el ciclo correspondiente de absorción de la membrana, acción que se realiza mediante el control de una válvula de émbolo giratorio (sin aspiración).

### **FORMAS DE USO:**

Los jigs con cama de bolas de plomo del modelo expuesto son utilizados para la recuperación de concentrados de placeres de oro y platino. Para mayores cantidades de alimentación se produce, en una primera etapa, un preconcentrado el cual posteriormente es también limpiado en el jig. Unidades más pequeñas utilizan una trampa de amalgama para la limpieza posterior o sea para la recuperación del concentrado final.

### **FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Los jigs con cama de bolas de plomo son parte de plantas de beneficio piloto y de pequeñas unidades móviles de producción.

### **OBSERVACIONES:**

La sencilla construcción del jig y la pequeña demanda de energía específica de la máquina parecen permitir la fabricación local de un jig de este modelo accionado manualmente o a pedal. Las camas de 2 x 40 cm x 20 cm deberían ser todavía manejados manualmente.

Las formas de construcción modernas de Jigs con cama de bolas de plomo están compuestas de varias unidades modulares, éstas son segmentos circulares y componen una unidad en forma circular. Esto tiene la ventaja de que mediante una sencilla alimentación central se puede tratar y concentrar una gran cantidad de alimentación. La geometría de las camas conduce a flujos transversales al contorno relativamente pequeños, lo que produce largos tiempos de permanencia o sea alto grado de separación.

Por medio de la variación del material de la cama (bolas específicamente más livianas) estos jigs para tamaños de grano fino también se pueden emplear para la recuperación de minerales de estaño o de wolfram bien clasificados.

Para granos gruesos el espesor de la cama debe ser alrededor de 7 - 12 veces el tamaño del grano mayor del concentrado, para alimentaciones finas (< 2 mm) alrededor de 20 veces el tamaño del grano. Los diámetros de los granos de la cama deberán ser de 3 - 4 veces el tamaño del mayor grano del concentrado.

Con un jig con aspiración se pueden tratar fácilmente y con alto grado de separación, fracciones finas, mientras las fracciones gruesas avanzan muy lentamente a través de la cama y del tamiz. En jigs sin aspiración, el efecto es el contrario.

Si se conectan varias camas, una tras otra, aumenta el tamaño de grano de las partículas de la cama en el sentido de la dirección del flujo de la alimentación.

El tiempo de permanencia de la alimentación en el jig se puede variar según la relación de agua transversal:agua adicional.

Es sumamente práctico instalar a la salida del material liviano de los jigs con cama de bolas de plomo una trampa para material pesado, por ejemplo, canaletas con trancas para recuperar material de la cama evacuado involuntariamente.

Las grandes dilataciones de la membrana pueden ser alcanzadas mediante el montaje de goma de neumático de auto como material para la membrana. Para la complicada boquilla de paso de la biela de la membrana a través de la pared del cajón de asentamiento se puede igualmente usar un elemento estandarizado corriente en el mercado y que se puede adquirir localmente, es decir el forro de la palanca de cambios de auto como fuelle.

Como material para la cama se pueden utilizar perdigones para caza de fabricación local que son vendidos a granel en países en desarrollo.

Los grifos de la evacuación inferior o de los concentrados durante la operación deberán estar siempre levemente abiertos para evacuar continuamente el concentrado y para que no se produzca sedimentación ni obstrucción de los conductos.

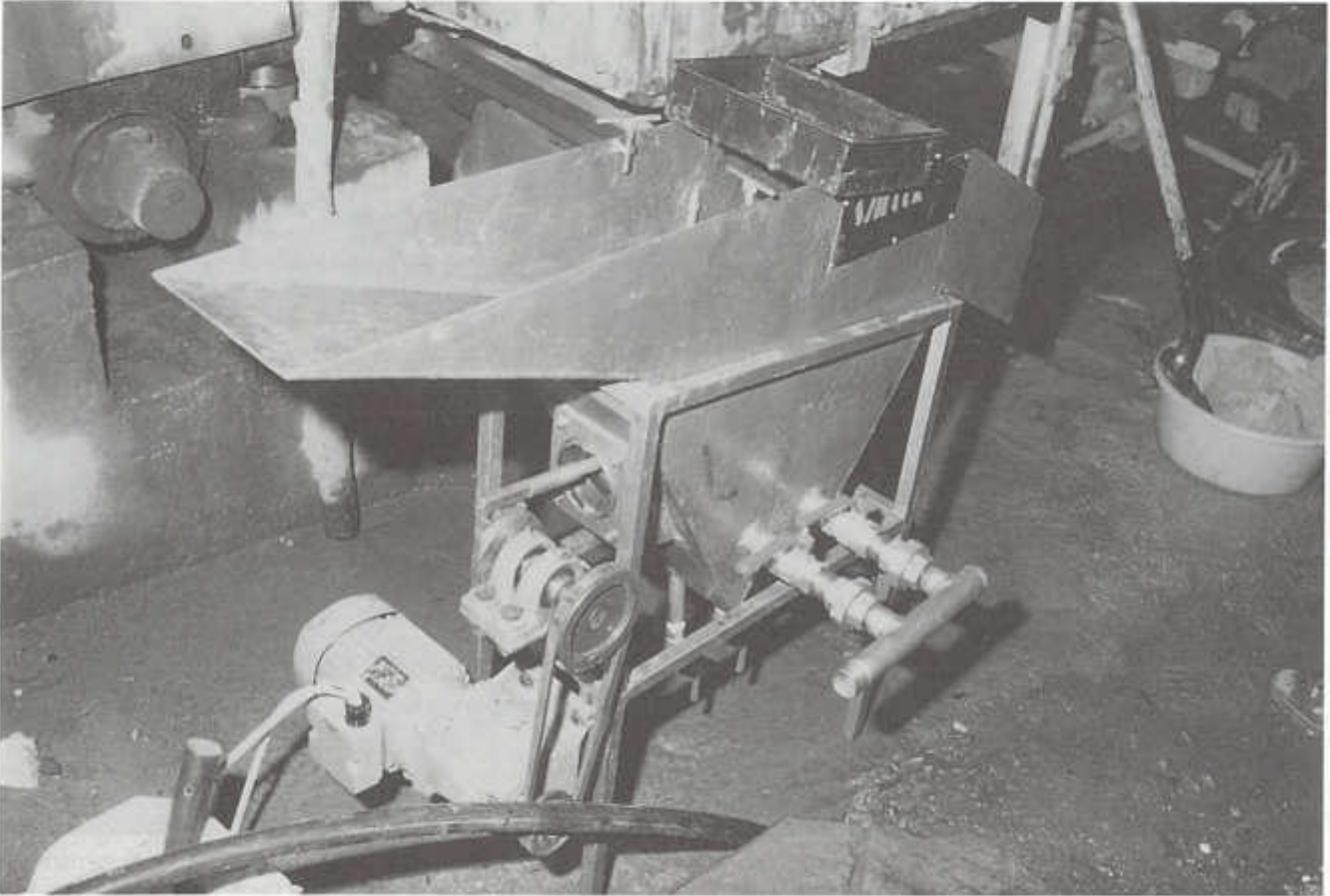
## 15.10 JIG CON CAMA DE BOLAS DE PLOMO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Los jigs con camas de bolas de plomo son muy aptos en la Pequeña Minería para la producción de preconcentrados de oro con altos factores de concentración y comparativamente alta capacidad de producción, pero exigen de todas formas un motor como fuerza motriz.

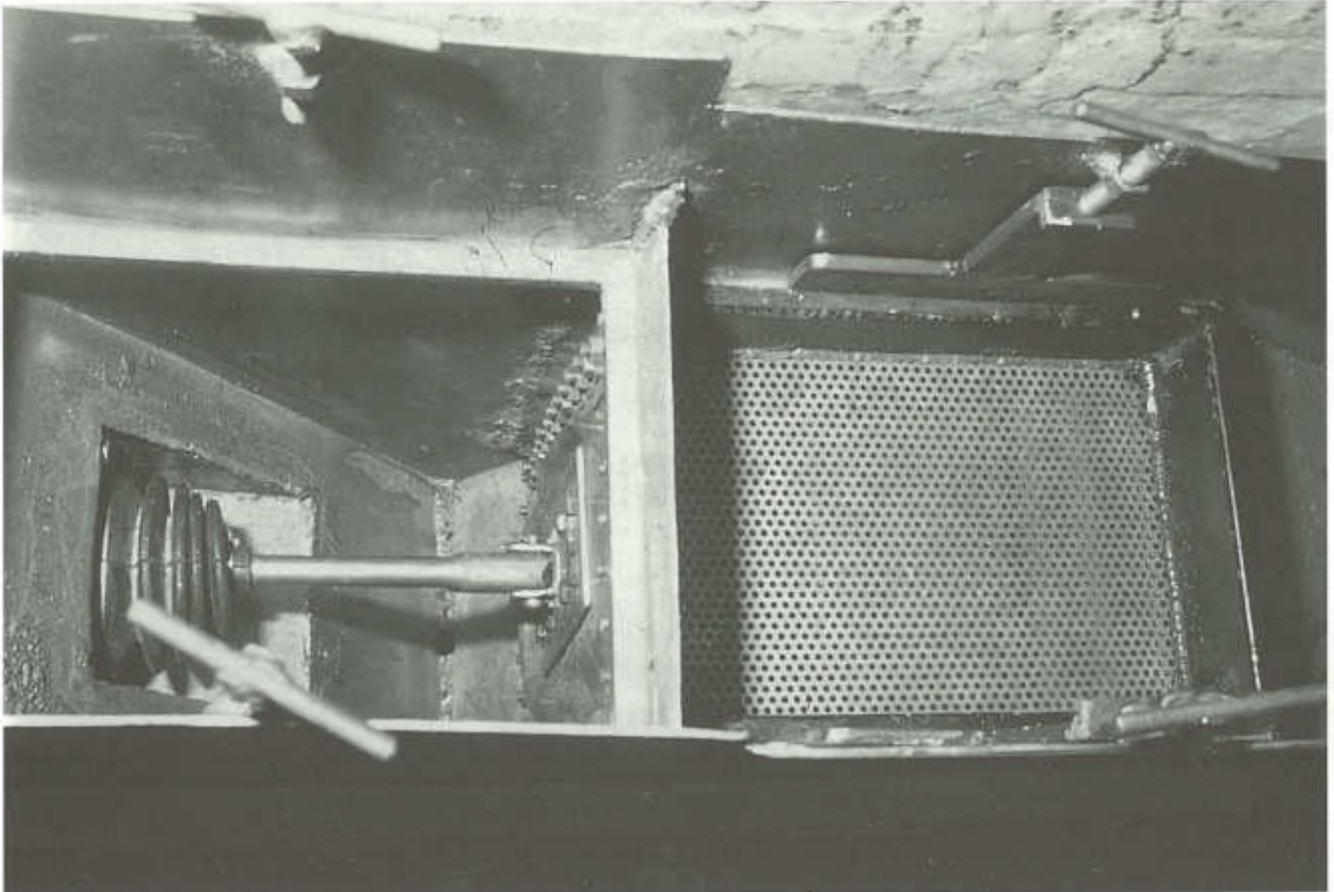


Vista total de un jig para grano fino con cama de bolas de plomo de fabricación ecuatoriana. A la izquierda abajo, el motor con engranaje de reducción, por encima, el excéntrico accionado por correa para la biela de la membrana. A la derecha, los grifos para la alimentación inferior de agua. Abajo, los dos grifos para la extracción de concentrado. Mina El Canadá, Nariño, Colombia

## 15.10 JIG CON CAMA DE BOLAS DE PLOMO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro



Vista desde arriba de un jig abierto de grano fino con cama de bolas de plomo de fabricación ecuatoriana. En la cámara izquierda es visible el forro como fuelle para hermetización de la boquilla de paso de la biela de la membrana a través de la pared del cajón y la membrana de goma de neumático de auto. A la derecha, la plancha agujereada que sirve como piso para las bolas de plomo y la cuña separadora que fija el montaje del tamiz sobre la caja. Mina El Canadá, Nariño, Colombia.

**15.11 LIXIVIACION DE ORO****Minería del oro****Beneficio  
Beneficio del oro**

Español:	lixiviación, lixiviación con cianuro (lixiviación por agitación, lixiviación en tanques, lixiviación en pilas)
Inglés:	gold leaching, agitation leaching, vat leaching, heap leaching
Aleman:	Goldlaugung cyanidische Laugung (Rührlaugung, Behälterlaugung, Haufenlaugung)
Fabricante:	HBS-Equipment (celdas para separación electrolítica + separación por adsorción), Denver

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	grandes tanques de lixiviación de varios m <sup>3</sup>
Peso:	recipientes amurallados
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado
Potencia motriz:	muy variada según la clase del proceso de lixiviación elegido, desde pocos cientos de vatios para pequeñas instalaciones de lixiviación a percolación (fuerza motriz para la bomba), hasta varios kW para grandes instalaciones de lixiviación por agitación
Tipo de energía motriz:	fuerza motriz eléctrica para bombas y filtros
Forma de trabajo:	semicontinua, continua
Grado de rendimiento técnico:	se distinguen tres diferentes grados de rendimiento: grado de rendimiento de la lixiviación, grado de rendimiento de la adsorción [= f (calidad del carbón activado, etc.)], grado de rendimiento de destilación (el grado de destilación no influye en el resultado de operación si se opera con carbón activado en circuito debido a que el oro no se pierde) ( $\Sigma$ de los grados de rendimiento conduce a valores para la recuperación: para la lixiviación por agitación alrededor de 90 - 95 %, para la lixiviación en tanques aprox. 80 - 90 % y para la lixiviación en pilas de 50 - 80 %)
Material: Cuales:	cianuro de sodio (NaCN) o cianuro de calcio/black cyanide (Ca[CN] <sub>2</sub> )
Cantidades:	concentración: 0.1 - 0.5 kg/t (promedio 0.15), consumo: 0.6 hasta aprox. 1 kg/t, aire a presión, CaO, Zn y PbNO <sub>3</sub> o carbón activado

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	para operaciones pequeñas de percolación solamente se originan costos bajos para el enmuralamiento de recipientes de lixiviación, recipientes de precipitación y tanques receptores de lixiviación, según los costos de material son desde alrededor de 1000 DM. Para instalaciones de técnicas a gran escala [por ejemplo Carbón-in-Pulp (CIP)] extremadamente altos, mín. aprox. 1.000.000 DM
Costos de operación:	altos costos debido al consumo de reactivos; los costos del cianuro son alrededor de 50 % de los costos de operación y sobre todo en el proceso Merrill-Crowe, una técnica intensiva en energía
Costos derivados:	sobre todo en instalaciones de lixiviación que trabajan con minerales finamente molidos, costos de diques de lamas

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:

lixiviación en pilas y a percolación  
bajos |-----| altos  
CIP

Gastos de mantenimiento:  
Según la clase de lixiviación

bajos |-----| altos

Exigencias al personal:

es sumamente importante un control exacto del proceso, sobre todo en relación a la homogeneidad de las concentraciones, de las alimentaciones y de las condiciones de la pulpa.

Exigencias al lugar:  
Tamaño de grano de la alimentación:

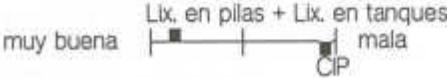
para la lixiviación en pilas, gran necesidad de espacio

&lt; 0.1 mm para la lixiviación por agitación; &lt; 10 mm para la lixiviación en tanques con una duración de lixiviación de 2 a 4 días; 50 mm para la lixiviación en pilas con una duración de lixiviación de 3 a 6 semanas

## 15.11 LIXIVIACION DE ORO

### Minería del oro

### Beneficio Beneficio del oro

Propiedades específicas de la alimentación:	arsénico-, antimonio-, manganeso- y sobre todo los minerales de óxidos de cobre solubles son extremadamente perturbadores y originan grandes consumos de cianuro, grandes pérdidas de oro por combinaciones orgánicas de CH, grafito, etc., luego, CL (Carbón in Leach). La pirrotina es igualmente un mineral dañino: une iones de cianuro y consume oxígeno por descomposición
Aparato que puede reemplazar:	todos los otros métodos de limpieza de preconcentrados en el beneficio de oro, por ejemplo, escogido a mano, amalgamación, procesos gravimétricos, separación por fundición.
Divulgación regional:	mundialmente se recupera > 70 % de oro mediante lixiviación. Sin embargo, la lixiviación con cianuro es una técnica más apropiada para la minería grande por ser intensiva en costos, por tener un control problemático y un equipamiento técnico complicado.
Experiencia del operador:	muy buena 
Contaminación ambiental:	baja  Los peligros en las operaciones de instalaciones de lixiviación radican en la posibilidad de la liberación de cianuro debido a fugas, etc. Los cianuros son altamente tóxicos. La seguridad en la operación se puede alcanzar mediante personal entrenado. Necesidad de espacio.
Facilidad de fabricación local:	muy buena  Lix. en pilas + Lix. en tanques
Bajo qué condiciones:	para pequeñas instalaciones de lixiviación a percolación, muy buenas posibilidades de construcción propia mediante simples trabajos de albañilería
Tiempo de vida:	muy largo 
Literatura, Fuente:	Krone/Erzmetall, Ullmann, Rollwagen in Erzmetall 41/2, Beyer, Bugnosen, DE 3429458 Al, Seeton, Meza S.

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

#### Lixiviación por agitación

La lixiviación de oro con cianuro aprovecha la propiedad del oro de formar complejos solubles de cianuro. En detalle, el mineral atraviesa por los siguientes pasos de proceso: después de una molienda del mineral bruto hasta < 0,1 mm se agrega CaO a la pulpa como lechada de cal para el ajuste del valor de pH hasta alrededor de 10 - 11,5 y la pulpa se espesa hasta un valor de 40 - 50 % de masa de sólidos. En los tanques de agitación se realiza el ajuste hasta una concentración de 100 ppm NaCN mediante la adición de cianuro de sodio, donde el material sólido es mantenido en suspensión, ya sea por el mecanismo de agitación o por el aire a presión soplado (en Pachucas). Con un valor de pH entre 10 y 11,5, en el que el equilibrio de disociación es desplazado a favor del ion de cianuro, se realiza la siguiente reacción química:



La duración de la lixiviación es entre 12 y 24 hrs. Se producen soluciones con concentraciones de oro de alrededor de 4 - 6 ppm.

#### Lixiviación en tanques

En la lixiviación en tanques se hace fluir solución de cianuro con un valor de pH ajustado por medio de mineral quebrado o aglomerado en tanques. Análogamente se realizan los procesos químicos arriba señalados. Después de finalizado el proceso se extrae la solución clara a través de un tubo con filtro.

#### Lixiviación por percolación

Las colas de beneficios gravimétricos se lixivian frecuentemente por la lixiviación a percolación. Grandes tanques abiertos (con capacidad mayor a 100 m<sup>3</sup>) están provistos de un dispositivo de extracción para la solución lixiviante en el piso, en parte con doble piso con un filtro de paño o grava. Estos tanques reciben el mineral a lixiviar y son cargados alternadamente con la solución lixiviante, la cual luego percola a través del mineral: las velocidades de percolación deberán ser mayores a

## 15.11 LIXIVIACION DE ORO

### Minería del oro

### Beneficio Beneficio del oro

8 - 10 cm/h. Valores menores a 2 cm/h son muy desfavorables. Las velocidades favorables de percolación condicionan un deslame previo del material de alimentación. Después del riego de la solución lixiviante, el nivel de ésta baja hasta el piso. Así ingresa aire al lecho del material y con él, oxígeno para la oxidación. Este proceso se repite diariamente. La duración de la lixiviación es de pocos días hasta mayor a un mes.

La solución lixiviante se puede agregar con diferentes concentraciones, o sea primero altamente concentrada, luego levemente concentrada, después, solución acuosa.

#### Lixiviación en pilas

Según la lixiviabilidad del mineral grueso triturado, la solución lixiviante se riega sobre un piso impermeable con impermeabilización de arcilla, de asfalto y/o revestimiento de lona. Se obtienen soluciones complejas claras de cianuro con contenido de oro.

Según la clase de solución compleja cianurooro, se puede seguir con el tratamiento según varios métodos.

#### Para soluciones claras:

- Según el **Proceso de Merrill-Crowe**, la solución es separada de componentes insolubles en filtros al vacío revestidos con paños o mediante filtros de velas y totalmente liberada de aire mediante cilindros al vacío (caso contrario se produce una oxidación en los pasos posteriores y grandes pérdidas de oro). Debido a esto, la concentración de oxígeno disminuye a alrededor de 0.5 mg/lt. Luego de la adición de polvo de zinc y solución de nitrato de plomo (para la formación de elementos locales) la cementación del oro se realiza según la siguiente reacción:



El oro y el zinc excedentes son filtrados en una prensa filtradora (la solución de cianuro es recirculada), el material sólido luego es tratado con ácido sulfúrico diluido para lavar el zinc en exceso. Por último, la lama de oro experimenta una tostación a aprox. 800° C y es fundida a 1.200° C con bórax y medios fundentes de silicatos.

- Una variante simplificada importante es la **precipitación de zinc**, la cual, sin embargo, produce grandes pérdidas. Se hace fluir de arriba hacia abajo la solución lixiviante a través de una calota de pedazos de tamiz con viruta fina de zinc de gran superficie específica colocada en forma suelta. El oro se adhiere a la viruta de zinc, lo cual es visible por la coloración negra. Una vez que toda la viruta está cargada de oro, ésta es fundida y el oro es recuperado (eventualmente por los compradores y organizaciones de servicio).

La nueva literatura sobre patentes indica también la cementación de oro de soluciones lixiviantes de cianuro levemente turbias en recipientes de reacción que están llenos de granulados de zinc y puestos en vibración mediante una fuerza motriz vibradora. Esto conduce a una cementación más rápida, mayor recuperación, menor consumo de zinc y un desarrollo del proceso sustancialmente más simplificado.

- Como una tercera posibilidad se tiene el **Proceso CIC (Carbon in Column)**. La solución clara del complejo de cianurooro fluye desde abajo hacia arriba por el cilindro relleno de carbón activado, donde el oro queda absorbido en el carbón. Los carbones activados totalmente saturados de oro pueden contener hasta 20 - 30 kg/t y pueden ser tanto transformados en ceniza o comercializados como concentrados de oro.

#### Para pulpas:

- Según el **Proceso Carbon-in-pulp**, se debe agregar a la pulpa carbón activado granulado. En este proceso se realiza una adsorción de los complejos cianógenos de metales preciosos en el carbón activado. A continuación éstos son separados mecánicamente (tamizados) y lavados con una solución lixiviante de cianuro sódico fuertemente alcalina, eventualmente, bajo presión y a alta temperatura, y el oro juntamente con la plata y el cobre es recuperado electroquímicamente en electrodos con lana de acero. Después de esto, el carbón activado tiene que ser costosamente regenerado. En forma alternativa, el carbón activado cargado de oro puede ser transformado en ceniza.
- Minerales auríferos con sustancias orgánicas, que como sustancias semiactivadoras potenciales podrían absorber oro de la solución lixiviante, son tratados con el **Proceso CIL (Carbon in Leach)**, en el cual se agrega la solución lixiviante, previamente mezclada con el carbón activado, a los minerales. De esta manera el carbón activado absorbe el oro que puede ser separado mecánicamente como se mencionó anteriormente.

Las pulpas con bajo porcentaje de material en suspensión pueden ser filtradas en filtros con lecho de grava; esta es la forma más barata y menos intensiva en equipo para la clarificación de la solución. Para la clarificación de pulpas también se emplea la CCD (counter current decantation) (decantación en contra corriente), un proceso en el cual varios espesadores son cargados en contracorriente, o sea que la lama espesada es conducida nuevamente al espesador anterior y el rebalse es conducido al próximo espesador.

**OBSERVACIONES:**

Desarrollo del proceso en Sud Africa en el año 1889

En operaciones de lixiviación por agitación, la lixiviación puede empezar en parte ya en el molino mediante una molienda húmeda en solución lixivante de cianuro. Esto tiene ventajas debido a que las superficies absolutamente frescas de los minerales entran en combinación con la solución lixivante.

En la lixiviación CIP los costos frecuentemente altos del carbón activado son los que hacen que este proceso sea antieconómico en los países en desarrollo. Pero, simultáneamente existen en varios lugares en países en desarrollo buenas posibilidades de producción local de carbón activado. Materias primas como las cáscaras de coco son especialmente muy apropiadas. El carbón de cáscara de coco se caracteriza por su dureza y porosidad fina. Sin embargo, las cáscaras de coco, que por regla general son usadas como material combustible, son relativamente caras. Además existen exigencias muy altas de calidad, las cáscaras tienen que estar limpias y muy frescas. Esto condujo hasta ahora a que se use carbón activado importado en la Pequeña Minería en países en desarrollo.

Por el consumo de reactivos resultan altos costos, sobre todo por el consumo de cianuro por la oxidación, liberación de HCN y reacciones con los materiales acompañantes de los minerales. En la lixiviación CIP la abrasión del carbón activado cargado es problemático (pérdidas de oro).

La lixiviación por agitación (agitacion leaching) trata minerales molidos o triturados finamente; la lixiviación en tanques (vat leaching), minerales previamente triturados; la lixiviación en pilas (heap leaching), minerales de mina gruesamente triturados. La lixiviación en pilas es económica pero menos recomendable debido a su recuperación comparativamente baja (aprox. 50 %) (el proceso más apto para minerales de baja ley). Los minerales lixiviables que se encuentran en terreno como material gruesamente triturado son muy raros. Las partículas de oro que se encuentran encerradas, por ejemplo en cuarzo, no se pueden lixiviar sin molienda.

Las colas de operaciones de lixiviación de oro tienen que ser apiladas o llevadas a un dique de lamas. Los contenidos en exceso de CN se descomponen con el correr del tiempo bajo la influencia de los rayos ultravioletas.

En general, parecen ser más aptos para la Pequeña Minería la lixiviación a percolación y la lixiviación en tanques, y para minerales fácilmente lixiviables la lixiviación en pilas, debido a que los gastos en los aparatos para la lixiviación, la adsorción y la recuperación de oro son significativamente más bajos en el tratamiento de pulpas claras.

Las soluciones lixiviantes de cianuro tienden a descomponerse a altas temperaturas. Bajas temperaturas conducen a pequeñas velocidades de reacción. El óptimo económico se encuentra a temperaturas de lixiviación de alrededor de 20° C. las que en climas más fríos son alcanzadas por medio de calentamiento artificial. En todo caso, los tanques de lixiviación y recipientes sin embargo deberán estar cubiertos debido a que los rayos ultravioleta descomponen la solución lixivante.

Para evitar peligros para el medio ambiente se deberán tapar en la parte superior los tanques de lixiviación y los recipientes con alambre tejido, el que bloquee a hombres y animales, sobre todo a pájaros del contacto directo con la solución lixivante tóxica. Los tanques pachuca para la agitación de la pulpa accionada con aire a presión en la lixiviación por agitación tienen una altura que corresponde por lo menos a tres veces el diámetro del tanque.

Los tanques para la lixiviación a percolación no deberán ser construídos muy bajos. Los tanques muy bajos tienen poca alimentación de aire cuando el nivel de la solución lixivante disminuye y abastece a los minerales con oxígeno necesario para la lixiviación solo de manera incompleta.

Los minerales lixiviados en tanques pueden ser extraídos por medio de tapas instaladas en el piso y en forma más sencilla mediante el lavado con mucha agua.

La lixiviación con cianuro permite el beneficio de una amplia gama de minerales auríferos, por ejemplo, de minerales con oro libre de tamaño de grano pequeño (hasta oro distribuído submicroscópicamente, por ejemplo en vulcanitas o carbonatos), del oro de sulfuros solubles y del oro en la superficie de los sulfuros. Minerales refractarios, por ejemplo, con piritas auríferas no son lixiviables sin una previa preparación (por ejemplo, tostación).

Minerales, en los que se noten diferentes condiciones de entrecrecimiento, pueden ser triturados selectivamente para alcanzar la liberación y evitar la sobremolienda. Por ejemplo, frecuentemente existen minerales con entrecrecimientos gruesos de oro en cuarzo y entrecrecimientos finos de oro en sulfuros y sus espacios intermedios. En este caso, los sulfuros pueden ser separados del circuito de molienda principal gravimétricamente (por ejemplo, en un jig) y molidos selectivamente hasta un tamaño de grano fino en un segundo circuito de molienda.

**15.11 LIXIVIACION DE ORO****Minería del oro****Beneficio  
Beneficio del oro**

Las soluciones lixiviantes con cianuro con contenido aurífero deberán seguir siendo tratadas siempre de inmediato, caso contrario existe el peligro que de las soluciones clarificadas sedimenten coloides (mayormente hidratos de aluminio, de hierro o de manganeso), los cuales impiden la precipitación en la viruta de zinc o en el polvo de zinc. Además de las soluciones lixiviantes ricas en Ca pueden sedimentarse carbonatos de calcio por la absorción de  $\text{CO}_2$  del aire.

La lana de zinc para la precipitación deberá tener un grosor de alrededor de 0.02 mm. Así presenta entre 10 y 20  $\text{m}^2$  de superficie específica por kg y recibe un volumen de alrededor de 10 lt. Como medida óptima se tiene alrededor de 30 lt de esta lana de zinc por cada  $\text{m}^3$  de solución lixiviante/24 hrs. Las soluciones que han pasado la precipitación se hacen caer de grandes alturas a los tanques de almacenamiento para enriquecerlas con oxígeno extraído del aire.

Los tanques de lixiviación cilíndricos altos, por ejemplo las pachucas, se pueden fabricar de anillos superpuestos de hormigón. Para la lixiviación en medio ácido (por ejemplo, con tiourea), éstos pueden ser revestidos sencillamente con resinas artificiales.

La lixiviación es apta sobre todo para minerales con partículas de oro de tamaño de grano fino con grandes superficies específicas. Si se cargan fracciones de oro de grano grueso disminuye la velocidad de lixiviación. Por eso, generalmente estas fracciones se recuperan en un tratamiento gravitacional previamente conectado y se lixivian solo las colas con las fracciones finas.

La velocidad de lixiviación puede ser aumentada mediante la lixiviación a presión. Este proceso está caracterizado por su enorme costo de inversión y no es apto para la Pequeña Minería.

**EXPERIENCIAS EN LA PEQUEÑA MINERÍA:**

En la minería de minerales auríferos de Brasil a pequeña escala se pudo observar una técnica en la que el mineral bruto es mezclado con cemento mediante pala y debido a ésto, aglomerado. Una lixiviación que produce soluciones claras se realiza en pequeños recipientes, (por ejemplo, turriles de diesel). La adsorción de los complejos de cianurooro se realiza en los carbones de nuez Babacus, fabricados localmente, los que a continuación son transformados en cenizas.

En la minería de minerales auríferos a pequeña escala de Colombia y Ecuador están en operación instalaciones de lixiviación a percolación en las cuales se lixivian colas de operaciones de amalgamación y de beneficios gravimétricos. Los flujos de pulpa se hacen caer en diques de sedimentación donde se deslaman las arenas. El material sedimentado es luego lo suficientemente permeable y da soluciones claras. Los tanques de lixiviación amurallados tienen una capacidad de 20 - 100 t y se los ubica por encima de los diques de precipitación, en los cuales se precipita el oro sobre las virutas de zinc. A continuación se precipita la solución en el tanque de almacenamiento de lixiviación. Una pequeña bomba accionada con motor a bencina bombea una vez por día la solución lixivante en el tanque de lixiviación. Las inversiones para una instalación de esta clase son mínimas y según los costos de los materiales de construcción y sueldos están por debajo de 5000 DM.

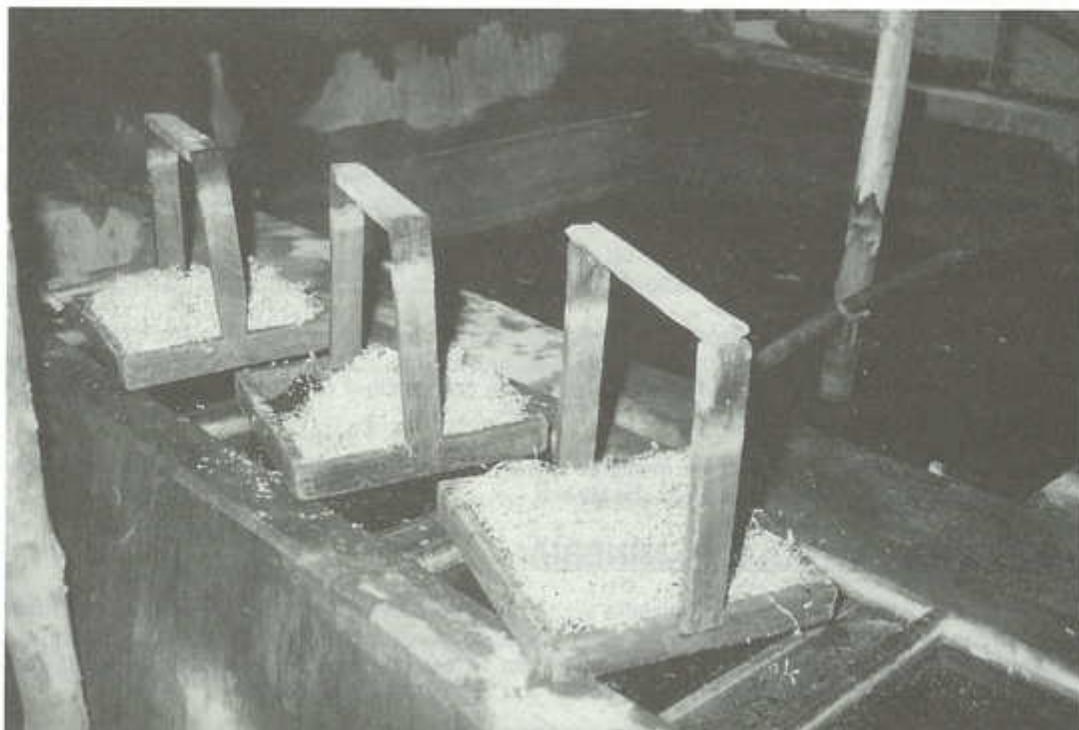
Para la separación electrolítica del oro de la solución de cianuro, ésta es tratada en la minería de Filipinas en celdas fabricadas localmente, las cuales son de celdas de baterías cuyas placas del ánodo son fabricadas de planchas de tamicas de acero fino y cuyos cátodos son de lana de acero. La solución lixivante rica en oro fluye continuamente por estas celdas, bajo una tensión de 12 V y una intensidad de corriente de 60 A. Luego el oro es sacudido de la lana de acero y reunido mientras que la lana de acero es utilizada nuevamente.

**APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:**

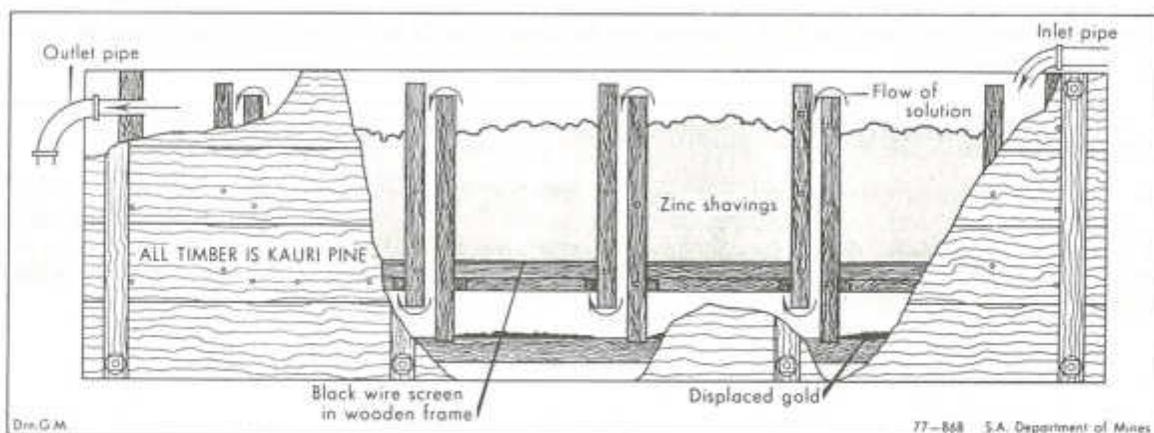
La lixiviación con cianuro se caracteriza sobre todo para el beneficio de minerales con fracciones de oro finas por su recuperación muy alta. La dependencia de grandes cantidades de reactivos, en parte tóxicos, y el difícil control del proceso son problemáticos para la Pequeña Minería. En operaciones medianamente grandes, en las cuales se dispone de Know-how especial del ramo, la lixiviación del oro es una alternativa económica y puede, entre otros, sustituir a la amalgamación con sus efectos negativos sobre el medio ambiente.

## 15.11 LIXIVIACION DE ORO

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Instalación de precipitación para la precipitación de oro en viruta de zinc con cajones para tamizado extraídos sin mallas y virutas de zinc sobrepuestas, de una lixiviación sencilla a percolación. La solución lixiviante con contenido de oro fluye a través de las cuatro cubas de precipitación instaladas una detrás de otra. Al fondo, el recipiente de almacenamiento para la solución.  
Mina Los Guavos, Nariño, Colombia.



Dib.: Instalación de madera para la precipitación de zinc, Fuente: Armstrong

## 15.12 SEPARACION DEL ORO POR FUNDICION

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Español:	separación del oro por fundición
Inglés:	separation by smelting
Aleman:	Schmelztrennung von Gold

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	Horno aprox. 1 x 1 x 1 m
Tipo de energía motriz:	calentamiento térmico hasta aprox. 1.200° C
Clase de energía motriz:	quemador a gas, aceite, carbón, madera u horno eléctrico
Forma de trabajo:	intermitente
Grado de rendimiento técnico:	muy alta recuperación
Material:	diversos medios fundentes, medios para cubrir y colectores de metales preciosos (los últimos solo en el empleo del fire assay (Dokimasia))

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	crisol de chamota, crisol de grafito, crisol de cerámica oxidada, tenaza para el crisol, cuchara para remover, mortero, crisol de hierro y equipo para calentamiento (horno de crisol) 2.000° C, alrededor de 5000 DM de producción en Latinoamérica
Costos de operación:	costos de energía, costos de personal, costos de reactivos, costos del crisol (20 - máximo 35 fundidas por crisol)
Costos derivados:	eventualmente, costos de prensas para la fabricación de crisoles y de copelas

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos	----- ■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	----- ■-----	altos
Exigencias al personal:	es necesaria mucha experiencia, sobre todo para separaciones cuantitativas en el análisis (fire assay).		
Recuperación:	la recuperación puede ser casi del 100 % usando colectores de metales preciosos como técnica del beneficio, otros procesos de recuperación de oro puro de preconcentrados, por ejemplo, escogido a mano. Como técnica de análisis, el fire assay es el análisis para oro más simple, más rápido y sobre todo el más exacto.		
Aparato que puede reemplazar:	mundialmente, en el análisis del oro; como proceso de beneficio, raramente.		
Divulgación regional:	mundialmente, en el análisis del oro; como proceso de beneficio, raramente.		
Experiencia del operador:	muy buena	----- ■-----	mala
Contaminación ambiental:	baja	----- ■-----	muy alta
	Por medio del proceso se liberan gases de componentes volátiles eventualmente tóxicos; en función de la fuente de energía, problemas de gases de escape.		
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- ■-----	mala
Bajo qué condiciones:	los hornos no pueden ser fabricados localmente por talleres ajenos al ramo; los crisoles y las copelas se pueden fabricar localmente		
Tiempo de vida:	muy largo	----- ■-----	muy corto
	sobre todo para crisoles y copelas: corto tiempo de vida		

Literatura, Fuente: Chemikerausschuß der GDMB

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Para la separación del oro de los minerales pesados, el preconcentrado rico es calentado en un crisol con bórax y polvo de hornear o cloruro de amonio (NH<sub>4</sub>CL) hasta 1.200° C. De esta manera se funden los minerales óxidos como ser limonita, ilmenita, etc. En el sistema sólido-líquido se concentra el oro líquido al fondo del crisol debajo de las escorias. El punto de fusión del oro es de 1.063° C.

## 15.12 SEPARACION DEL ORO POR FUNDICION

### Minería del oro

### Beneficio Beneficio del oro

En el "fire assay" el material a separar - por lo general una muestra para determinar el contenido de metal noble - es fundido juntamente con un exceso de plomo y de medios fundentes. Añadiendo medios de oxidación o reducción y formadores de escorias el caldo se separa en un régulo de plomo y una escoria ampliamente libre de metales nobles. Luego el régulo es separado y seguidamente tratado mediante el así llamado proceso de copulación. Para ello, se calienta el régulo en una copela - un crisol de ceniza de huesos - donde el plomo se oxida en el caldo y se volatiliza o bien es absorbido por el material de la copela, sobre todo por el manganeso. Como residuo queda un grano de metal noble de forma redonda casi ideal que permite obtener conclusiones cuantitativas exactas sobre el tenor inicial de la alimentación mediante peso o comparación de tamaño con una escala lineal.

### FORMAS DE USO:

En la Pequeña Minería como técnica de separación por fundición para la producción de metales nobles puros de los concentrados.

El fire assay, como el método más importante de análisis sobre los tenores de oro, no puede ser separado de la minería ni por el pensamiento. Fuera del oro libre, también se puede determinar el oro en piritas.

### OBSERVACIONES:

Esta técnica no se puede emplear para el grupo de metales de platino, debido a que sus puntos de fusión son considerablemente más altos (platino 1.769° C, rodio 1.966° C, paladio 1.550° C, osmio 2.700° C, iridio 2.454° C)

Como método de análisis el fire assay da el contenido de oro total de una muestra o sea, por ejemplo, inclusive los contenidos de oro distribuidos en las redes de piritas. Los contenidos de oro recuperables son determinados con la batea.

El coste propio para análisis con crisoles importados y copelas es de alrededor de 4 - 6 US\$ por muestra, usando crisoles y copelas fabricados localmente es de alrededor de 2 - 3 US\$. Los crisoles pueden ser moldeados de arcilla local y horneados. Sin embargo, necesariamente se debe prestar atención en el uso de arcilla totalmente libre de oro debido a que en la fundición también se funde el material del crisol. Una arcilla con contenido de oro falsifica los resultados del análisis. Las copelas se pueden fabricar igualmente en forma local de mezclas de ceniza de hueso o manganeso con cemento corriente.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

La separación por fundición de concentrados de oro apropiados (antes fundición de la muestra) es un método económico y muy exacto para la obtención de productos comercializables. El fire assay es el método de análisis más importante para contenidos de oro.

Copela de cenizas de huesos

Tamaño	Diámetro superior mm	Capacidad de absorción de plomo gr	Altura mm	Peso gr
1	22	4	11	4
2	24	7	13	7
3	27	10	14	10
4	30	13	15	13
5	33	18	16	18
6	35	24	18	24
7	40	30	19	30
8	50	60	25	60
9	60	100	27	100
10	88	300	33	300

Dib: Copelas, tamaño, capacidad de absorción de plomo y forma, de Frick-Dausch

## 15.12 SEPARACION DEL ORO POR FUNDICION

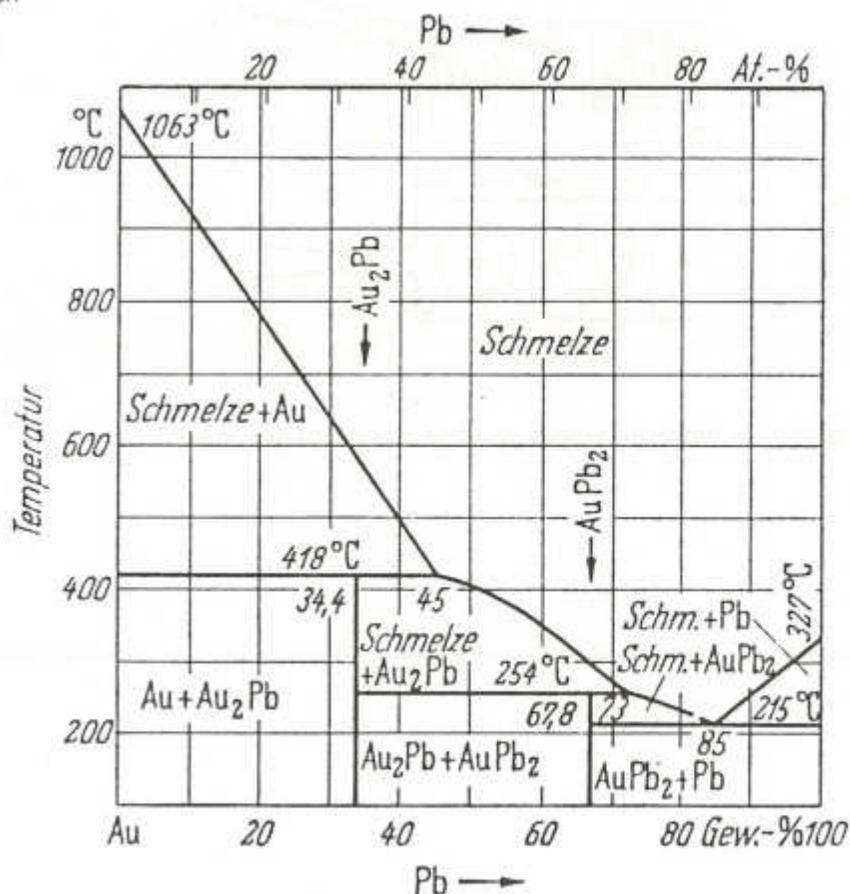
Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Tabla: Los reactivos de ensayo más importantes, de Frick-Dausch

Denominación del material de ensayo	Composición	Funciones y propiedades
Cuarzo	$\text{SiO}_2$	Escorificación, fundente; ácido
Vidrio	$x \text{Na}_2\text{O} \cdot y \text{CaO} \cdot z \text{SiO}_2$	Escorificación, fundente; ácido ( más débil que el cuarzo)
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	Escorificación, fundente; ácido
Vidrio de bórax o bórax fundido	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	Escorificación, fundente; ácido
Sal de fósforo	$\text{Na}(\text{NH}_4)\text{HPO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	Escorificación, fundente, raramente utilizado
Sosa	$\text{Na}_2\text{CO}_3$	Escorificación, fundente, desulfuración, alcalino
Bicarbonato de sodio	$\text{NaHCO}_3$	Escorificación, fundente, desulfuración, alcalino
Potasa	$\text{K}_2\text{CO}_3$	Escorificación, fundente, desulfuración, alcalino
Litargiro	$\text{PbO}$	Escorificación, fundente, desulfuración, oxidante, colector, alcalino
Tartrato de potasio	$\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	Reductor y fundente alcalino
Carbón de madera		Reductor
Harina		Reductor
Cianuro de potasio	$\text{KCN}$	Reductor y fundente neutral. Desulfuración
Hierro	$\text{Fe}$	Reductor, desulfuración, agente alcalino de escorificación
Salitre	$\text{KNO}_3$ ( $\text{NaNO}_3$ )	Oxidante, desulfuración, fundente alcalino
Plomo de ensayo	$\text{Pb}$	Colector
Blanco de plomo	$2 \text{PbCO}_3 \cdot \text{Pb}(\text{OH})_2$	Colector, de vez en cuando también desulfurante, fundente alcalino oxidante
Azúcar de plomo	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	Colector, a veces también desulfurante, fundente alcalino
Sal de cocina	$\text{NaCl}$	Agente protector
Fluorita	$\text{CaF}_2$	Fundente neutral inerte
Criolita	$\text{Na}_3\text{AlF}_6$	Soventes de $\text{Al}_2\text{O}_3$
Carbonato amónico	$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	Desulfurante, volatilizante

Los nombres comunes antiguos se mantienen

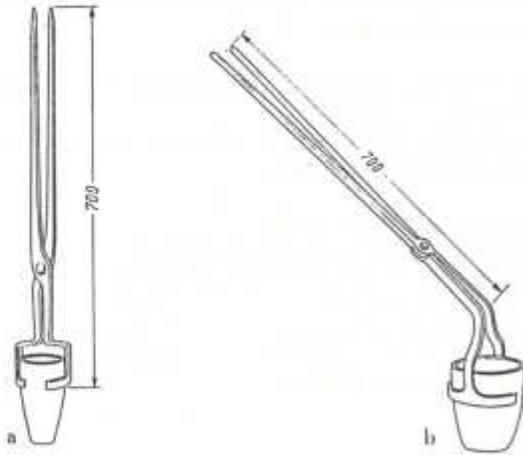


Dib.: Diagrama de constitución oro-plomo, de Frick-Dausch

# 15.12 SEPARACION DEL ORO POR FUNDICION

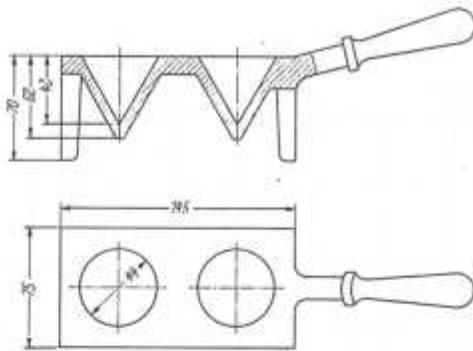
Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro



a) forma recta; b) forma doblada

Dib.: Tenaza para el crisol, de Frick-Dausch



Dib.: Molde para vaciar para "fire assay", de Frick-Dausch

H	h <sub>c</sub>	D
30	1.48	
29	1.27	
28	1.08	
27	0.89	
26	0.71	
25	0.54	
24	0.37	
23	0.22	
22	0.06	
21	0.02	
20	0.01	
19	0.01	
18	0.01	
17	0.01	
16	0.01	
15	0.01	
14	0.01	
13	0.01	
12	0.01	
11	0.01	
10	0.01	
9	0.01	
8	0.01	
7	0.01	
6	0.01	
5	0.01	
4	0.01	
3	0.01	
2	0.01	
1	0.01	
0		

Dib.: Escala para la determinación de contenidos de oro en el "fire assay", de Frick-Dausch.

## 15.13 AGLOMERACION ORO-CARBON

### Minería del oro

### Beneficio Beneficio del oro

Inglés: gold-coal-agglomeration, coal-gold-agglomeration, CGA  
Aleman: Gold-coal-agglomeration

#### **DATOS TECNICOS:**

Grado de mecanización: totalmente mecanizado  
Potencia motriz: para la agitación y bombeo, varios KW  
Tipo de energía motriz: eléctrica para el mezclado, agitación  
Producción/Rendimiento: desconocido, debido a que hasta ahora no está en uso a gran escala técnica. La firma British Petrol trabaja con una planta piloto de 1 t/h (vease House), 30 min de tiempo de contacto condujeron a resultados óptimos  
Grado de rendimiento técnico: carga posible de los aglomerados en instalaciones técnicas grandes entre 1.000 y 5.000 g/t  
Material: aceite, carbón activado

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: desconocidos  
Costos de operación: altos costos de reactivos, cuidadosas apreciaciones de costos dan como resultado que los costos de operación de CGA (Coal-Gold-Aglomeration) son más bajos que los correspondientes a la lixiviación  
Costos derivados: costos de la molienda y dique de sedimentación, espesador o dique de lamas para el tratamiento de las colas

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Tamaño de grano de la alimentación: se aglomeran granos con tamaños de 0.2 - 200  $\mu\text{m}$

Propiedades específicas de la alimentación:

oro, ámbar, telurios de oro, también para minerales con tenores de alimentación menores a 1 g Au/t

Recuperación:

en plantas piloto notoriamente sobre 90 %

Aparato que puede reemplazar:

técnica que sirve para la producción de un concentrado fundible de oro y debe reemplazar la amalgamación, lixiviación y otras técnicas

Divulgación regional:

hasta la fecha no se emplea a gran escala, existe una planta piloto en Australia

Experiencia del operador:

todavía no están a disposición

Contaminación ambiental:

baja  muy alta  
alta contaminación por producción de lamas, contaminación por emisión y consumo de reactivos, los cuales son necesarios para procesos muy intensivos en energía y contaminantes del medio ambiente, por ejemplo, producción de carbón activado. En caso de buenos resultados en la sustitución de la amalgamación, se tendrán influencias positivas.

Literatura, Fuente: F 530793, USA 4, 597, 791, House

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En la aglomeración de Oro-Carbón de la firma British Petrol la pulpa fina rica en oro es puesta en suspensión de aceite juntamente con carbón activado. Así se aprovecha la hidrofobia del oro. El oro se aglomera a las partículas de carbón activado embebidas en aceite. Luego de la agitación de la mezcla pulporeactivos el aglomerado oro-aceite-carbón activado es separado mecánicamente.

## 15.13 AGLOMERACION ORO-CARBON

Minería del oro

Beneficio  
Beneficio del oro

Desarrollo de proceso:



### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Debido a la escasez de datos de operación aún no se puede apreciar la aptitud de su empleo.

## Capítulo técnico 16: Otras técnicas de concentración y separación

### 16.1 HORNO DE CALCINACION

Minería metálica

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación

Aleman: Abröstofen

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	Sartén del horno aprox. 2.1 x 1 x 0.1 m largo, ancho, alto
Peso:	aprox. 50 kg
Tipo de energía motriz:	térmica, de calor generado por combustión
Material:	Combustibles: aceite, carbón, gas, o madera, eventualmente NaCl para calcinación clorizante.

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	en producción local < 200 DM
Costos de operación:	altos costos de energía o sea de combustibles
Costos derivados:	limpieza de gases de escape

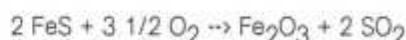
#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos  altos
Gastos de mantenimiento:	bajos  altos
Exigencias al lugar:	Los combustibles deben estar a disposición en grandes cantidades o bien transportados al lugar de operación
Propiedades específicas de la alimentación:	las cargas de alimentación pueden tener contenido de sulfuros, pero de ninguna manera deben ser minerales con contenidos de arsénico, selenio o mercurio.
Recuperación:	con un tiempo de permanencia suficiente, la carga es oxidada cuantitativamente
Divulgación regional:	Bolivia
Experiencia del operador:	muy buena  mala
Contaminación ambiental:	baja  muy alta
	durante la calcinación de minerales sulfurosos se libera dióxido de azufre en grandes cantidades. Además existe el gran peligro de la liberación de metales volátiles y altamente tóxicos y semimetales como mercurio, arsénico, selenio y otros en forma elemental o en forma de óxidos
Facilidad de fabricación local:	muy buena  mala
Bajo qué condiciones:	construcción metálica sencilla sobre una base amurallada
Tiempo de vida:	muy largo  muy corto
	Dependiente de la agresividad y de los productos a calcinar

Literatura, Fuente: Ullmann

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La calcinación es un proceso térmico para la minimización de sulfuros mediante la cual los sulfuros y otras combinaciones de sulfuros son oxidadas, por ejemplo:



Esta reacción se lleva a cabo bajo suficiente presión parcial de oxígeno a partir de aprox. 105° C. Sobre una plancha de horno en forma de sartén plano se extienden los productos a calcinar y son calentados por encima de 105° C.

## 16.1 HORNO DE CALCINACION

Minería metálica

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación

---

### **FORMAS DE USO:**

La calcinación tiene aplicación cuando la liberación de sulfuros en los concentrados óxidos es necesaria, por ejemplo, en los concentrados de casiterita y wolframita. Además, se calcinan minerales auríferos con contenido de sulfuro antes de la lixiviación con cianuro.

### **FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Para la limpieza de concentrados auríferos, se calcinan ricos preconcentrados, así la hematita y otros minerales de hierro son desgastados y luego son pulverizados por una molienda corta. Posteriormente, el producto es liberado por medio de corriente de aire o simple sopiado de los polvos de mineral de hierro.

### **OBSERVACIONES:**

Durante el proceso de calcinación se producen grandes cantidades de dióxido de azufre en forma de gas. En caso de que los productos de calcinación también contengan, fuera de sulfuros, combinaciones de arsénico, selenio o mercurio igualmente se producen combinaciones volátiles de estos elementos. Todos estos gases o vapores son altamente tóxicos. Por eso, no se aconseja la operación de pequeñas instalaciones de calcinación sin limpieza de los gases.

Para tareas especiales, por ejemplo, para obtener haluros no salinos muy solubles para la lixiviación o para evitar minerales altamente fundibles se puede calcinar cloridizadamente agregando sal de cocina.

---

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Los hornos de calcinación se deben utilizar solamente en casos especiales debido a la alta contaminación ambiental.

## 16.2 SALINAS

### Minería de la sal

### Beneficio Técnicas especiales de separación

Aleman: Salzgärten, Salinen

#### **DATOS TECNICOS:**

Condiciones de superficie de ocurrencia:  
superficie de cristalización: dependiente de las oscilaciones climáticas; relación evaporación : superficie de cristalización = 1 : 7

Medidas: lagunas de ocurrencia: aprox. 1 m profundidad; cuenca grande con piso; laguna de evaporación: aprox. 20 cm de profundidad; laguna de cristalización: aprox. 20 cm de profundidad, espesor de la capa de la salmuera en las lagunas de cristalización es en parte hasta de pocos mm

Potencia motriz: energía de radiación cambiante según la estación del año entre aprox. 5.000 y 30.000 KJ/ha/año

Tipo de energía motriz: aprovechamiento directo de la radiación solar

Producción/Rendimiento: evaporación: aprox. 0.2 - 0.5 (1.5) cm/d, aprox. 100 - 300 t/ha/año

Grado de rendimiento técnico: aprox. 43 m<sup>3</sup>/t precipitada NaCl

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de operación: principalmente costos de personal, costos de bombeo

Costos derivados: eventualmente instalaciones de limpieza posterior, rastrillo y palas para la cosecha de sal; eventualmente tractores, cargadores de cuchara, etc.

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos altos

Gastos de mantenimiento: bajos altos

Exigencias al lugar: los lugares deberán caracterizarse por largos periodos de luz solar y baja humedad del aire (alta evaporación potencial)

Propiedades específicas de la alimentación: agua de mar o agua, o bien solución alcalina de lagos salinos con contenidos de agua de mar: NaCl 2.723 %; MgCl 0.334 %; MgSO<sub>4</sub> 0.225 %; CaSO<sub>4</sub> 0.120 %; KCl 0.076 %; NaBr 0.010 %; CaCO<sub>3</sub> 0.011 %; H<sub>2</sub>O 96.495 %

Divulgación regional: técnica divulgada mundialmente. Alrededor de 30 % de la producción mundial de NaCl se recupera mediante la evaporación y cristalización del agua de mar.

Experiencia del operador: muy buena mala

Contaminación ambiental: baja muy alta  
necesidad de espacio, eventualmente destrucción de costas de mar

Facilidad de fabricación local: muy buena mala

Bajo qué condiciones: movimientos de tierra sencillos pero de muy grande superficie, eventualmente son necesarias maquinarias de construcción

Tiempo de vida: muy largo muy corto

Literatura, Fuente: Ullmann, Müller

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En la explotación de sal en las salinas se recupera el agua de mar o la legía de sal de los lagos de sal mediante la evaporación del agua (secuencia de separación, ver abajo). Las lagunas de cristalización son tratadas de tal manera que los carbonatos y el yeso se precipitan del NaCl por separado, desarrollándose los siguientes pasos de trabajo:

## 16.2 SALINAS

### Minería de la sal

### Beneficio Técnicas especiales de separación

1. Bombeo del agua de mar a la primera laguna de evaporación.
2. Concentración del agua salada en estas lagunas hasta una densidad de alrededor 6.5° Bé (escala Baumé: 6.5 porcentaje de masa de solución de sal).
3. Traslado de esta agua salada preconcentrada a una segunda zona de evaporación donde la evaporación continúa hasta alrededor de 17° Bé, en esta densidad se precipita la mayor cantidad de yeso.
4. Traslado a una tercera zona de evaporación donde el agua salada alcanza el punto de saturación de NaCl. A 20° C, la densidad correspondiente es de 25.6° Bé.
5. Traslado del agua salada saturada a lagunas de cristalización donde la densidad no debe sobrepasar un valor superior a 29 - 30° Bé. De esta manera se pueden recuperar alrededor de 23 kg NaCl por 1 m<sup>3</sup> de agua de mar, mientras que las sales de manganeso y potasio se quedan en la solución alcalina madre.
6. Separación de la solución alcalina madre de la laguna de cristalización.
7. Cosecha de sal.

### FORMAS DE USO:

Explotación de sal comestible y NaCl para otros usos (por ejemplo, electrólisis) del agua de mar y lagunas de sal. Como subproductos se pueden separar y recuperar combinaciones de bromo y manganeso como también sales de potasa. Las soluciones alcalinas madres, ricas en cloruros, de los lagos de sal son luego evaporadas y para la producción de KCl se flota silvinita en instalaciones de flotación instaladas en serie.

### OBSERVACIONES:

Los microorganismos, plancton, algas y bacterias halófilas tienen importante influencia sobre la evaporación en salinas, éstos aceleran la evaporación mediante su coloración absorbente de radiaciones. El crecimiento de los microorganismos puede ser forzado añadiendo alimentos ricos en nitrógeno o fósforo.

Si la sal está muy sucia por sales de manganeso y yeso, puede ser limpiada mediante lavado. La sal es lavada en una espiral de transporte en contracorriente con una solución saturada de NaCl. De esta manera, el yeso flota y las sales de Mg se disuelven en la solución alcalina. El producto final es deaguado en hidrociclones y por último, centrifugado.

Composición promedio de la sal comestible:

Na Cl:	99.50 % en seco
CaSO <sub>4</sub> :	0.25 %
MgCl <sub>2</sub> :	0.15 %
MgSO <sub>4</sub> :	0.01 %
KCl:	0.02 %
Insolubles:	0.02 %
Humedad residual:	3.00 %

Secuencia de separación en la evaporación de agua de mar a 27° C.

Agua de lago residual	Separación inicial de	
100.00	Calcita	CaCO <sub>3</sub>
32.22	Yeso	CaSO <sub>4</sub>
12.13	Halita	NaCl
2.45	Astracanita	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> x MgSO <sub>4</sub> x 4 H <sub>2</sub> O
2.18	Epsomita	MgSO <sub>4</sub> x 7 H <sub>2</sub> O
1.96	Cainita	MgSO <sub>4</sub> x KCl 3 H <sub>2</sub> O
1.63	Hexadrita	MgSO <sub>4</sub> x 6 H <sub>2</sub> O
1.22	Kiselita	MgSO <sub>4</sub> x H <sub>2</sub> O
1.18	Carnalita	KCl x MgCl x 6 H <sub>2</sub> O
0.93	Bichofita	MgCl x 6 H <sub>2</sub> O

## 16.2 SALINAS

### Minería de la sal

### Beneficio Técnicas especiales de separación

En la producción de sales de potasa se debe prestar atención a que la demanda de abonos de la agricultura está sometida a grandes variaciones según las estaciones del año, esto exige disponer de grandes depósitos techados independientes del clima.

La explotación de cantidades menores de sal de cocina se realiza también mediante el recogido de cristales de sal separados de la roción del agua en la costa del mar, por ejemplo, en las orillas rocosas de la península de Sinaí, Cabo Verde, etc.

Cantidades menores de sal se congelan en climas polares cuando la roción de agua se congela sobre pedazos de hielo y la sal se cristaliza (Rassol). El proceso de congelamiento se utiliza también a gran escala para el enriquecimiento de legías de sal en zonas de clima frío.

Además de la explotación de sales de agua de mar, la explotación de sal de lagos de sal en estepas, desiertos y desiertos altos de Latinoamérica es de gran significado regional. La explotación de las sales en sí se realiza mediante golpes de hacha en panes de aprox. 10 - 15 kg de peso. Para la separación de la sal amarga o sal de escombros cristalizada finalmente en la parte superior, se corta la capa superior de aprox. 3 cm de espesor. El tratamiento posterior se realiza en pequeñas instalaciones de molienda donde la sal es molida en tamaños gruesos y luego molida a los tamaños finales de grano deseados.

Las sales explotadas por métodos mineros a veces son muy sucias, por ejemplo, con sustancias bituminosas u otros minerales como yeso, cuarzo y otros más. Las sales son luego disueltas para su limpieza, eventualmente cocidas y enriquecidas en torres salineras de graduación para la preconcentración, antes que se cristalicen bajo la influencia de la evaporación natural o mediante calentamiento.

En las operaciones salinas las lluvias son un estorbo. Las influencias diluyentes del agua de lluvia se pueden contrarrestar tanto mediante el recubrimiento de las cuencas de cristalización con techos de hormigón o de láminas, o desviación de la salmuera altamente concentrada a fosas profundas cubiertas contra la lluvia, así como mediante la extracción del agua de lluvia, específicamente más liviana, sobre tablillas de rebalse.

En las salinas siempre se trabaja de tal manera que la solución inicial o sea, por ejemplo el agua de mar, es conducida por una bomba a la primera laguna de evaporación que se encuentra en la parte más alta. Desde allí se conduce sin bombas a la salmuera por diques a las etapas de evaporación situadas abajo y a las lagunas de cristalización.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:

Desde el punto de vista del costo de inversión, la explotación de sal en salinas es una técnica típica de la Pequeña Minería, la que con una adecuada selección del lugar permite una gran producción específica de sal con alta calidad de producto.

## 16.2 SALINAS

Minería de la sal

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación



Explotación manual de bloques de sal en un lago de sal. Esta explotación es posible solamente durante el tiempo seco debido a las condiciones climáticas del salar boliviano de Uyuni, ya que la superficie de la sal durante seis meses se encuentra periódicamente bajo agua. Colchani, Potosí, Bolivia

## 16.3 RECUPERACION DE AZUFRE EN CARBONERAS DE FUSION

Minería de rocas  
y suelos

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación

Español:	horno de cámaras
Italiano:	calcarone, calcarelli
Aleman:	Schwefelgewinnung in Schmelzmeilern, Kammeröfen

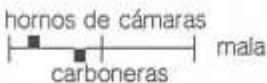
### DATOS TECNICOS:

Medidas:	Ø hasta 30 m, altura hasta 6 m, con piso inclinado (aprox. 15 - 20°)
Peso:	mampostería
Grado de mecanización:	no mecanizado
Tipo de energía motriz:	energía de combustión
Forma de trabajo:	intermitente
Grado de rendimiento técnico:	recuperación 30 - 60 %; en cámaras de horno hasta 78 %
Material:	azufre como combustible

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	en función de las posibilidades de adquisición de materiales de construcción desde aprox. 1000 DM
Costos de operación:	principalmente costos de personal

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	tiene que existir suficiente presión parcial de oxígeno en el aire para la combustión de azufre, por eso hay limitaciones respecto a la altura topográfica.		
Recuperación:	comparativamente mala en las carboneras debido a pérdidas por fuerzas capilares y combustión del azufre.		
Aparato que puede reemplazar:	autoclaves		
Divulgación regional:	Sicilia		
Experiencia del operador:	muy buena	 hornos de cámaras carboneras	mala
	Debido al bajo grado de fusión		
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
	Debido a la liberación de H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> (ácido sulfuroso)		
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	trabajos de mampostería		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Ullmann, Libro de Inventos, 8ava. Edición, Tomo IV

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

La recuperación de azufre por fusión se realiza de manera sencilla mediante el amontonamiento de mineral en forma de carbonera en la que el azufre depositado abiertamente contra una muralla con un orificio de evacuación es en parte quemado y en parte fundido. Debido a la reacción de combustión a dióxido de azufre las pérdidas de azufre son hasta sobre 60 %. Para la recuperación de azufre en **carboneras de fusión** la carga se arroja en forma de pequeños trozos a una construcción redonda de mampostería de 10 - 30 m de Ø y hasta 7 m de altura. Este montón es cubierto con material fundido, yeso y

## 16.3 RECUPERACION DE AZUFRE EN CARBONERAS DE FUSION

Minería de rocas  
y suelos

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación

arcilla. Por la combustión en el lado superior de la parte opuesta al orificio de evacuación, en lo más profundo de la carbonera, se produce calor para la fusión del azufre. La combustión es controlada por orificios de ventilación y orificios en la tapa. El proceso de fusión de una carbonera dura alrededor de tres semanas. El azufre extraído en el extremo inferior se cristaliza en recipientes planos o moldes de madera humedecidos como los que se describen en los autoclaves.

En los **hornos de cámara** se logra un resultado mejorado de fusión, en los cuales se producen gases calientes en una cámara debido a la combustión de restos ya fundidos con contenidos de azufre residuales que son conducidos por un canal a una segunda cámara donde se funde el azufre del mineral bruto fresco. Un tipo de construcción de varias cámaras permite evitar el transbordo del mineral debido a que el mineral fundido en el segundo paso del proceso se quema y de esta manera la cámara, de fusión se convierte en cámara de combustión.

### **FORMAS DE USO:**

Para la extracción de azufre de minerales brutos de yacimientos de azufre elemental volcánicos o sedimentarios.

### **OBSERVACIONES:**

Para la producción de gases calientes en la fusión del azufre por combustión es necesaria una alta presión parcial de oxígeno. En las alturas de Los Andes, en las cuales existen y se explotan muchos yacimientos de azufre volcánico hasta una altura de 6.000 msnm, la presión del aire no alcanza para la combustión del azufre. Por eso, allí se trabaja con técnicas de autoclaves con fusión mediante vapor de agua.

Los hornos de cámaras pueden tratar también alimentaciones de < 15 % S y frecuentemente se utilizan para el tratamiento posterior de residuos de las instalaciones de autoclaves.

Debido a que no se necesitan combustibles externos y a la técnica no mecanizada sin altos costos de inversión, la fusión en hornos de cámaras es bastante económica.

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Debido a la alta contaminación ambiental, la recuperación de azufre en carboneras de fusión se puede emplear en forma práctica solo en los casos donde no es posible el acceso a otros materiales combustibles. En lugares altos extensos la presión parcial de oxígeno no alcanza para la combustión de manera que bajo estas condiciones no se pueden utilizar el horno de cámaras ni la carbonera de fusión.

## 16.4 AUTOCLAVE PARA LA RECUPERACION DE AZUFRE

Minería de rocas  
y suelos

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación

Español: recuperación de azufre en autoclaves  
Aleman: Autoklaven zur Schwefelgewinnung

### DATOS TECNICOS:

Medidas: calderas cilíndricas, recostadas, levemente inclinadas de alrededor de 1 m Ø, 4.75 m de largo o calderas cilíndricas verticales de dimensiones parecidas

Tipo de energía motriz: térmica a combustión por vapor de agua

Posibilidades alternativas: precalentamiento del agua con colectores planos o colectores concentradores

Grado de rendimiento técnico: según la ley de alimentación del mineral y capacidad de absorción de la roca acompañante

Material: Cuál: agua material combustible, por ejemplo, en Bolivia yareta (lat. azorella compacta)

Cantidad: aprox. 5 m<sup>3</sup>/t S

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de operación: muy altos costos de combustible

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al lugar: en el lugar de operación se debe disponer de suficiente cantidad de combustible, o bien posibilidades de transporte para grandes cantidades de combustible.

Tamaño de grano de la alimentación: el mineral es cargado en forma de trozos. Debido a la mala conductividad calorífica del azufre se deberán evitar trozos de tamaños mayores a 20 cm.

Propiedades específicas de la alimentación: las leyes de la alimentación deberán ser las más altas posibles, lo que se puede alcanzar tanto mediante una explotación selectiva, escogido de estéril como por una flotación conectada anteriormente

Recuperación: al contrario de la recuperación de azufre por carboneras de fusión u horno de cámara, la recuperación por autoclave es ampliamente independiente de la altura del lugar de operación. En Bolivia, trabajan autoclaves hasta en alturas mayores a 4.500 msnm

Aparato que puede reemplazar: hornos carboneros, hornos de cámaras

Divulgación regional: en la Pequeña Minería en Latinoamérica sobre todo en las zonas cordilleranas

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta  
Debido al apilamiento de residuos, a los gases de escape del horno de producción de vapor y a la destrucción de la vegetación en el uso de combustibles biogénicos.

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: empresas locales de construcción

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Ullmann

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Para la fusión del azufre en autoclaves el material de alimentación en trozos es cargado en forma de capas en calderos cilíndricos parados o recostados. Este caldero, luego de ser llenado, es cerrado herméticamente y cargado de vapor caliente

## 16.4 AUTOCLAVE PARA LA RECUPERACION DE AZUFRE

Minería de rocas y suelos

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación

a 4 - 5 bar. El vapor transfiere su energía calorífica al mineral, por el cual el azufre empieza a fundirse a una temperatura mayor a 114° C. El vapor caliente tiene que fluir a través del material cargado, pues el azufre, por un lado es un mal conductor calorífico, por otro lado, por encima de 158° C se produce un fuerte salto en la viscosidad dinámica del caldo - éste se vuelve espeso. El azufre fundido corre hacia abajo y de vez en cuando es extraído a través de purgaciones por el piso. Fluye en grandes recipientes planos donde el azufre fundido de color marrón oscuro, debido a la cristalización durante el enfriamiento, se vuelve duro y amarillo. Esta masa de azufre con un espesor de 30 - 50 cm es cortada mediante una barreta y transportada en grandes bloques. El material de alimentación fundido, luego de aliviar la presión de fusión es extraído de los autoclaves y almacenado. Para un transporte más sencillo de material, el material de alimentación es transportado en pequeños carros y fundido en la cámara de fusión de los autoclaves recostados. Este material, según las propiedades del material de alimentación tiene todavía contenidos de azufre dignos de tomarse en cuenta que no pudieron ser derramados o permanecieron capilarmente ligados. La recuperación en esta clase de instalaciones técnicas se encuentra entre 47 y 55 %.

### FORMAS DE USO:

Recuperación de azufre de alimentaciones de mineral bruto con leyes en lo posible > 25 %. En caso que las leyes del mineral bruto sean menores se puede producir un preconcentrado mediante flotación conectada previamente, el cual luego de una filtración puede ser fundido.

### OBSERVACIONES:

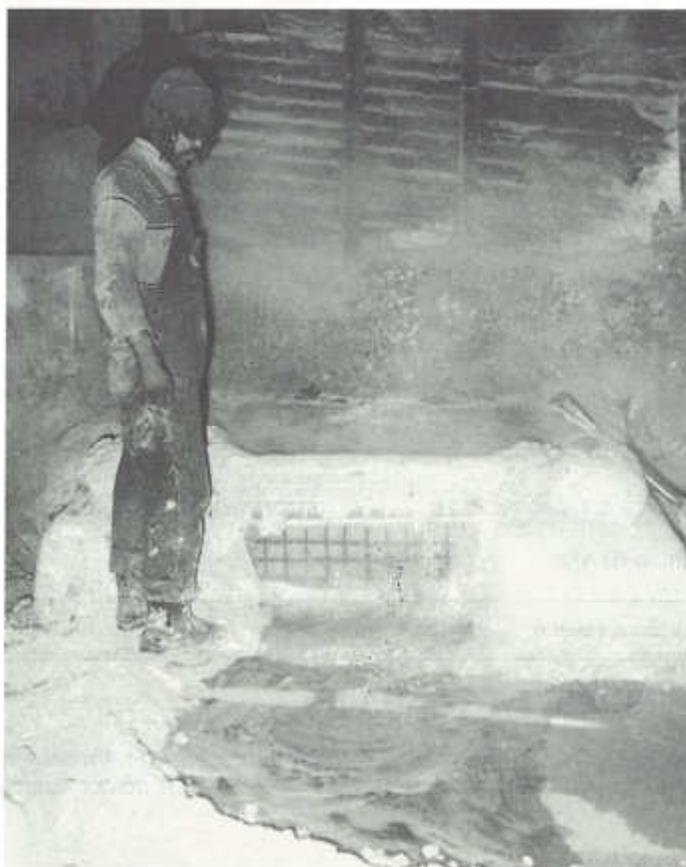
Los costos de energía para la producción de vapor son extremadamente altos. En La Pequeña Minería en la cordillera occidental de Bolivia se utiliza yareta, una planta rica en resina. De todas maneras, se debería estudiar si utilizando energía solar de colectores se pudiera precalentar el agua hasta poco menos de su punto de ebullición para ahorrar material combustible.

Alternativamente, se puede conducir el azufre fundido por cajones de madera, humedecidos con agua, con paredes inclinadas y luego obtener trozos fundidos uniformes.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Los autoclaves son aptos también para la recuperación de azufre de alimentaciones de minerales ricos en grandes alturas donde, sin embargo, la intensidad de energía puede ocasionar problemas logísticos, económicos y ecológicos.

Escurrimiento de azufre fundido en un recipiente de cristalización después de la finalización de un proceso de fusión en un autoclave. Altura 4.000 msnm en el Salar de Empexa, Zona fronteriza boliviano-chilena



## 16.5 FABRICA DE SULFATO DE COBRE Minería metálica

### Beneficio Técnicas especiales de separación

Aleman: Kupfersulfatfabrik

#### **DATOS TECNICOS:**

Grado de mecanización: no mecanizado/parcialmente mecanizado  
Material:  $H_2SO_4$ , eventualmente material combustible

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	■ -----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	----- ■	altos
Aparato que puede reemplazar:	la producción de concentrados de cobre sulfurados		
Divulgación regional:	Bolivia		
Experiencia del operador:	muy buena	----- ■	mala
Contaminación ambiental:	baja	----- ■	muy alta
	Baja contaminación por residuos de ácidos. En las montañas en caso de secado en horno, alta contaminación debido a la destrucción de la vegetación y/o gases de escape		
Facilidad de fabricación local:	muy buena	----- ■	mala
Bajo qué condiciones:	trabajos de mampostería: tanques, diques para secado, diques para cristalización		
Tiempo de vida:	muy largo	----- ■	muy corto

Literatura, Fuente: Mina Azurita/Bolivia

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Para la producción de sulfato de cobre se deja fluir a través del material de alimentación ácido sulfúrico diluido en grandes diques de reacción y se deja reaccionar por aprox. 2 semanas. La solución de sulfato de cobre producida se concentra ya sea por la evaporación del agua debida al calor solar o mediante calotas de secado de recipientes de plomo sobre el fuego. Cuando la solución alcanza el punto de saturación es bombeada a tanques de cristalización. Aquí se forman cristales de sulfato de cobre tanto en los costados y en el suelo de los diques como también en las espirales colgadas de alambre de hierro.

#### **FORMAS DE USO:**

La producción de sulfato de cobre de minerales brutos de restos de escombros, de coias de tratamientos es propicia para alimentaciones porosas, ricas en minerales de cobre erosionados, ricas en sulfuros o sulfatos y pobres en hierro. Durante la lixiviación los sulfuros se transforman mediante la oxidación parcialmente favorecida biocatalíticamente a través de  $H_2SO_3$  en  $H_2SO_4$ .

#### **OBSERVACIONES:**

En la zona alta de Bolivia, pobre en vegetación, se visitó una fábrica de sulfato de cobre para la preparación de material de escombros, la cual a pesar de los altos costos de energía y transporte en el lugar, trabajaba rentablemente con un personal de 3 hombres.

#### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Técnica apropiada para el tratamiento de minerales pobres en óxidos y sulfurados de cobre con costos de inversión relativamente bajos.

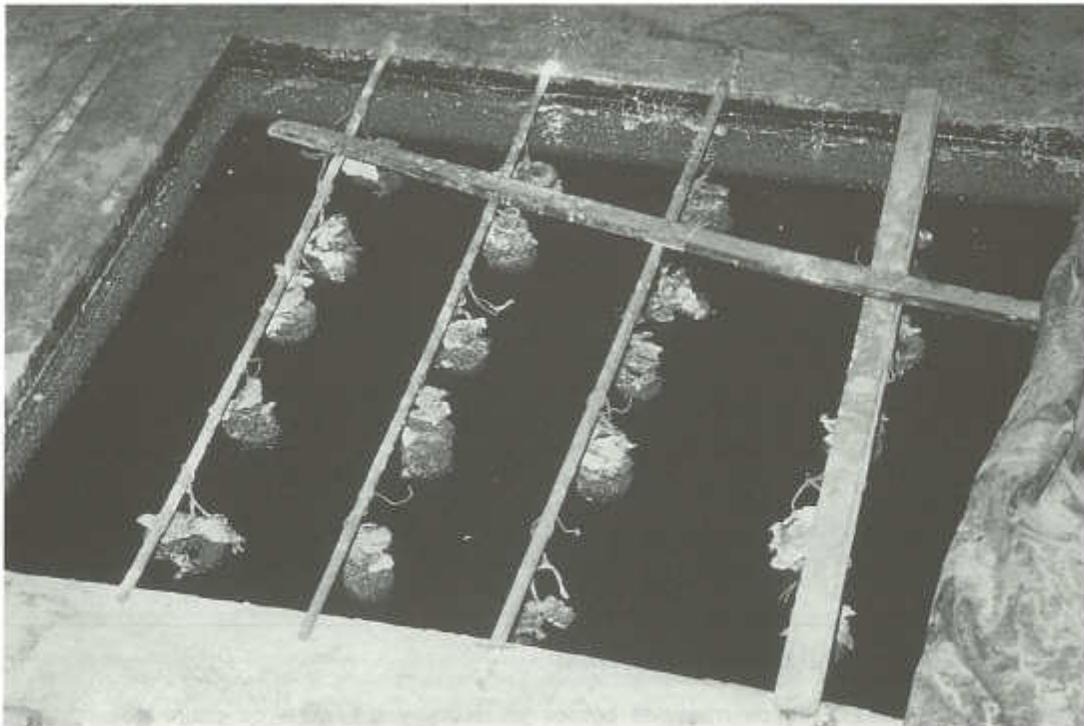
## 16.5 FABRICA DE SULFATO DE COBRE

Minería metálica

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación



Dique de reacción para la solución de cobre de una fábrica de sulfato de cobre. Mina Azurita, Oruro, Bolivia



Dique de cristalización para la separación de cristales de sulfato de cobre en la pared del dique y en resortes de espiral colgados. Mina Azurita, Oruro, Bolivia

## 16.6 CONCENTRACION ELECTROSTATICA

Minería metálica,  
de piedras pre-  
ciosas, del oro,  
de la sal

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación

Aleman: Elektrostatische Sortierung

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	1 - 3 m altura
Peso:	maquinarias grandes, varios miles de kg
Potencia motriz:	rendimiento de separación eléctrica; los voltajes están en el rango entre 5 - 90 KV, en intensidades de campo de 3 - 9 kV/cm algunos cientos de W + accionamiento de rodillos
Tipo de energía motriz:	eléctrica
Possibilidades alternativas:	ninguna
Producción/Rendimiento:	hasta 5 t/h, en potasa hasta 25 t/h
Grado de rendimiento técnico:	comparativamente bajos resultados de separación en una etapa de proceso, por eso, en la separación electrostática se trabaja siempre en varias etapas
Material:	sustancias de actividad superficial tensoactiva o de adsorción química, tensoactivo; para la separación selectiva, diferentes aislantes

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos derivados: secado, preparación, acondicionamiento

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Exigencias al personal:	el trato con muy altos voltajes exige mantener medidas de seguridad por parte del personal		
Tamaño de grano de la alimentación:	mín. 150 µm, separación extremadamente deficiente en altos porcentajes < 40 µm debido a la adhesión de polvo sobre partes más grandes, adhesión sobre los electrodos, etc.; tamaño de grano máx. alrededor de 2 - 6 mm		
Propiedades específicas de la alimentación:	como arriba se mencionó, la alimentación tiene que estar desempolvada, además es necesaria una clasificación estrecha debido a que la separación electrostática tiene fuertes propiedades de clasificación. Esto se debe a las fuerzas gravitacionales comparativamente grandes.		
Aparato que puede reemplazar:	se emplea como un proceso económico de concentración en la minería de potasa, de diamantes y metálica		
Divulgación regional:	mundialmente, sin embargo ha encontrado una aceptación solo muy limitada en la técnica de beneficio de la Pequeña Minería		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	buenos talleres expertos en la técnica de alta tensión y que puedan tratar diversos materiales. Eventualmente, que sean capaces de construir separadores ESTA.		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Schubert, EP 0231441, DE 3035589 C2, DP 2134298, Singewald, Bock, DP 2614146, DP 2125286, DP 2213370, DP 3146295, DP 3216735, DP 2609048, DP 3233780, DP 3233528, DP 3603165, y 166, DP 3825434

## 16.6 CONCENTRACION ELECTROSTATICA

Minería metálica,  
de piedras pre-  
ciosas, del oro,  
de la sal

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

En la separación electrostática se aprovecha la diferencia en la conductibilidad de los componentes de la alimentación para la concentración. La alimentación, que es tratada mediante un pretratamiento o acondicionamiento con reactivos influyentes en la superficie, es puesta en un campo eléctrico que, según el modelo del separador, tiene diferentes efectos sobre el grano del mineral:

- En el **separador a cilindros** el material es vertido sobre un electrodo en forma de cilindro y se lo hace pasar delante de un contraelectrodo. Las partículas no conductoras no son cargadas por el contraelectrodo sino solamente polarizadas, de donde resultan pequeñas fuerzas de adhesión en el electrodo cilíndrico. Las partículas conductoras entregan cargas al electrodo cilíndrico, luego son cargadas y rechazadas por el electrodo cilíndrico y atraídas por el contraelectrodo. Lengüetas de separación dividen la corriente del material concentrado en un producto de partículas conductoras y en otro de no conductoras.
- En el **separador a cámaras** la alimentación tiene que ser previamente cargada triboeléctricamente. Las partículas cargadas electrostáticamente caen por una ranura de un campo de condensador entre dos electrodos en forma de placas y son desviadas por el campo eléctrico.
- En el **separador de rodillos - Korona** la alimentación es cargada mediante un electrodo en forma de corona. Mediante la rotación del cilindro fuera del campo de influencia de la descarga de la corona, el material conductor movido se descarga inmediatamente y es desplazado hacia afuera del cilindro por la fuerza centrífuga de éste y la gravitación. En cambio, el material no conductor queda pegado al cilindro y cae posteriormente.

Los parámetros importantes para la separación en separadores electrostáticos son las resistencias interna y superficial, la constante eléctrica, etc. así como la humedad y la distribución del tamaño de grano. La alimentación debe ser primeramente preparada antes de la separación, especialmente para la separación de materiales no conductores según las propiedades, por ejemplo, mediante:

- tratamiento térmico previo para secado o bien para el cambio de las propiedades de las superficies de las partículas de mineral,
- carga triboeléctrica, por ejemplo, en instalaciones de tamizado vibratorio, tambores rotatorios y en aparatos de lecho fluidizado
- el acondicionamiento con tensoactivos en la superficie los cuales influyen en la conductibilidad de la superficie de los minerales y sus envolturas hidratadas.

### FORMAS DE USO:

- Para la separación de preconcentrados de minerales pesados, por ejemplo, zircón, monacita, rutilo, columbita, tantalita, scheelita, casiterita
- para la separación de cuarzo de concentrados de hematita, preconcentrados de oro
- concentración de materias primas fosfatadas
- producción de preconcentrados en la recuperación de diamantes
- beneficio de sales potásicas, por ejemplo, con silvinita, carnalita, kieserita

### OBSERVACIONES:

Especialmente, para la separación electrostática de sales brutas de potasa se han probado y patentado muchos reactivos para el acondicionamiento, los cuales permiten una separación selectiva de las mezclas de sales potásicas, por ejemplo, ácido carboxílico aromático como O - ácido cresotínico, ácido ftálico, ácido cinámico, ácido atrópico, ácido vanílico, ácido salicílico, ácido benzoico, ácidos grasos con 6 - 15 átomos de C por ejemplo, ácido hidroxifenilbutírico, etc., que se añaden en cantidades de 50 - 200 g/t, por ejemplo, apoyados por medios de ayuda de acondicionamiento como gas de HCl, NH<sub>3</sub>, ácido acético, ácido silícico, etc. Por ejemplo, estos reactivos son evaporados sobre las superficies donde las diferentes temperaturas juegan un gran papel. Se debe prevenir a las operaciones de la Pequeña Minería de adoptar esta técnica tan ambiciosa en el sentido del control técnico. Todos los otros grupos de materiales arriba nombrados se pueden concentrar electrostáticamente en operaciones pequeñas.

La humedad del aire y del material ejercen mucha influencia sobre la separación en el campo eléctrico. Incluso películas de humedad en el campo molecular de la densidad pueden influir negativamente sobre la conductibilidad superficial de la alimentación. Por eso, la humedad relativa del aire para procesos de concentración se encuentra entre aproximadamente 2 y 25 %.

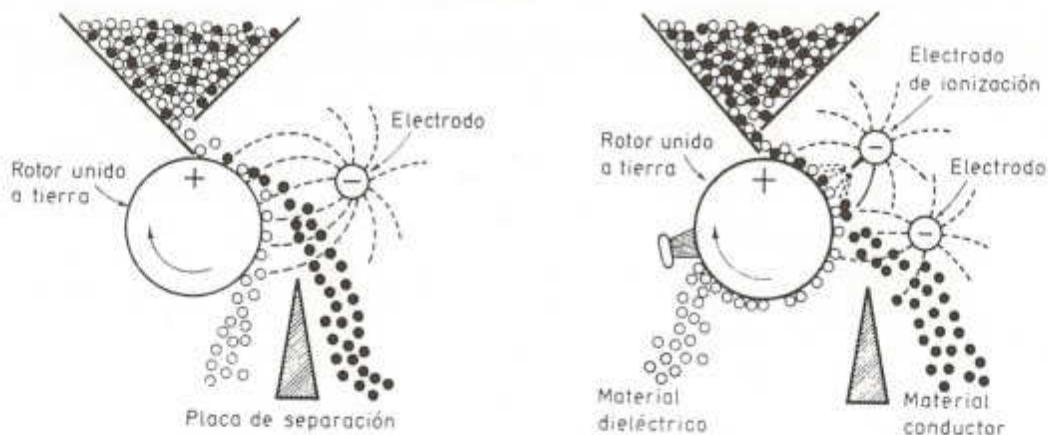
## 16.6 CONCENTRACION ELECTROSTATICA

Minería metálica,  
de piedras pre-  
ciosas, del oro,  
de la sal

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

La separación electrostática es de uso económico en la minería metálica, en la relimpieza de concentrados y en la recuperación de subproductos, la que también es de interés para la Pequeña Minería. La separación electrostática de sal para la producción de concentrados de sales potásicas parece ser apta para la Pequeña Minería solo cuando la alimentación tiene una composición mineralógica sencilla. Sin embargo, este no es el caso en la mayoría de los yacimientos de operaciones pequeñas. La difícil posibilidad de construcción propia obliga generalmente a una importación del equipo.



Dib.: Principio de la concentración electrostática, de Otero

## 16.6 CONCENTRACION ELECTROSTATICA

Minería metálica,  
de piedras pre-  
ciosas, del oro,  
de la sal

Beneficio  
Técnicas especiales  
de separación

Tabla: Comportamiento de minerales en campo eléctrico de alta tensión

Minerales que son atraídos por el rotor	Minerales que son repelidos por el rotor
Barita	Casiterita
Berilio	Cromita
Calcita	Galenita
Cuarzo	Oro
Diamante	Magnetita
Feldespató	Grafito
Monacita	Hematita
Scheelita	Ilmenita
Sillimanita	Pirita
Circón	Rutilo
	Wolframita

## 16.7 FLOTACION

Minería en general

(oro, minerales, carbón,  
rocas y suelos)

Beneficio  
Concentración

Inglés:	flotation
Aleman:	Flotation
Fabricante:	Aker, Booth, Denver, Comp. Galigher, KHD, Krupp, Machino-export, Ind. Minemet, Hoescht (Reactivos), Outokumpu, Sala, Wemco, Maxwell, INCOME, Volcan, Eq. Ind. Astecnia, IAA, COMESA, FAHENA, FIMA, Famia, Fund. Callao, MAGENSA, MAEPSA, Met. Mec. Soriano, PROPER, IMPROCON, MILAG

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	desde aprox. 1 x 1 x 0.8 m hasta 5 x 5 x 2.5 m
Peso:	aprox. 1 - 20 t
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado
Potencia motriz:	2.2 kW hasta 100 kW, alrededor de 1.5 - 5 kW/m <sup>3</sup> capacidad de celda
Tipo de energía motriz:	electromecánica
Forma de trabajo:	continua
Materia: Cuál:	aire a presión reactivos
	burujas $\leq 2$ mm $\varnothing$
Cantidad:	0.3 - 2 m <sup>3</sup> /min m <sup>3</sup> contenido de pulpa

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de operación:	altos costos de molienda
Costos derivados:	dispositivos de dosificación para reactivos, instalaciones de molienda, instalaciones de clasificación, diques de decantación

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos  altos
Gastos de mantenimiento:	bajos  altos
Exigencias al personal:	la exacta mantención de la densidad de pulpa, la cantidad de alimentación y la concentración de reactivos son determinantes para el éxito en la separación
Tamaño de grano de la alimentación:	50 - 200 $\mu$ m
Recuperación:	con preflotación y etapa(s) de limpieza para minerales sulfurados notoriamente mayor que por el proceso gravimétrico
Aparato que puede reemplazar:	instalaciones húmedas mecánicas de concentración
Divulgación regional:	mundialmente, la flotación es el proceso de concentración más divulgado para materias primas minerales, divulgado también en parte en la Pequeña Minería; alrededor de 2.000 millones de t de materias primas son flotadas anualmente
Experiencia del operador:	muy buena  mala
Contaminación ambiental:	baja  muy alta Alta contaminación ambiental debido a la evacuación de reactivos junto a la evacuación de ganga. Se deben prever necesariamente diques de colas, diques de neutralización, etc. y mantener muy exactamente la dosificación de los reactivos
Facilidad de fabricación local:	muy buena  mala
Bajo qué condiciones:	la fabricación local de la celda es apropiada, por ejemplo, en construcción de madera, fierro y cemento o material plástico, el resto de los componentes, de importación
Tiempo de vida:	muy largo  muy corto Las partes desgastables, de elastómeros

Literatura, Fuente: Stewart, Priester, Taggart, Schubert, Gerth, Información de las empresas



## 16.7 FLOTACION

**Minería en general  
(oro, minerales, carbón,  
rocas y suelos)**

**Beneficio  
Concentración**

Silicatos, haluros no salinos y minerales de zinc oxidados se flotan con aminas orgánicas como colectores. Los hidrocarburos saturados, por ejemplo, petróleo y aceite o la adición de colectores para la hidrofobia artificial son apropiados para intensificar la hidrofobia natural, por ejemplo, del azufre y del carbón.

### **Espumante**

Terpenos y cresol o espumante sintético aprox. 5 - 50 g/t, en flotación de sulfuros disminuye el tamaño de las burbujas y estabiliza la espuma mediante la reducción de la tensión superficial.

### **Depresores**

Por ejemplo, sulfato de zinc para hacer pasiva la blenda de zinc en minerales Pb - Zn, cianuros para hacer pasivo el oro y la plata, minerales de cobre, etc. mediante complejización.

### **Activadores**

Por ejemplo, la adición de pequeñas cantidades; 1 - 10 g/t cianuro para la limpieza de las superficies de los minerales, sulfuro de sodio para la transformación de capas de óxidos en sulfuros, sulfato de cobre para activación de blenda de zinc.

### **Reguladores de pH**

Para el ajuste a condiciones básicas: cal apagada, soda o lejía de sodio; para el ajuste a condiciones ácidas: ácido sulfúrico.

Los elementos de construcción individuales son especialmente interesantes para la Pequeña Minería, por ejemplo, unidades de estator/rodete de Aker que puede ser montado en la celda existente eventualmente fabricada localmente. Además, estas partes desgastables hoy en día, generalmente son construidas de elastómeros, por ejemplo, poliuretano que se caracteriza por su extremadamente alta resistencia al desgaste.

Para la calidad de los productos finales en la flotación es necesario un control exacto del proceso. La mezcla de cantidades iguales de reactivos de flotación es siempre importante. Mientras que ésto se realiza en grandes operaciones mecanizadas por medio de bombas de dosificación, para la Pequeña Minería han dado excelentes resultados pequeñas ruedas elevadoras dosificadoras. Son regulables en un amplio margen de dosificación mediante el cambio del volumen y cantidad de los recipientes, así como también mediante la variación del número de revoluciones de la rueda dosificadora. Además son muy robustas, sencillas, exactas y se pueden construir localmente.

Además del control, la flotación necesita una vigilancia constante de la calidad de los productos. Un sencillo bateado de los productos en la batea ayuda a reconocer en muchas operaciones divergencias eventuales de los valores debidos. Para ello, sirven bateas pequeñas en forma de sartenes o bateas en forma de techo invertido.

Como reactivos para la flotación se utilizan en parte productos locales, por ejemplo, aceites naturales, restos de tratamientos de madera y de fábricas de papel, etc. De esta manera se pueden rebajar marcadamente los costos de reactivos importados.

Las colas de la flotación son también un buen material suplementario para el relleno de hormigón pobre, cuya composición es de alrededor de 10 % cemento, 60 % estéril y 30 % colas de flotación.

## **EXPERIENCIAS DE USO EN PAISES EN DESARROLLO:**

La flotación en tubo (columna) se emplea como forma más sencilla de la flotación de espuma junto a la flotación en canaletas y buddles (ver 14.10).

La pulpa acondicionada con reactivos se deja caer en un tubo vertical con la parte superior abierta, el cual según el principio de la bomba de chorro de agua, arranca aire consigo. La pulpa enriquecida con aire llega a la celda a través del tubo donde orificios en éste permiten la flotación y la salida de las burbujas. El float es extraído mediante paletas.

Una información sobre la calidad de la flotación se puede obtener de apreciaciones sencillas acerca de las burbujas sobre las superficies de las celdas de flotación. Una espuma espesa de burbujas finas y sobre todo oscura es indicio de una correcta dosificación de espumantes y una buena carga de mineral en las burbujas.

Una espuma con burbujas grandes de aspecto vidrioso lleva solo pequeñas cantidades de "float" y significa una deficiente dosificación de reactivos o incorrectos valores de pH.

## 16.7 FLOTACION

**Minería en general  
(oro, minerales, carbón,  
rocas y suelos)**

**Beneficio  
Concentración**

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

La flotación de sulfuros es una técnica apropiada para la Pequeña Minería, sobre todo si talleres locales construyen las celdas de flotación y solo deben importarse algunas piezas. La flotación selectiva de sulfuros se puede considerar como una buena complementación al beneficio gravimétrico y también apta para el empleo en pequeñas operaciones.



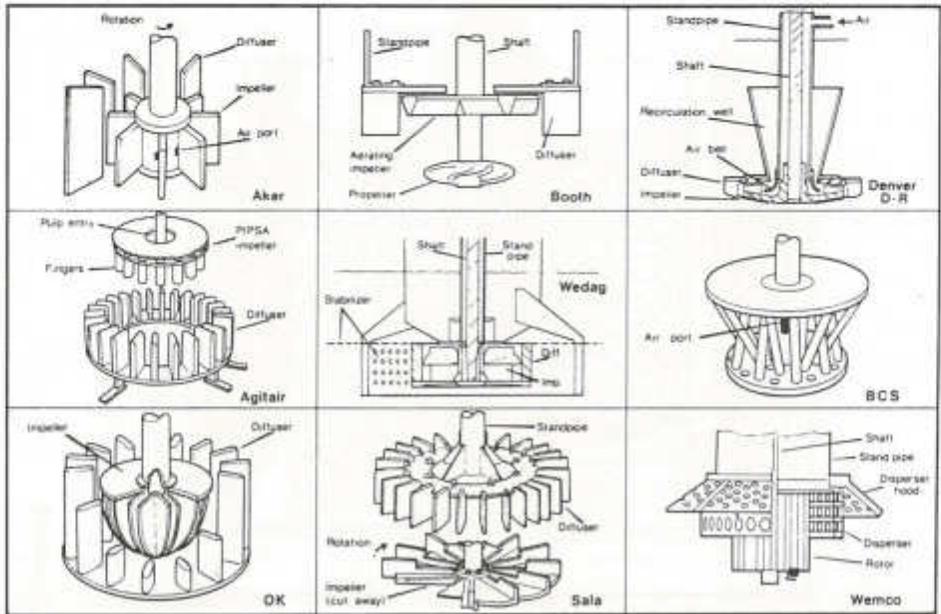
Celda de flotación de madera, de fabricación local. Arriba, el accionamiento de transmisión a correa para el mecanismo de agitación. A la derecha, el accionamiento de transmisión de las paletas para la extracción del float. La máquina era accionada por un pequeño motor diesel. Cercanías de Potosí, Bolivia.



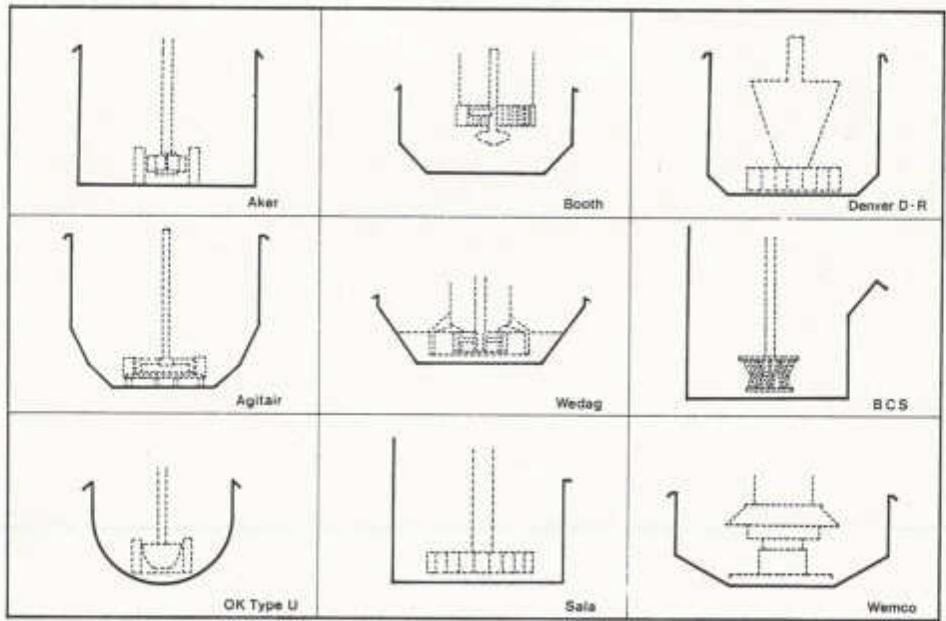
Mecanismo de evacuación de celdas de flotación para concentración de azufre en Concepción, Salar de Empexa, Bolivia.

# 16.7 FLOTACION

Minería en general (oro, minerales, carbón, rocas y suelos) Beneficio Concentración



Dib.: Tipos de rodetes de celdas de flotación, comunes en el mercado, de Young

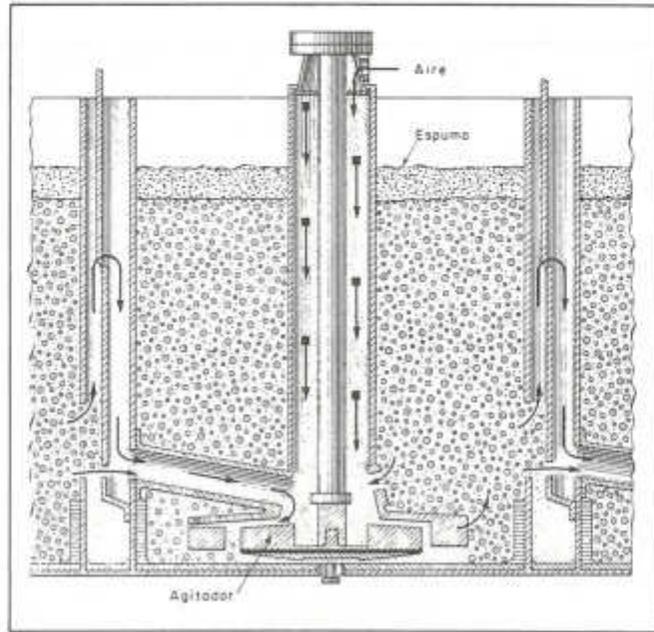


Dib.: Tipos de celdas de flotación, comunes en el mercado, de Young

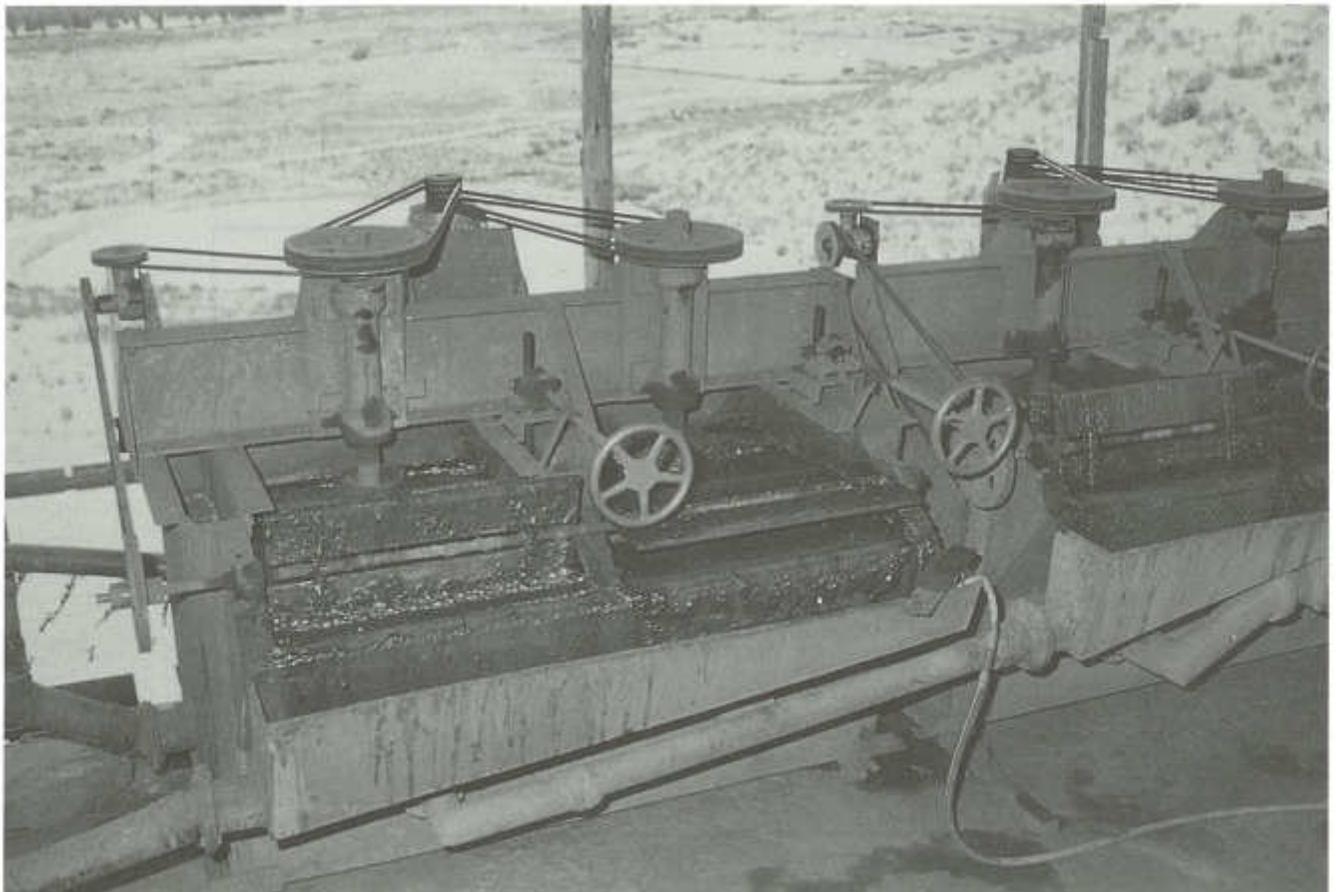
## 16.7 FLOTACION

Minería en general  
(oro, minerales, carbón,  
rocas y suelos)

Beneficio  
Concentración



Dib.: Funcionamiento de una celda de flotación, de Otero



Celdas de flotación para la concentración de minerales de Cobre, cerca de Ovalle, IV. Región, Chile

## Capítulo técnico 17: Secado

### 17.1 HORNO DE SECAR

Minería en general

Beneficio  
Secado

Español:	horno secador
Inglés:	drying oven
Aleman:	Trockenofen

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	aprox. 2 x 1 m de superficie, 10 cm de altura de los contornos de la plancha del horno
Peso:	varios cientos de kg
Tipo de energía motriz:	térmica por combustión de madera, turba, diesel, bencina, aceite, gas, carbón
Posibilidades alternativas:	generador mecánico de calor (según METZLER en INVERSIN)
Grado de rendimiento técnico:	muy bajo
Material: Cuát:	combustibles
Cantidad:	muy alta, aprox. 0.05 - 0.1 t/carbón/t concentrado

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	precio de costo: aprox. 200 DM
Costos de operación:	altos costos de combustible
Costos derivados:	costos de transporte de combustible, los cuales eventualmente aumentan fuertemente por la utilización de combustible biogénico debido a la tala

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos	-----■-----	altos
Gastos de mantenimiento:	bajos	-----■-----	altos
Exigencias al personal:	bajas		
Tamaño de grano de la alimentación:	en principio ninguno, sin embargo, el secado de tamaños de grano fino, es muy costoso debido a la alta adhesión de porcentajes de agua, los cuales solamente se pueden separar bajo gran empleo de energía		
Divulgación regional:	rara, conocida de Bolivia, Tailandia		
Experiencia del operador:	muy buena	-----■-----	mala
Contaminación ambiental:	baja	----- -----■-----	muy alta
	Especialmente si la temperatura es > 105° C y los sulfuros empiezan a calcinarse		
Facilidad de fabricación local:	muy buena	-----■-----	mala
Tiempo de vida:	muy largo	-----■-----	muy corto

Literatura, Fuente: M. Priester, Gast, Inversin

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La superficie de secado del horno - la plancha del horno - tiene la forma de un sartén sobre la cual se pone el material. Este es constantemente removido por una pala o un rastrillo. Gast describe un horno a aceite para el secado de los concentrados. La pared exterior cilíndrica está perforada, la pared interior (en forma de cono) es la chimenea del horno. El material introducido mediante pala rezuma por sí solo cuando el concentrado seco sale por los huecos y se amontona alrededor del horno.

#### **FORMAS DE USO:**

Para el secado de concentrados.

## 17.1 HORNO DE SECAR

Minería en general

Beneficio  
Secado

### **OBSERVACIONES:**

Se debe prestar atención necesariamente en mantener la temperatura de secado de los productos con minerales sulfurados por debajo de 105° C debido a que por encima de esta temperatura los sulfuros empiezan a calcinarse, por lo que se produce ácido sulfuroso en muy altas concentraciones.

Para el desagüe previo los concentrados se deben tratar en una tina de refinación, según el proceso de Schanz o en un cajón de inmersión.

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Debido al daño ecológico del secado en hornos de secar, éste se debería emplear solamente en caso de no poder emplear otros métodos de secado.



Horno de secar con hogar a madera para el secado de concentrados de estaño, Mina Monte Blanco, Cord. Tres Cruces, Bolivia

**17.2 CASAS SOLARES****Minería en general****Beneficio  
Secado**

Español: carpas solares, túnel de secado solar  
 Aleman: Solarhäuser, Solarzelte, solare Tunneltrockner

**DATOS TECNICOS:**

Medidas: tamaño según necesidad de secado, duración específica de secado y energía de radiación  
 Peso: por ejemplo, túneles de secado solar en uso después de la cosecha: 3 x 20 x 0.1 m  
 Grado de mecanización: no mecanizado  
 Tipo de energía motriz: calor de radiación (térmico solar)  
 Posibilidades alternativas: en el túnel de secado solar con pequeño ventilador: eléctrico o fotovoltaico  
 Forma de trabajo: semicontinua  
 Producción/Rendimiento: hasta alrededor de 100 kg/m<sup>2</sup> de superficie del secador  
 Grado de rendimiento técnico: 40 - 70° C de temperatura de secado, la duración de secado es alrededor de la mitad en comparación al secado sencillo sobre el suelo

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: dependientes del material de construcción, mín. aprox. 500 DM. Dependiente de la radiación solar, menos sol significa mayor superficie del colector  
 Costos de operación: en operación con ventilador, menores costos de energía  
 Costos derivados: eventualmente, medidas de protección contra el viento

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos altos

Gastos de mantenimiento: bajos altos

Exigencias al personal: bajas  
 Exigencias al lugar: la factibilidad puede ser calculada solamente si se midió la gama de oscilaciones de la radiación durante el año

Tamaño de grano de la alimentación: todo tamaño de grano  
 Propiedades específicas de la alimentación: no limitadas  
 Recuperación: la velocidad de secado en casas solares y celdas solares es marcadamente mayor que la de superficies de secado, especialmente cuando el material a secar es esparcido sobre mesas o similares (compare Diderot). La causa es el movimiento del aire por convección.

Aparato que puede reemplazar: superficies de secado, hornos de secar

Contaminación ambiental: baja muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena mala

Bajo qué condiciones: según las posibilidades, con los siguientes materiales de construcción: planchas onduladas transparentes, vidrio, láminas negras de material plástico, etc; material importado (Nicolon) o materiales nacionales de construcción, láminas transparentes estabilizadas a los rayos ultravioletas, material aislante, material de calafateado

Tiempo de vida: muy largo muy corto

Literatura, Fuente: Diderot, Técnica rural Weihestephan, Bine

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Diderot describe casas solares orientadas hacia el sur para el secado solar de productos de beneficio que están extendidos sobre mesas. Un efecto parecido se puede alcanzar en celdas de láminas negras tejidas. Con materiales de construcción transparentes se calienta el espacio interior mediante la radiación de calor, con materiales no transparentes se calienta la capa externa del espacio. Los túneles de secado solar más sencillos y compactos consisten en dos canales de túneles planos y

## 17.2 CASAS SOLARES

### Minería en general

### Beneficio Secado

paralelos, uno sirve como colector de aire y el otro, para secar el material. Ambos canales se cubren con láminas transparentes. El interior del colector está provisto de una lámina absorbente negra, paño negro, piedras negras o similares. El secador, por el lado del suelo, está aislado contra el calor, por ejemplo, con material de espuma, lana mineral, fibras de coco, paja u otro material orgánico seco; las paredes del armazón se construyen de madera, ladrillos u hojalata. El tejido del techo se puede enrollar en un tubo para cargar el secador. Un pequeño ventilador sopla aire a través del colector, mediante una hojalata conductora de aire se realiza la desviación al túnel secador, donde el aire caliente y seco se arrastra sobre el material esparcido en capa delgada y lo seca.

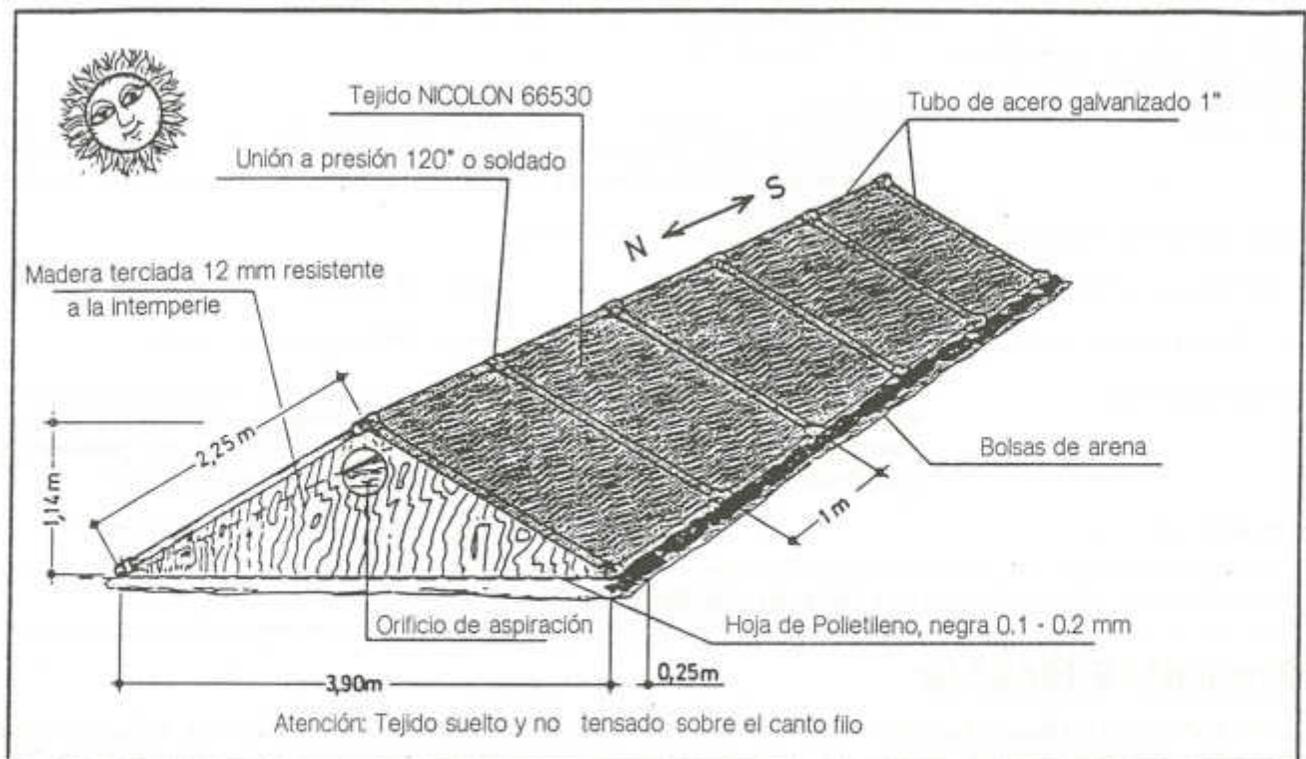
### FORMAS DE USO:

El secado de productos mineros, especialmente en lugares húmedos o semi-húmedos, donde es imposible la utilización del brillo puro del sol bajo un cielo despejado. En lugares de gran altura topográfica, por ejemplo, en la minería andina, donde la densidad de radiación es especialmente alta, se ofrecen las casas y celdas solares como alternativa a los hornos de secar.

Mientras tanto, en la agricultura, los colectores de aire son ampliamente divulgados para el secado en una particular forma de construcción. Las cargas a secar son de hierbas, heno, cereales, maní, materiales combustibles, etc. Para ello, ha dado especialmente buen resultado el material Nicolon 66530 de la firma NICOLON B.V. Apartado Postal 236, 7600 AE Almeio, Holanda. Este material es un tejido negro de polietileno con hilos monófilos en cadena y con mechas estiradas como trama. Espesor 0.5 mm, ancho 2.4 y 5 m, peso 182 g/m<sup>2</sup>, resistencia a la tracción en dirección del hilo 227 kg/5 cm y en dirección de la trama 104 kg/5 cm. Alta resistencia a la radiación y largo tiempo de vida (> 5 años). Nicolon es muy permeable al aire. De esta manera, los colectores de aire pueden trabajar como secadores accionados por sopiadores y como secadores por gravedad. En los colectores por gravedad, la instalación del colector tiene que estar colocada por debajo de la instalación de secado. En lugares ventosos, malos resultados del colector. Eventualmente los colectores de aire también se pueden emplear para fines de ventilación (absorción del aire de ventilación de mina).

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Recomendable en los lugares donde no es posible un secado bajo cielo despejado debido a razones climáticas. Construcciones sencillas, económicas y no dañinas al medio ambiente, son posibles.



Dib.: Carpa solar de tejido de material sintético, de Landtechnik Weißenstefan.

## 17.3 SUPERFICIES DE SECADO

### Minería en general

### Beneficio Secado

Español: patios de secado  
Aleman: Trockenflächen

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: hasta 20 x 20 m  
Tipo de energía motriz: radiación solar  
Producción/Rendimiento: varias toneladas/d, dependiente del tamaño de grano, clima, etc.

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: aprox. 10 - 20 DM m<sup>2</sup> superficie

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:		bajos	-----■-----	altos
Gastos de mantenimiento:		bajos	-----■-----	altos
Exigencias al lugar:	empleable también en climas húmedos, sin embargo es necesaria alta intensidad de radiación			
Divulgación regional:	Bolivia, Chile			
Experiencia del operador:		muy buena	-----■-----	mala
Contaminación ambiental:		baja	-----■-----	muy alta
	Necesidad de espacio			
Facilidad de fabricación local:		muy buena	-----■-----	mala
Bajo qué condiciones:	solo cementación del piso			
Tiempo de vida:		muy largo	-----■-----	muy corto

Literatura, Fuente: Priester, Diderot

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El mineral filtrado o bien el concentrado es extendido sobre la superficie de secado en forma de capa delgada y secado por el sol. Para revolver el material sirven rastrillos de madera, paletas de goma para recoger y escoba para barrer el producto secado.

#### **FORMAS DE EMPLEO:**

Secado de concentrados antes de la comercialización, de la separación magnética, etc.

#### **OBSERVACIONES:**

La duración de secado se rige fuertemente al tamaño de grano del producto a secar. Mientras más fino es el material, existe mayor cantidad de agua unida como agua adherida que seca lentamente. La duración de secado puede ser hasta de 8 horas y en casos especiales, aún más.

#### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

El secado sobre superficies es el método más sencillo de secado de los productos y tiene enorme significado, sobre todo en los climas áridos y semiáridos.

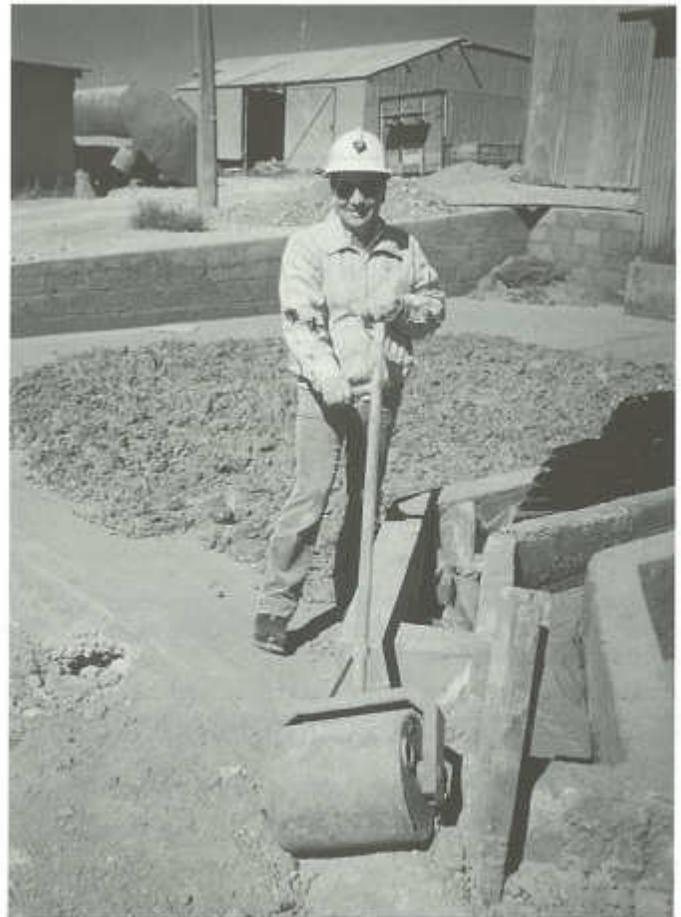
## 17.3 SUPERFICIES DE SECADO

Minería en general

Beneficio  
Secado



Superficie tradicional de secado para el secado de concentrados de zinc en Poopó, Oruro, Bolivia



Superficie de secado con un rodillo manual para la extracción de la humedad. Andacollo, IV Región, Chile

## Capítulo técnico 18: Decantación

### 18.1 ESPESADOR

Minería en general

Beneficio  
Decantación

Español:	canaletas para polvo, espesador a gravedad, estanque de sedimentación
Inglés:	thickener
Aleman:	Eindicker, Mehlgerinne, Schwerkrafteindicker, Absetzbecken

#### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	hasta 40 x 10 m superficie. espesador redondo sin brazo rastrillador con inclinación de paredes de aprox. 55°
Peso:	dique amurallado
Potencia motriz:	técnica sin fuerza motriz
Grado de mecanización:	mecanizado
Tipo de energía motriz:	solo influencia de fuerza de gravedad
Possibilidades alternativas:	espesador rectangular mecanizado con rastrillo para reunir las lamas espesas en el evacuador (fuerza motriz eléctrica), espesador redondo mecanizado (ver Ficha Técnica 18.3)
Forma de trabajo:	semicontinua
Material: Cuál:	eventualmente agentes floculantes

#### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de operación:	solo costos de personal para la extracción de la lama espesada
----------------------	--

#### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento: Solo extracción	bajos		altos
Exigencias al personal:	extracción regular de la lama espesada		
Exigencias al lugar:	superficies planas		
Tamaño de grano de la alimentación:	50 $\mu\text{m}$ hasta $< 1 \mu\text{m}$ , máx. 5 - 10 % de material sólido en la alimentación		
Propiedades específicas de la alimentación:	pulpa en suspensión donde la densidad del material sólido tiene que ser notoriamente $> 1$ . Las propiedades de decantación de las pulpas son decisivamente dependientes de la superficie específica de decantación o sedimentación. Esta aumenta en forma inversamente proporcional al cuadrado del tamaño de partícula de separación. Para la separación de partículas finísimas se realiza la floculación o sea, el tamaño de partícula de separación es de esta manera, artificialmente elevada.		
Aparato que puede reemplazar:	los espesadores se deben construir y usar necesariamente para evitar la contaminación de los cauces		
Divulgación regional:	mundialmente; en la Pequeña Minería, muy raramente		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
	Influencia positiva al medio ambiente debido a la decantación de colas, pero utilización de superficies En diques de lamas, destrucción del paisaje		
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
	Espesador rectangular discontinuo		
Bajo qué condiciones:	trabajos de albañilería		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Schubert

## 18.1 ESPEADOR

### Minería en general

### Beneficio Decantación

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

La pulpa a decantar es conducida al dique del espesador. Aquí, la velocidad de la pulpa se lentifica. Las partículas en suspensión sedimentan en el dique de decantación en función de la duración de permanencia y se juntan en el suelo, mientras que el agua clara abandona el espesador por el rebalse. En espesadores que trabajan en forma semicontinua se debe disponer de un segundo sistema de espesamiento, de tal manera que los procesos de decantación y vaciado puedan ser realizados combinadamente.

#### **FORMAS DE USO:**

Para la decantación de toda clase de pulpas en el beneficio. Las canaletas para polvo ya fueron utilizada en los beneficios de plomo y plata del Harz en el siglo XVIII y XIX.

#### **FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Debido a fuertes vientos del lugar se producen altas velocidades de flujo, turbulencias y cortocircuitos de flujos que impiden una decantación limpia.

#### **OBSERVACIONES:**

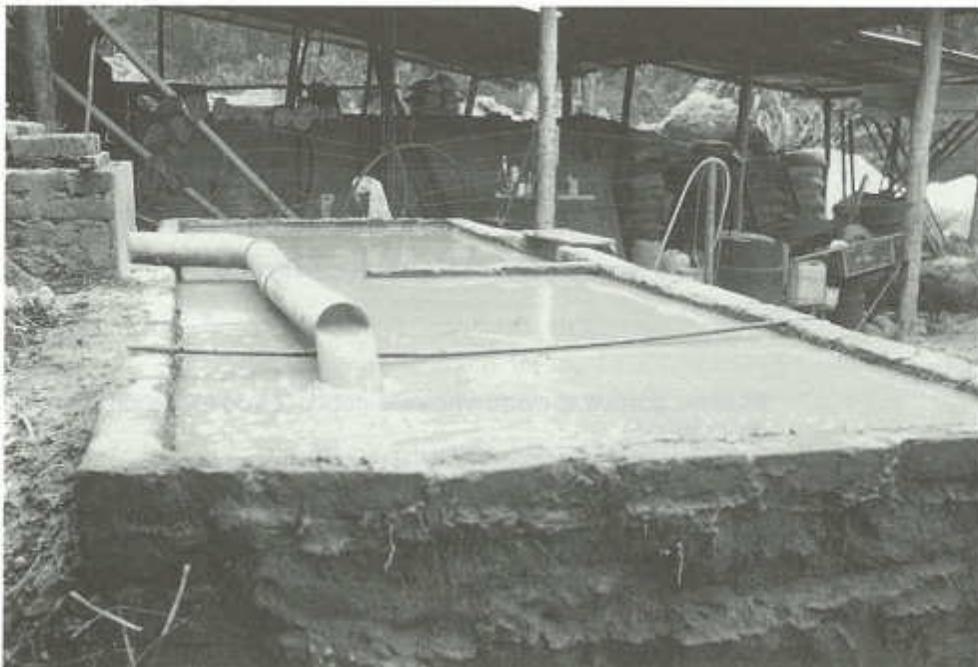
La necesidad de superficie de diques de decantación es bastante alta.

La construcción es muy sencilla. Esta clase de espesadores se pueden construir localmente en cada beneficio mediante sencillos trabajos de albañilería.

Para espesar mayores cantidades de pulpa de grano finísimo sirven los diques de lama que distribuyen la pulpa sobre su gran superficie y conducen a la decantación del agua de alimentación mediante la larga duración de tratamiento. Si la cantidad sedimentada de material fino es alta, se eleva la pared exterior para evitar la descarga del dique. Simultáneamente, los segmentos decantados en fracciones de arcilla sirven para el calafateado de diques de lamas hacia abajo, hacia el suelo.

#### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Los diques de decantación para pequeñas operaciones son el método más barato para decantar colas ricas en material en suspensión, sobre todo debido a que los diques se pueden construir mediante trabajos simples de albañilería y con tierra.



Dique de decantación para decantación previa de colas de pulpa en la minería aurífera. Mina La Victoria, Valle del Cauca, Colombia.

## 18.2 ESPEADOR DE LAMELAS

Minería en general

Beneficio  
Decantación

Aleman: Lamelleneindicker  
Fabricante: Sala

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas: inclinación de las lamelas 45 - 55°, superficie proyectada de las lamelas 15 - 500 m<sup>2</sup> como espesador redondo de lamelas hasta 2.500 m<sup>2</sup>, volumen entre 3 y 150 m<sup>3</sup>

Peso: 1 - 30 t

Potencia motriz: solo con montaje de un mecanismo rastrillador o de un vibrador

Tipo de energía motriz: eléctrica

Posibilidades alternativas: mecánica o neumática

Forma de trabajo: continúa

Material: eventualmente, agentes floculantes

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos derivados: dique de lamas o desmote para los materiales sólidos espesados

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Tamaño de grano de la alimentación: para la decantación de pulpas de grano finísimo: 0 - 50 µm, max. 5 - 10 vol. % de material sólido en la alimentación

Propiedades específicas de la alimentación: el material sólido tiene que ser notoriamente más pesado que el agua. A las pulpas de grano finísimo se agregan agentes floculantes para elevar el tamaño de grano aparente.

Recuperación: la pulpa es separada en agua clarificada y lama espesada

Aparato que puede reemplazar: espesador redondo, dique de sedimentación

Divulgación regional: mundialmente divulgado en la minería grande

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller para maquinaria a gran escala

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Información de empresas

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El espesador de lamelas consiste principalmente en dos componentes, el tanque superior con placas en forma de lamelas con inclinaciones de 45° o 55° y el recipiente inferior colector de lamelas de forma cónica o cilíndrica.

La pulpa de alimentación del espesador a lamelas se divide por medio de cámaras verticales a ambos lados del paquete de lamelas y fluye a través de las ranuras de entrada entre las lamelas. Sobre cada paquete de lamelas se encuentra una canaleta continúa para el rebalse, por cuyos orificios de salida se da una baja contrapresión hidráulica a la pulpa fluyente. Este sistema de alimentación con baja turbulencia garantiza una distribución homogénea de la pulpa en los puntos de ingreso de todos los espacios entre las lamelas. La suspensión ingresa a los espacios entre las lamelas de la ranura lateral de ingreso que se encuentra en la parte inferior de las lamelas. La decantación se realiza en la parte superior de la entrada de la suspensión, de tal manera que el líquido clarificado no se mezcla con la pulpa de alimentación.

## 18.2 ESPEADOR DE LAMELAS

Minería en general

Beneficio  
Decantación

El espesamiento y la consolidación de la lama en el recipiente colector de lama pueden ser apoyadas montando un vibrador o un mecanismo rastrillador.

### **FORMAS DE USO:**

En la minería y en el beneficio para la decantación y espesamiento de pulpas de procesos de clasificación y concentración de agua de proceso y de mina. Además, se usa en la industria metalúrgica para la decantación de aguas para viviendas, etc.

### **FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Para la decantación de soluciones con grano grueso en la lixiviación de oro.

### **OBSERVACIONES:**

El uso de espesadores tendrá un significado también en la Pequeña Minería debido a las imposiciones más estrictas respecto al medio ambiente. Los espesadores de lamelas se pueden emplear en la Pequeña Minería solo en los lugares donde la superficie a disposición es pequeña y la cantidad de pulpa a tratar es muy grande, por ejemplo, en plantas de beneficio ubicadas en la ciudad.

La construcción muy sencilla de los espesadores a lamelas sin fuerza motriz permite su fabricación en talleres locales. Los materiales para su construcción son:

#### Placas en forma de lamelas

PVC

Fibra de vidrio reforzada con resina sintética

Otros materiales sintéticos

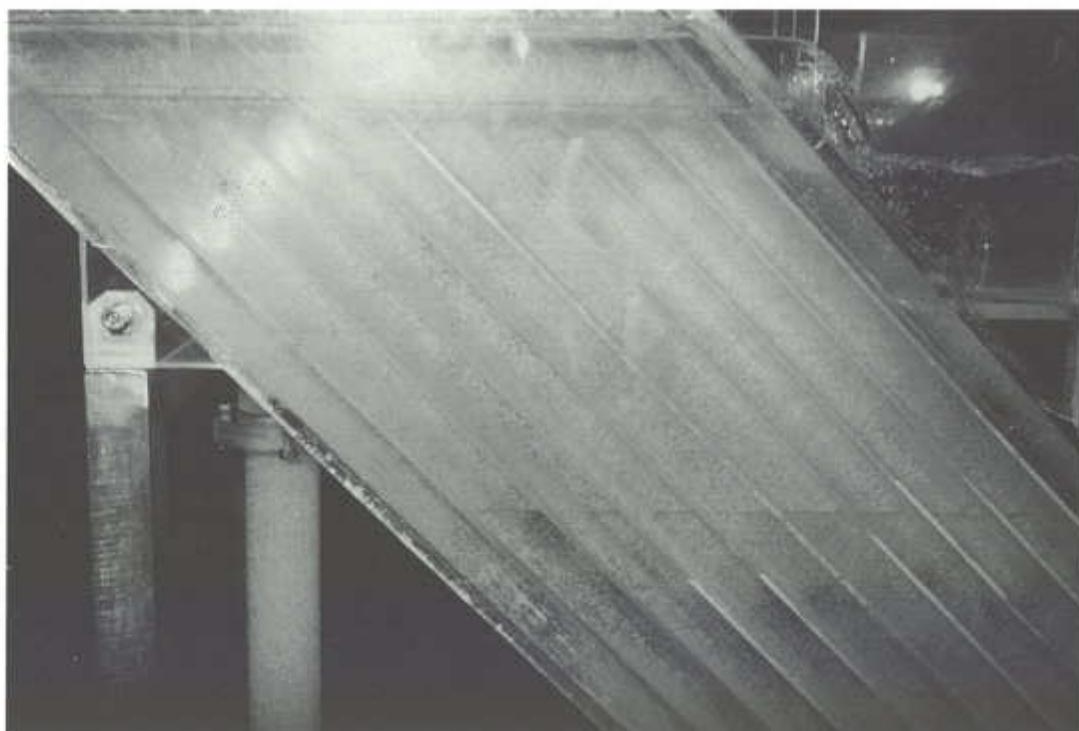
Acero

#### Tanque de lamelas y recipiente receptor de lamas

Acero, según las exigencias engomado, inoxidable, resistente al ácido, etc.

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Los espesadores de lamelas, como espesadores que trabajan en forma continua y sin fuerza motriz, son ventajosos en los lugares donde se dispone de poco espacio. Los espesadores de lamelas pueden ser construídos localmente. El uso de espesadores de lamelas para decantación de colas coopera en la protección del medio ambiente.

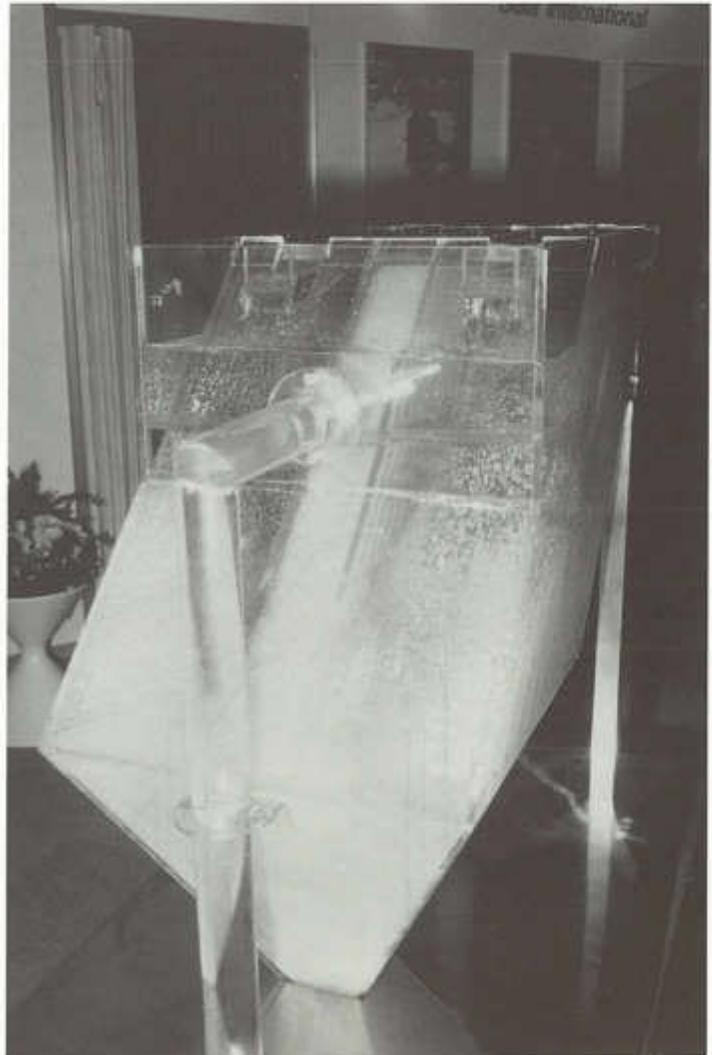


Vista de las lamelas de un modelo de espesador de lamelas.

## 18.2 ESPEADOR DE LAMELAS

Minería en general

Beneficio  
Decantación

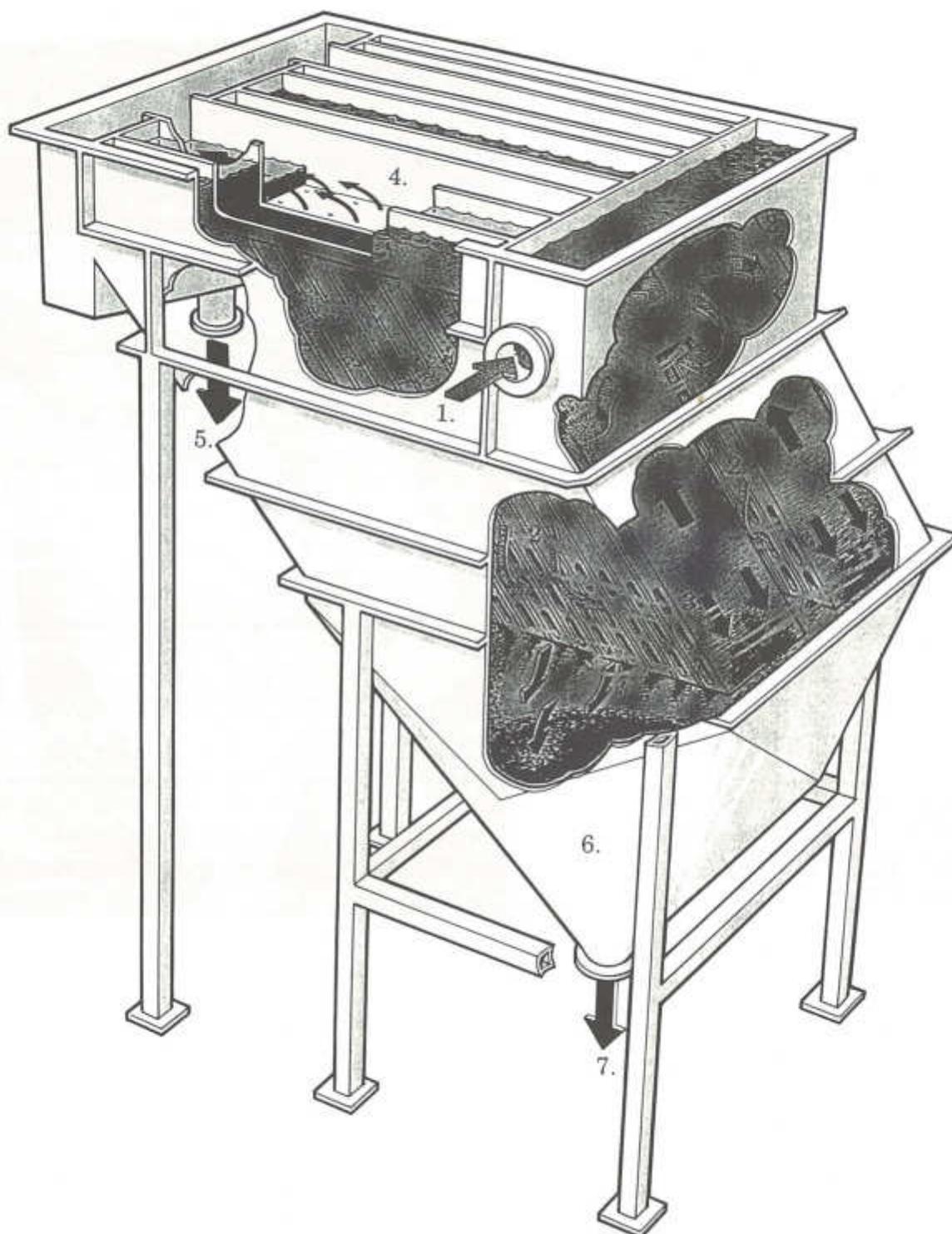


Modelo de plexiglás de un espesador de lamelas, en funcionamiento en el stand de la Firma Sala, Feria Minera Düsseldorf, 1989

## 18.2 ESPEADOR DE LAMELAS

Minería en general

Beneficio  
Decantación



Dib.: Espesador de lamelas, 1. Entrada de la pulpa, 2. Cámara de distribución de la pulpa, 3. Paquete de lamelas, 4. Canaleta para el rebalse, 5. Evacuación del rebalse, 6. Recipiente de lamelas, 7. Evacuación por la parte inferior, de Información de la Firma Sala.

## 18.3 ESPEADOR REDONDO

Minería en general

Beneficio  
Decantación

Español:	espesador mecanizado
Inglés:	round thickener
Aleman:	Rundeindicker, mechanisierte Eindicker
Fabricante:	Sala, Dorr-Oliver, Denver, Famia, MAGENSA, MAEPSA, FAMESA, Eq. Ind. Astecnia, Buena Fortuna, COMESA, FAHENA, FIMA

### **DATOS TECNICOS:**

Medidas:	Piso aprox. 8°; cono de extracción 45 - 50°; velocidad del mecanismo rastrillador en la periferia 0.07 - 0.14 m/seg; superficie de decantación aprox. 10 - 1.500 m <sup>2</sup>
Peso:	construcción amurallada sobre el suelo
Potencia motriz:	accionamiento eléctrico del mecanismo rastrillador 0.5 (2.5 m Ø) - 2.5 (20 m Ø) kW
Posibilidades alternativas:	eventualmente, hidromecánica
Forma de trabajo:	continua
Grado de rendimiento técnico:	muy buen rendimiento de decantación y de espesamiento
Material:	eventualmente agentes floculantes

### **DATOS ECONOMICOS:**

Costos de operación:	costos de energía
----------------------	-------------------

### **CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Tamaño de grano de la alimentación:	0 - 50 µm, max. 5 - 10 % de material sólido en la alimentación		
Propiedades específicas de la alimentación:	la distribución de la densidad de los componentes debe permitir una separación por gravedad, o sea el material sólido debe tener una densidad comparativamente alta		
Aparato que puede reemplazar:	diques de sedimentación		
Divulgación regional:	en la hidroeconomía urbana, mundialmente en usos para la decantación de desagües comunales e industriales, igualmente divulgado mundialmente en la minería a gran escala		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
	Impide la contaminación de los cauces por lamas de mineral y suspensiones, necesidad de espacio		
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	unidades pequeñas pueden ser construidas por empresas metal-mecánicas locales, los elementos más exigentes son el mecanismo rastrillador en cojinetes de rodillo y el soporte del engranaje helicoidal para el accionamiento del mecanismo rastrillador.		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Ullmann

### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Los espesadores redondos son tanques de asentamiento con una superficie redonda de base para la decantación de suspensiones y para el espesamiento de la pulpa con material sólido. La forma más sencilla no mecanizada es la del tanque de Dortmund con una sección en forma de embudo, entrada central de la suspensión y extracción de la lama de la parte honda mediante bomba o cuello de cisne. Para un aumento de la superficie de decantación están en uso espesadores más grandes

## 18.3 ESPESADOR REDONDO

Minería en general

Beneficio  
Decantación

con sección cilíndrica casi plana y con embudo plano como piso, en los cuales la lama decantada es movida hacia el cono central de evacuación mediante rastrillos colocados en un mecanismo rastrillador. Este mecanismo rastrillador gira muy lentamente alrededor de la canaleta central de la pulpa espesada y además del transporte de la lama tiene la tarea de comprimirla. Las potencias motrices son sumamente bajas. El agua clarificada fluye por la periferia del espesador y es reunida en la canaleta de rebose.

### FORMAS DE USO:

Para la decantación de las aguas de mina y pulpas de beneficio con material sólido menor a  $100 \mu\text{m}$  como también para el espesamiento de material sólido antes del secado, por ejemplo, en prensas filtradoras o similares, o antes de pasar por un dique de lamas.

### OBSERVACIONES:

La construcción de espesadores debe estar necesariamente adaptada a las condiciones de la pulpa:

#### Tipo de energía motriz:

los espesadores pequeños son accionados principalmente mediante helicoides, los espesadores más grandes están provistos de fuerza motriz en el contorno.

#### Suspensión del mecanismo de rastrillo:

los espesadores pequeños poseen brazos como mecanismo rastrillador que están colgados directamente en el eje central, brazos más grandes pueden ser sostenidos mediante una rueda motriz en la periferia del espesador.

#### Construcción del tanque:

según el tamaño, puede ser elegido de planchas de acero o de hormigón, para pulpas agresivas se deben planificar armaduras de goma, materiales de acero fino, eventualmente, madera.

#### Dispositivos de extracción:

son ventajosos los tubos en forma de cuello de cisne, bombas de membrana o bombas helicoidales-excéntricas.

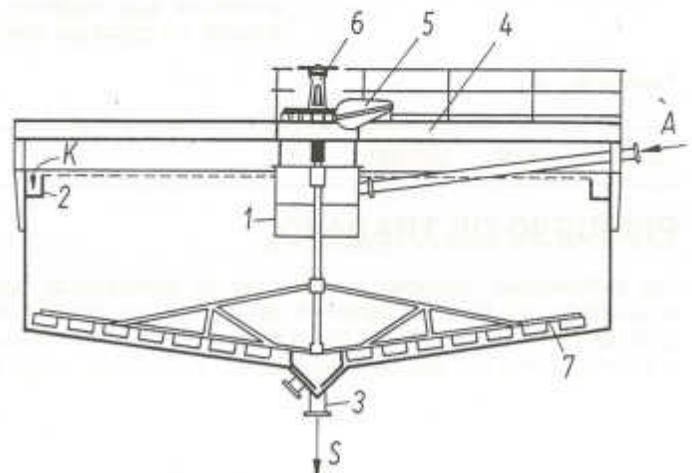
#### Dispositivos de alimentación:

éstos deberán eliminar ampliamente toda clase de energía de movimiento de la pulpa afluyente, por ejemplo, mediante placas de rebote o de entrada tangencial en el cilindro.

Si la pulpa contiene materiales sólidos que tienden a flotar, eventualmente por restos de reactivos de flotación del beneficio, se deben prever dispositivos cerca de la alimentación que raspen estos productos.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Los espesadores redondos mecanizados son aptos para el empleo en operaciones grandes de la Pequeña Minería, en las cuales no interesa la gran necesidad de espacio de los aparatos que tengan que decantar un gran volumen de corriente de pulpa y que dispongan de una infraestructura energética. La complicada técnica constructiva exige la importación de importantes conjuntos de elementos de construcción.



Dib.:  
Espesador redondo con eje central,  
1) cilindro de alimentación, 2) canaleta de rebose, 3) evacuador de lama espesa, 4) puente para la fuerza motriz, 5) fuerza motriz, 6) instalación de elevación, 7) brazos de rastrillaje con placas, A pulpa de alimentación, K líquido clarificado, S lama espesa, de Schubert

## E. MECANIZACION Y ABASTECIMIENTO DE ENERGIA

### E.1. INTRODUCCION A LA PROBLEMATICA

La Pequeña Minería en países en desarrollo trabaja a diferentes niveles técnicos. La etapa más sencilla es la Pequeña Minería artesanal o manual en la que todos los trabajos se realizan a mano y no se recurre a ninguna energía ajena para aliviar el trabajo.

Ejemplos son los lavadores de oro que explotan el oro con pala, pico canaleta y batea o minas de estaño en las que se perfora y se realiza la voladura manualmente, se transporta por medio de carretillas y se beneficia con quimbaletes, jigs manuales y buddles.

En la minería de nivel intermedio los pasos individuales de trabajo en los procesos de explotación, transporte y beneficio están mecanizados mediante máquinas operadoras, donde por lo general el control y regulación de las máquinas se realiza manualmente. En este nivel de minería el porcentaje de trabajo manual, o sea a fuerza muscular también es muy alto.

Ejemplos son una variedad de operaciones mineras en las que se perfora con máquinas perforadoras sobre apoyos, se carga manualmente o con máquinas cargadoras sencillas, eventualmente se tritura con un triturador y se emplean técnicas sin fuerza motriz del beneficio gravimétrico mecánico húmedo. Otro ejemplo son las operaciones que trabajan con bombas de grava en la minería de placeres de estaño.

Ultimamente, en la minería totalmente mecanizada de una etapa más desarrollada muchos o todos los pasos en el trabajo están mecanizados mediante el empleo de maquinarias parcialmente automáticas.

Ejemplo de esto son las operaciones mineras modernas de los países industrializados que avanzan en sus galerías con maquinarias de arranque de sección completa.

La mayoría de las máquinas representadas en los capítulos siguientes se emplean en la minería artesanal y en la minería de nivel intermedio. En

caso de ser necesario el empleo de energía ajena se tiene que instalar una máquina motriz adicionalmente a la máquina operadora.

Portador de energía	Máquina motriz	Transformación	Distribución de energía	Máquina operadora
Diesel	Motor a combustión	Compresor	Tubería de aire comprimido	Máquina de perforación neumática
Agua	Rueda hidráulica	Engranaje		Molino

Las máquinas operadoras y sus condiciones planificadas de empleo definen la demanda de cantidad y forma de energía. Además, en la Pequeña Minería se deben examinar por separado los campos de trabajo.

Para los trabajos en interior mina en principio hay a elección máquinas con tres diferentes sistemas motrices:

- eléctrico
- neumático
- aparatos a combustión

Por motivos de seguridad de la mina, robustez, poca necesidad de mantenimiento, etc., a pesar de los bajos grados de rendimiento del sistema total se han impuesto las herramientas a aire comprimido.

La demanda de energía para la mecanización en interior mina se rige según el tamaño de la operación, estructura de la mina, condiciones geológicas y sobre todo según el grado de mecanización. Prácticamente, no existe un límite superior. La demanda mínima resulta del consumo de aire comprimido de una máquina perforadora con apoyo, pues la perforación generalmente representa la fase de trabajo más intensivo en energía en la minería subterránea y tiene que ser en primer lugar correspondientemente mecanizada con ayuda de maquinaria.

Según las condiciones del yacimiento, o sea dureza del mineral y roca, la perforación de huecos para voladura exige hasta aprox. 0.5 kWh de trabajo de perforación por cada metro de perforación. Una mecanización del trabajo de perforación puede conducir a enormes aumentos de la productividad del trabajo. Una comparación de datos de trabajos en el avance de galerías de operaciones mecanizadas y manuales en roca consolidada en interior mina pone en claro las diferencias:

Puramente manual:	0.02 hasta 0.24 m <sup>3</sup> masa arrancada/HT
Trabajo de perforación mecanizado, trabajo de carga manual:	0.6 hasta 1.5 m <sup>3</sup> masa arrancada/HT
trabajos de perforación de carga mecanizados:	2.7 hasta 4.6 m <sup>3</sup> masa arrancada/HT

La demanda de aire comprimido para el trabajo de perforación es mínima, alrededor de 2 m<sup>3</sup>/min con una presión de aire de 7 bar y de esta manera, con una potencia motriz del compresor de alrededor de 10 - 15 kW.

En el beneficio, la trituración del mineral bruto es la fase de trabajo más intensiva en energía. Según la geología del yacimiento pueden ser necesarios para la trituración de 1 t de mineral bruto hasta la fineza necesaria para la flotación (100 % < 100 μm) hasta alrededor de 50 kWh de trabajo de trituración. La demanda mínima de potencia del beneficio se define mediante la potencia motriz para un triturador pequeño, la cual es de alrededor de 3 - 5 kW.

Las ramas mineras que tienen que mover materiales en masa (por ejemplo, operaciones con bomba de grava) tienen que orientarse a su capacidad planificada de transporte, las minas de azufre necesitan, en parte, altos rendimientos térmicos para la operación de autoclaves para la fusión.

La demanda total de energía se divide en formas individuales de energía, es decir

- mecánica
- eléctrica
- térmica

Por regla general - especialmente desde el punto de vista de los países industrializados con abastecimiento de energía eléctrica mediante cobertura de superficies - se opina que la mecanización con energía eléctrica es especialmente ventajosa. Sin embargo, analizando más profundamente llama la atención que en la mayoría de los casos la energía eléctrica es nuevamente transformada en mecánica. Esto vale especialmente para la minería a pequeña escala en los países en desarrollo.

Fuerzas motrices mecánicas para:

- ventiladores
- bombas
- trituradores
- jigs
- cribas vibratoras
- mesas de concentración y muchas otras más

En la Pequeña Minería la energía eléctrica o térmica es necesaria solamente en casos especiales.

Energía eléctrica para:

- cargado de lámparas
- separación magnética
- beneficio electrostático

Energía térmica para:

- secado
- destilación
- autoclaves

Para cubrir la demanda de energía, respecto a su forma y cantidad, es necesaria la planificación de un sistema de abastecimiento de energía con los componentes individuales mencionados arriba; estos son:

- portador de energía
- máquina motriz
- transformación de energía
- distribución de energía

Los aspectos relevantes de la planificación del sistema de energía y sus componentes individuales están brevemente sistematizados y señalados a continuación.

## E.2. PORTADORES DE ENERGIA

Datos importantes de la planificación, respecto a los portadores de energía, son sus costos y disponibilidad.

Como portadores de energía para fines de la Pequeña Minería entran en consideración:

- combustibles fósiles, sobre todo diesel y bencina
- corriente eléctrica de una red central
- agua

Las energías renovables, viento, biomasa y energía solar no pueden ser consideradas para fines de mecanización en la minería, pero poseen significación en algunos casos para campos individuales (por ejemplo, estaciones de carga solar para las lámparas mineras).

Estos datos se deberán considerar, si es posible, no solamente para la situación actual sino también deben ser tomados en cuenta para cambios eventuales en el futuro. Un ejemplo importante de la variabilidad de los costos absolutos y relativos de los portadores de energía son los datos sobre precios de los carburantes de diesel en la minería de estaño boliviana en relación al precio de la materia prima.

Como aclaración sirve la siguiente comparación entre el desarrollo del precio del diesel y del estaño en Bolivia:

1984 1 lb Sn producía como ingreso aprox. 6 US\$ mientras que 1 lt diesel costaba 0.03 US\$.

1987 1 lb Sn producía como ingreso aprox. 3 US\$ mientras que 1 lt diesel costaba 0.3 US\$.

Mientras que el minero en 1984 podía comprar todavía 200 lt diesel/lb Sn, en 1987 fueron solamente 10 lt/lb Sn. Análogamente se desarrolló la relación de precios de la energía eléctrica de abastecimiento central (red pública).

A la planificación de un sistema de energía que aproveche energías renovables se le debería dar preferencia debido a las oscilaciones potenciales de precio y cuellos de botella en el abastecimiento (malas condiciones de infraestructura, huelgas, cambios del mercado). Para ello, las condiciones son la disponibilidad de fuentes energéticas renovables en el curso del día y del año y costos de inversión comparativamente favorables de las máquinas operadoras (eventualmente, mediante fabricación local).

### E.3. MAQUINA MOTRIZ

Las máquinas motrices para el abastecimiento de energía están detalladamente tratadas en el

capítulo 19. Los criterios de planificación decisivos se pueden obtener mediante una comparación de las diferentes máquinas motrices con respecto a sus

- costos, es decir costos de operación y de inversión
- facilidad de reparación y de mantenimiento
- adaptabilidad
- aptitud para la fabricación local

Los costos de inversión de las máquinas motrices para el empleo en minería son comparados en la siguiente tabla, en la que se dió importancia a la consideración de máquinas de posible fabricación local. Estas se caracterizan además por sus bajos costos de inversión, por su mantenimiento y reparación sencillos y rápidos.

Tabla: Costos de inversión de máquinas motrices y sistemas de energía

Motor a combustión	150 - 300 DM/kW (cif Bolivia)
Generador a diesel	500 - 1.000 DM/kW (fob)
Ruedas de agua hidromecánicas (fabricación local)	200 - 500 DM/kW (sin obras hidráulicas)
Turbina de impulsión hidromecánica radial y parcial (fabricación local)	100 - 200 DM/kW (sin obras hidráulicas)
Hidroeléctrica	3.000 - 10.000 DM/kW (fob sin obras hidráulicas)
Eólica mecánica (fabricación local)	3.000 - 5.000 DM/kW
Eólica eléctrica	5.000 - 15.000 DM/kW (fob)
Solar eléctrica	15.000 - 20.000 DM/kW (fob)

El desarrollo del precio por kW instalado se comporta en forma regresiva en relación al aumento de la potencia; una excepción es el desarrollo lineal de costos del sistema eléctrico de energía solar. Los márgenes de los costos de inversión expuestos se refieren aproximadamente a las potencias máxima y mínima necesarias en la Pequeña Minería.

Mientras que los motores a combustión son comparativamente favorables por los costos de inversión, sobre todo en comparación a otras máquinas motrices de fabricación en países industrializados, los altos costos de combustibles conducen comparativamente a altos costos de operación.

## E.4. TRANSFORMACION DE ENERGÍA

Para la transformación de una forma de energía en otra se disponen de varias maquinarias, las principales están expuestas en la tabla de la página 477. Por lo general, se constata que cada transformación de energía está unida a pérdidas de rendimiento. Estas pérdidas de rendimiento son en

parte fuertemente dependientes del lugar, especialmente en la transformación en energías eléctrica y neumática. Temperatura y altura son factores de influencia.

En la transformación de energía mecánica en energía neumática en los compresores de dos etapas con 8 bar de presión de trabajo se presentan las siguientes pérdidas en función a la altura:

Tipo de compresor	Disminución en % para cada 1.000 m de aumento de altura	
	Cantidad suministrada	Energía absorbida
Compresor mediano, refrigerado por aire	2.1	7.0
Compresor a tornillo con inyección de aceite	0.6	5.0
Compresor grande de émbolo refrigerado a aire	1.5	6.2
Compresor grande a tornillo refrigerado a aire	0.3	7.0

Fuente: Manual Atlas Copco

La transformación de energía mecánica en eléctrica en los generadores es corregida con los

siguientes factores dependientes de la altura y de la temperatura:

Tabla: Pérdidas de potencia de generadores en función a la altura del lugar y a la temperatura, Fuente Meier

Elevación de la máquina	1.000 m	1.500 m	2.000 m	2.500 m	3.000 m
factor $f_1$	1	0.96	0.91	0.87	0.83
temperatura ambiente °C	25	45	50	55	60
factor $f_2$	1.07	0.96	0.93	0.91	0.88

Las transformaciones de energía mecánica para el cambio de número de revoluciones y el momento de rotación en engranajes con sus límites y grados

de rendimiento se pueden extraer de la siguiente tabla:

Tabla: Valores de operación para diferentes tipos de engranajes, según Niemann

Tipo de engranaje	Para una etapa de engranaje			Potencia $N_1$ (PS) hasta	Número de revoluciones $n_1$ (R/min) hasta	Velocidad periférica $v$ (m/s) hasta	Fuerza periférica de la rueda $P_0$ (kg) hasta	Momento de rotación $M_0$ (mkg) hasta
	Transmisión corriente (extremo) hasta	hasta	Grado de rendimiento total %					
Engranaje de ruedas dentadas rectas	8	(20)	95 .. 99	25.000	100.000	200	-	-
Engranaje planetario de ruedas dentadas rectas	8	(13)	98 .. 99	10.000	40.000	-	-	-
Engranaje helicoidal	60	(100)	97 .. 98	1.000	30.000	70	50.000	25.000
Engranaje de cadena	6	(10)	97 .. 98	5.000	5.000	17	28.000	-
Engranaje de correa plana	5	(10)	96 .. 98	2.200	18.000	90	5.000	17.500
Engranaje de correa trapezoidal	8	(15)	94 .. 97	1.500	-	26	-	2.150
Engranaje de rueda de fricción	6	(10)	95 .. 98	200	-	20	-	-

## E.5. DISTRIBUCION DE ENERGIA

Por último se planifican las instalaciones con las cuales se lleva la energía del productor a la máquina operadora. Estos sistemas de distribución tienen diferentes alcances y pérdidas:

- las fuerza motrices mecánicas están limitadas a pocos metros de alcance y tienen altos grados de rendimiento.
- las fuerzas motrices eléctricas necesitan de cables conductores de corriente y según el alcance, transformadores de alta tensión para la disminución de las pérdidas por la resistencia.
- las fuerzas motrices neumáticas necesitan costosos sistemas de tuberías para aire comprimido, los cuales están caracterizados por altas pérdidas de presión de aire (reducción de presión) y de la cantidad suministrada (pérdidas por fuga) (ver ficha técnica 19.13)

## E.6. SISTEMAS DE ENERGIA

Considerando el sistema total del abastecimiento de energía en la Pequeña Minería en países en desarrollo, fuera de la potencia, los siguientes parámetros son importantes para la planificación:

parámetros económicos: costos de inversión, costos de operación,  
datos técnicos: grados de rendimiento total, seguridad de servicio, aspectos del medio ambiente (ver abajo)

Los sistemas en conjunto están puestos en contraposición comparativa en la siguiente tabla. En general, las instalaciones con alto grado de complejidad dan grandes problemas en la operación, mantenimiento y reparación. La transformación de energía mecánica en eléctrica y la retransformación nuevamente para el accionamiento de máquinas tiene, fuera de las altas pérdidas de potencia y los altos costos de inversión, la desventaja de muy alta complejidad para su empleo en países en desarrollo. Fuerzas motrices mecánicas con utilización directa del momento de rotación, por ejemplo, de motores a combustión y pequeñas turbinas contribuyen fuertemente a la simplificación del equipo mecánico (ver también ficha técnica 19.12).

Tabla: Sistemas energéticos descentralizados

			Transformación en otra forma de energía					
			Margen de potencia	Forma de energía	mecánica	eléctrica	térmica	neumática
Convencional	Motor a combustión		2 - 50 kW	mecánica	engranaje	generador	cambiador de calor, generador térmico	compresor
Renovable	Mecánica	Accionamiento a pedal	80 - 150 W	mecánica	engranaje			
		Fuerza de tracción animal	100 - 500 W	mecánica	engranaje			
	Hidro-mecánica	Rueda hidráulica	200 W - 15 kW	mecánica	engranaje	generador		
		Turbina	200 W - 50 kW	mecánica	engranaje	generador	generador de calor	compresor
	Eólica mecánica	Instalación de fuerza eólica	100 - 15 kW	mecánica	engranaje	generador		
	Solar	Colector solar			térmica			X
Celda solar		50 - 500 W	eléctrica	motor vibrador	transformador de tensión	resistencia		

Tabla: Ventajas y desventajas de diferentes fuentes energéticas, de Hentschel

Fuente de energía	Ventajas	Desventajas
Alimentación central de corriente	+ alto grado de rendimiento + utilización variada	- altos costos de operación - motores eléctricos caros - solo localmente a disposición
Alimentación descentralizada de corriente con generator a diesel	+ utilización variada + de lugar no fijo	- altos costos de inversión - altos costos de operación - altos costos de mantenimiento y reparación - dependiente del abastecimiento - ninguna fabricación local - desventajas ecológicas
Alimentación descentralizada, de corriente de hidroenergía	+ bajos costos de operación + utilización variada + largo tiempo de vida	- altos costos de inversión - ninguna fabricación local - utilización solo localmente limitada - grado de rendimiento moderadamente mayor
Mecánica, de motor a combustión	+ bajos costos de inversión + utilización variada + de lugar no fijo	- costos de operación mediamente mayores - dependiente del abastecimiento - ninguna fabricación local
Mecánica, de hidroenergía	+ mayor grado de rendimiento + bajos costos de inversión + menores costos de operación + utilización variada	- solo utilización localmente limitada
Eléctrica, de energía eólica	+ menores costos de operación + utilización variada	- muy altos costos de inversión - ninguna fabricación local - utilización local muy limitada
Mecánica de energía eólica	+ bajos costos de inversión + menores costos de operación + fabricación local	- bajo rendimiento - utilización local muy limitada - utilización limitada
Térmica de energía solar	+ bajos costos de inversión + fabricación local + de lugar no fijo + menores costos de operación	- utilización limitada (agua caliente, secado)
Eléctrica de energía solar	+ de lugar no fijo	- muy altos costos de inversión - técnica complicada
Biogas	+ menores costos de operación	- costos de inversión relativamente altos - utilización solo localmente limitada

## E.7. ASPECTOS DE LA MECANIZACION EN MINERIA

El principal objetivo de la mecanización y mecanización parcial es el incremento del rendimiento. Este va acompañado de una

disminución del personal específico para la explotación de la mina.

Nötstaller ha cuantificado el número de personal para operaciones mineras en el carbón con explotación constante:

Cantidad apreciada de personal en el tajo para la explotación de 1.500 t de producción útil por día mediante diferentes procesos:

Proceso técnico minero	Personal necesario (personas)	Aumento del grado de mecanización
Explotación con pico con entibación de madera	1.000	↓
Explotación con martillo picador con entibación de madera	400	
Explotación con maquinaria con estempe individual de acero	100	
Explotación con maquinaria con entibación marchante	30	

Por último, se consideran los costos unidos a la mecanización, o sea los de inversión y también los de operación. La mecanización o mecanización parcial tiene, entre otras, influencia sobre:

- el monto de los costos de inversión, no solamente para las máquinas motrices sino también para las máquinas operadoras y sus inversiones derivadas,
- los costos de energía,
- los costos de personal; pues cada mecanización, mediante el aumento de rendimiento, conduce tanto al aumento de la producción como a ahorros de personal (una consecuencia que en los países en desarrollo con su alto desempleo puede ser muy problemática)

Los montos de los costos para los sectores correspondientes se diferencian notoriamente entre los países industrializados y los países en desarrollo. En general, en los países en desarrollo:

- los costos de inversión de maquinaria importada son mayores que en los países industrializados,
- los costos de servicio del capital son mayores que en los países industrializados,
- y los costos de personal son notoriamente menores a aquellos de los países industrializados.

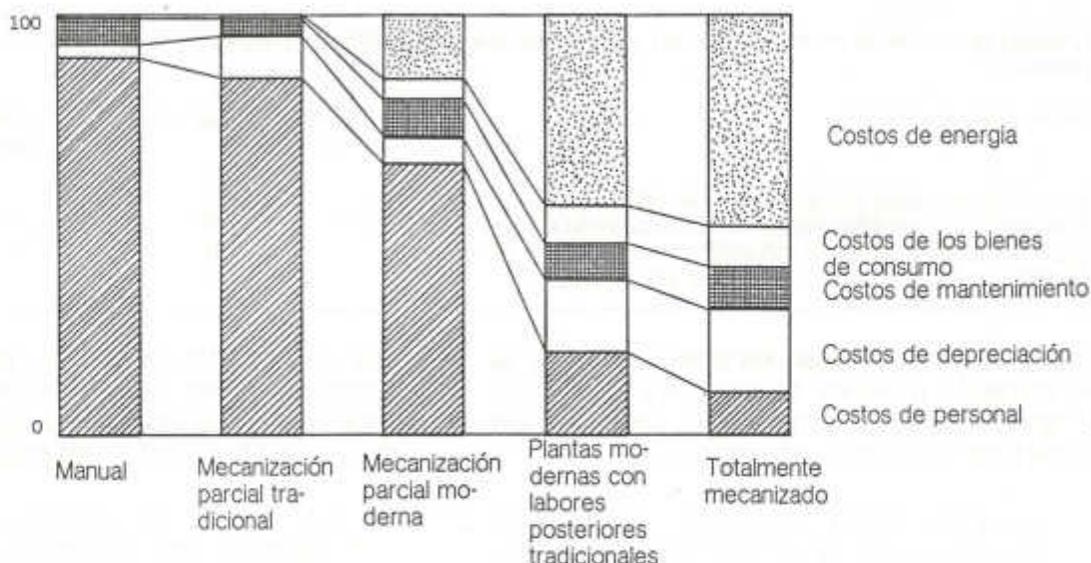
Nötstaller indica la demanda de capital para bienes de inversión de una operación de arranque de carbón en el marco de medidas de mecanización de la siguiente manera:

Demanda apreciada de capital para el equipo de una operación de arranque en minería del carbón para la explotación de 1.500 t de producción útil por día en tajo largo:

Proceso técnico minero	Costos de inversión en 1.000 unidades monetarias	Aumento del grado de mecanización
Explotación con pico con entibación de madera	200	↓
Explotación con martillo picador con entibación de madera	5.000	
Explotación con maquinaria con estempe de acero individual	20.000	
Explotación con maquinaria con entibación marchante	50.000	

Otra consecuencia importante de la mecanización o mecanización parcial es el cambio en la estructura de costos de la mina, como se da a

manera de ejemplo para las plantas de beneficio de minerales diferentemente mecanizadas en Bolivia:



Dib.: Distribución de los porcentajes relativos de costos del beneficio para plantas de diferente grado de mecanización.  
Fuente: Priester

Un problema de la mecanización y la mecanización parcial de minas o de lugares de operación es la apreciación de los efectos derivados. La mecanización conduce en general a aumentos de rendimiento en las fases mecanizadas del proceso. Sin embargo, para tomar en cuenta la forma de trabajo de la máquina (por ejemplo, cantidad continua de alimentación homogénea) o de las condiciones económicas (por ejemplo, alto grado de carga de la máquina) tienen que llevarse a cabo aumentos de rendimiento en las etapas de procesos conectadas anterior y posteriormente. Estos aumentos son, según el yacimiento y la infraestructura material o personal de las minas en caso dado, difíciles de realizar. El incremento del rendimiento en el transporte por el pozo a manera de ejemplo, puede ser posible solamente mediante nuevas grandes inversiones o mediante el cambio del medio de transporte. En caso que no se puedan realizar las modificaciones necesarias en las etapas de proceso conectadas anterior y posteriormente, la máquina en la nueva etapa mecanizada de proceso tendría que trabajar en un lugar de operación desfavorable o con una carga normal antieconómica. Para alcanzar una mejora del resultado de la operación mediante mecanización es inevitable la apreciación previa de las consecuencias para el desarrollo total de la producción.

Una mecanización o mecanización parcial de una operación solamente se justifica bajo puntos de vista económicos si los costos de producción para el producto final no aumentan a consecuencia de

las inversiones. Fuera de los aspectos económicos son importantes los aspectos sociales, humanitarios, de seguridad técnica, política ambiental y de desarrollo político regional de la mecanización. Estos se pueden cuantificar solo difícilmente, de manera que aquí no se da ninguna ayuda concreta de decisión (ver también Nötstaller).

Además de poner a disposición energía para el desarrollo directo de la producción minera, también se debe pensar en los mineros y sus familias. Las duras condiciones de vida en las regiones mineras que están a una altura mayor a 5.000 msnm podrían ser atenuadas poniendo a disposición agua caliente, energía calórica, iluminación, o bien corriente eléctrica en general o energía para la cocina. Esta clase de demanda de energía no se debería descuidar en las actividades de planificación.

## E.8. ASPECTOS DEL MEDIO AMBIENTE Y DE LA SALUD

El satisfacer la creciente demanda de energía primaria con combustibles fósiles no va a poder ser razonable tanto mundialmente como en los países andinos, donde además de aspectos económicos existen sobre todo, razones ecológicas. Lamentablemente, las últimas se han considerado en la planificación en los países en desarrollo solamente en casos excepcionales (por ejemplo, minería en la zona hidrológica tomada en

cuenta para los embalses de agua potable en Potosí). Para un mantenimiento a largo y mediano plazo de las bases vitales ecológicas es obligadamente necesaria una protección de la atmósfera, del agua, del suelo y de la flora y fauna. La Pequeña Minería en países en desarrollo también puede y tiene que brindar su aporte para esta seguridad del futuro, sin que por ello tenga que conformarse con desventajas económicas.

En los países en desarrollo las fuentes energéticas renovables pueden ser un aporte valioso para la protección del medio ambiente y pueden crear mayor conciencia sobre el medio ambiente. Esto es válido también para la Pequeña Minería, en cuya conciencia los aspectos de la protección ambiental no han sido considerados hasta ahora.

Los generadores accionados a diesel empleados para la producción de corriente eléctrica convencional descentralizada o bien los motores a combustión que están a disposición para el accionamiento de maquinaria queman

combustibles fósiles que liberan peligrosos residuos en forma de gases de escape. Las fuentes de energía regenerativas por el contrario, utilizan su medio en forma de agua, viento o sol, pero no lo consumen y no producen residuos. Fuera de los gases de escape y la generación de ruidos de los motores a combustión, la contaminación provocada por el aceite usado es un grave problema ambiental. En las regiones alejadas de la Pequeña Minería no es posible un desecho del aceite usado que satisfaga al medio ambiente, o sea esta necesidad no existe debido a la carencia de educación sobre el medio ambiente. Frecuentemente el aceite usado llega directamente al suelo, o sea a los cauces. Eventualmente, esto puede tener consecuencias catastróficas en los ecosistemas lábiles en los lugares más altos de Los Andes. La población rural de los lugares aledaños también puede ser afectada, debido a que el aprovechamiento de las aguas de los ríos incluye frecuentemente el abastecimiento de agua potable y regadío (posibilidad de solución, ver ficha técnica 11.3).





## 19.1 ACCIONAMIENTO A BICICLETA

Minería en general

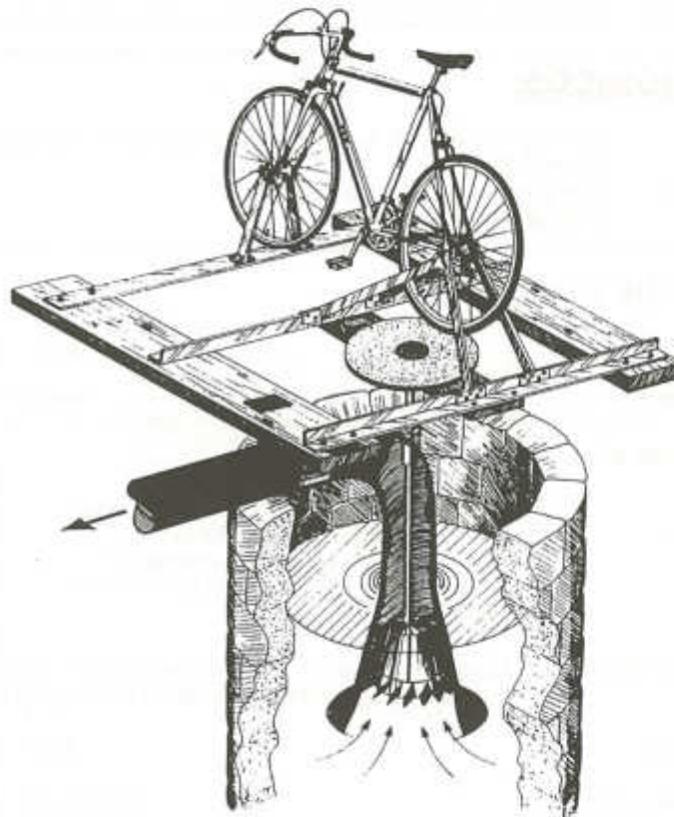
Energía  
Técnicas energéticas

### OBSERVACIONES:

En la Pequeña Minería de carácter artesanal, donde hasta ahora se trabaja principalmente en forma manual, existen varias formas de uso en las cuales un accionamiento a pedal o a bicicleta promete de todas maneras alivio en el trabajo e incrementos en el rendimiento.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:

Los accionamientos a pedal pueden ser empleados en forma práctica en la Pequeña Minería tradicional en Latinoamérica para hacer funcionar maquinarias en rangos de baja potencia ( $< 100$  W). Sin embargo, no deben ser confundidos como reemplazo para una mecanización.



Bomba de agua centrífuga (bosquejo)

Dib.: Accionamiento a pedal para una bomba de agua centrífuga, de Mc Cullagh

**19.2 MALACATE****Minería en general****Energía  
Técnicas energéticas**

Inglés: animal power gear  
Aleman: Göpel

**DATOS TECNICOS:**

Medidas: demanda de espacio: aprox. 50 m<sup>2</sup>  
 Peso: 150 - 500 kg  
 Grado de mecanización: parcialmente mecanizado  
 Potencia motriz: 0.7 - 3 kW, en promedio aprox. 800 W  
 Tipo de energía motriz: mecánica  
 Forma de trabajo: semicontinua  
 Producción/Rendimiento: según el animal de tracción (ver próxima página)  
 Grado de rendimiento técnico: 70 - 90 %, por ejemplo en la extracción de pozos: Velocidad de extracción 0.3 - 0.65 m/s con una capacidad de recipiente de 0.3 - 1.2 m<sup>3</sup> y una profundidad de pozo máxima de 250 m  
 Material: Cuál: animales de tracción, o sea forraje  
 Cantidad: 1 - 2 animales de tracción (asnos, bueyes, caballos)

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: 750 - 5000 US\$ según país de origen y máquina operadora  
 Costos de operación: bajos  
 Costos derivados: en extracción de agua: construcción del pozo

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al personal: experiencia en el tensado al animal  
 Exigencias al lugar: deben existir animales de tracción y disposición de forraje

Maquinaria que puede poner en funcionamiento: equipo para ventilación del Harz, bomba de cangilones, transportadores de botas de aro para desagüe, molinos a bolas, molinos a rodillos, trapiches, mesas cónicas, mesas a golpes, bombas de émbolo

Aparato que puede reemplazar: motores pequeños, accionamientos manuales

Divulgación regional: África del Norte, Asia, Latinoamérica, pero no más en minería

Experiencia del operador: muy buena  mala

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: buen taller metal-mecánico, también posible fabricación de madera

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Projekt-Consult, Agrícola, Calvör, Villeföse, Delius, Löwe, Treptow, Wagenbreth

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Los animales caminan en forma circular y accionan una máquina operadora directamente o por medio de un engranaje. Variadas formas de construcción.

## 19.2 MALACATE

### Minería en general

### Energía Técnicas energéticas

#### **FORMAS DE USO:**

Accionamiento de máquinas operadoras de baja potencia en la minería y en el beneficio. Especialmente apropiado para máquinas operadoras que exigen un momento grande de rotación y bajo número de revoluciones.

#### **OBSERVACIONES:**

Los malacates son apropiados especialmente para el desagüe y para el transporte. Los malacates en el beneficio y en la ventilación se conocen de la historia de la técnica.

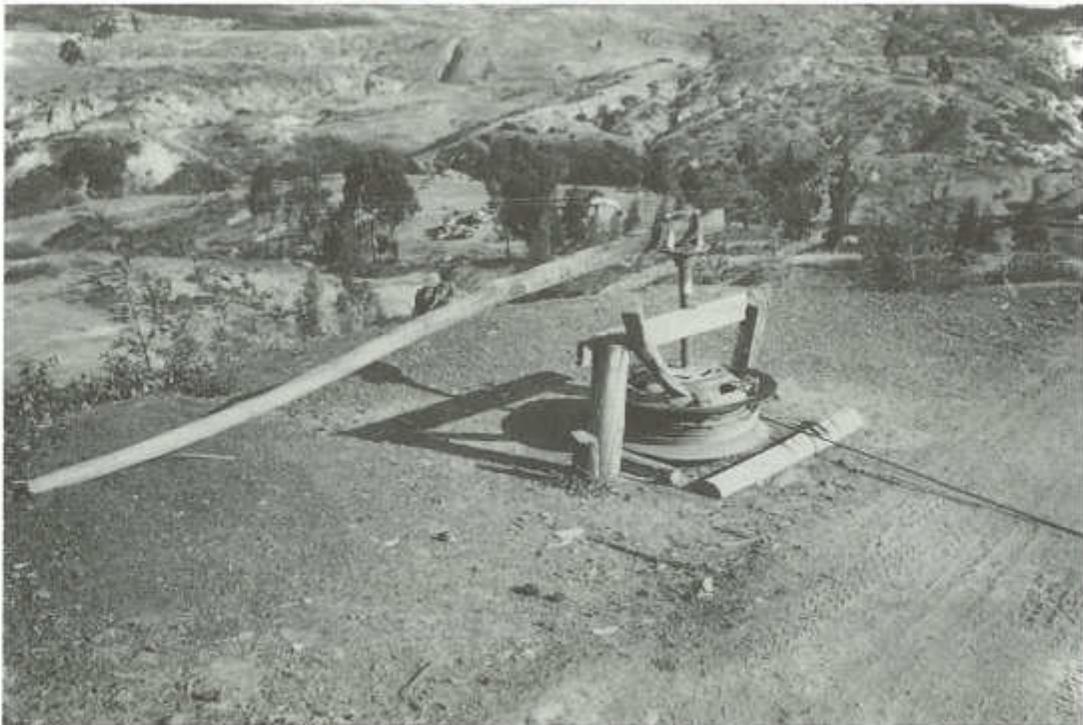
Respecto a la tracción animal en el campo de la minería existen numerosas experiencias de Europa Central de fines del Medioevo hasta el siglo 19 y de la agricultura sobre todo para fines de bombeo, las cuales se pueden traspasar a la actual Pequeña Minería. Los rangos de rendimiento varían notoriamente según el tipo de animal de tracción (por ejemplo, caballo 400 - 1.000 W, mula 300 - 600 W, asno 75 - 200 W, buey 300 - 500 W). Los cameloides de Los Andes (llamas y alpacas) no se pueden utilizar como animales de tracción. En las alturas de Los Andes para fines de planificación se tiene que partir del valor mínimo. Los muy bajos números de revoluciones de los malacates no permiten una transformación en otra forma de energía y limitan el uso a un aprovechamiento mecánico. Las actividades frecuentemente paralelas entre la Pequeña Minería y la agricultura hacen que la utilización solo periódica de animales de tracción en la agricultura parezca ser práctica en la minería.

Debido a la capacidad de los animales de tracción de cubrir a corto plazo diez veces su potencia constante de tracción, el malacate puede reemplazar - según la máquina operadora - pequeños motores cuyos rendimientos están por el factor de dos a tres sobre el rendimiento constante de los animales de tracción.

Una forma especial del malacate es el malacate de polea motriz, el cual antes era bastante divulgado en la minería.

#### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Los malacates son apropiados para el accionamiento de máquinas operadoras de baja potencia, especialmente cuando se trata de maquinarias con bajos números de revoluciones. La posibilidad de fabricación local también puede dar impulsos a desarrollos técnicos para otros ramos de la economía (por ejemplo, agricultura).



Malacate sencillo accionado por asno para el transporte de carbón sin rieles en un pozo inclinado, con un aro de llanta de automóvil como tambor para el cable. Minería del carbón en la región Río Checua, Cundinamarca, Colombia.

## 19.2 MALACATE

Minería en general

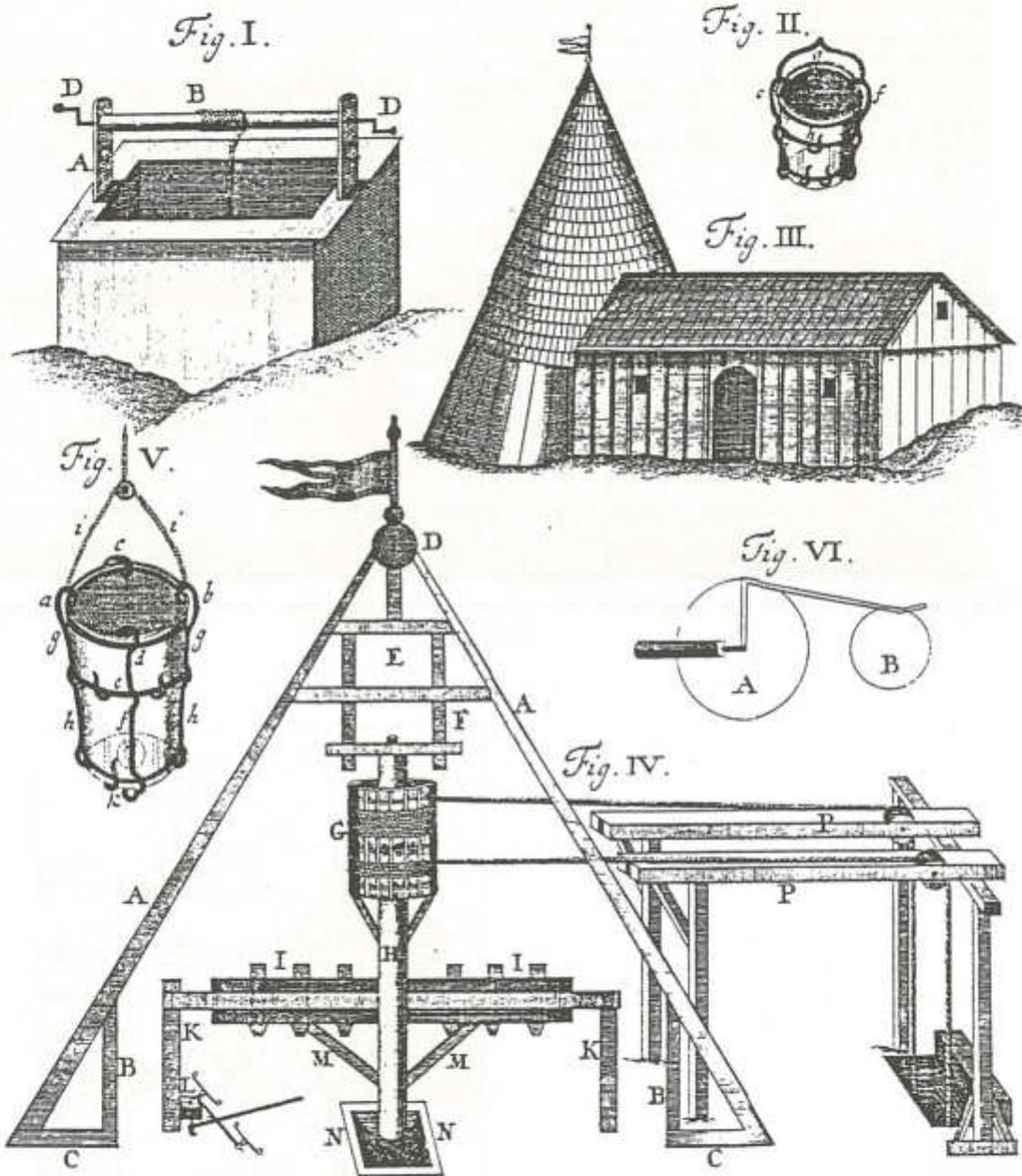
Energía  
Técnicas energéticas



Malacate accionado con un asno, con sogas de cáñamo en operación en una pequeña mina de carbón en la región del Río Checuá.



Dib.: Malacate accionado a caballo para transporte en el pozo, de Agrícola



## 19.3 ELEVADORES DE AGUA

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

Inglés: waterbalance  
Aleman: Wasseraufzüge

### DATOS TECNICOS:

Medidas: según la longitud de la distancia a transportar  
Grado de mecanización: no mecanizado  
Tipo de energía motriz: energía potencial del agua  
Forma de trabajo: semicontinua  
Grado de rendimiento técnico: en construcciones con rodamientos de poca fricción, grado de rendimiento muy alto  
Material: Cuát: agua  
Cantidad: > peso del material a transportar + diferencia del peso de la sogá

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión: mucho más barato en comparación a otras máquinas de extracción debido a que los costos de la sogá, etc. también se presentan en las otras máquinas  
Costos de operación: muy bajos

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo: bajos  altos  
Dos hombres para el llenado y vaciado del agua; estas actividades también pueden ser parcialmente automatizadas.

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al lugar: Grandes cantidades de agua bajo condiciones topográficas apropiadas (diferencias de altura cerca del pozo de extracción, o bien del socavón con afluencia de agua)

Maquinarias que puede hacer funcionar: transporte de agua, de minerales y transporte de personal en el pozo  
Aparato que puede reemplazar: máquinas de extracción mecanizada  
Divulgación regional: hoy en día no más divulgada, antes (siglo XIX), divulgada en Europa

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller metal-mecánico y de carpintería con uso de sogas fabricadas industrialmente; para dispositivos de freno se pueden utilizar elementos de automóvil

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Diferentes ediciones de la revista de Minería-Metalurgia y Salinas en el estado prusiano

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Los elevadores de agua funcionan según el principio de contrapeso. El recipiente a transportar es elevado mediante un contrapeso de mayor peso que es llenado con agua. Para la operación son necesarias dos condiciones:

- el contrapeso tiene que posibilitar una fuerza de tracción mayor a la del peso a transportar.
- la fuerza de tracción del recipiente vacío a transportar tiene que ser mayor que la fuerza de tracción del contrapeso sin agua para posibilitar el retorno de ambos recipientes a la posición inicial

En caso de operar con un contrapeso en una rampa empinada, las fuerzas de tracción deberán ser corregidas con el coseno del ángulo de inclinación. Mientras más horizontal sea la rampa, mayor deberá ser el peso propio y la capacidad de llenado del contrapeso.

## 19.3 ELEVADORES DE AGUA

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

---

### **FORMAS DE USO:**

Transporte hidromecánico de minerales brutos, agua de mina y en caso dado, transporte de personal.

### **OBSERVACIONES:**

El caso de empleo más práctico es siempre en los lugares donde los socavones con agua permiten sin problema el desvío del agua de proceso del contrapeso que sube y baja en el pozo. Históricamente, los elevadores de agua fueron bastante divulgados sobre todo en las minas de carbón inglesas y de Silesia del Norte.

La instalación de los elevadores de agua exige el siguiente resumen de condiciones:

- Infraestructura de la mina: los pozos de transporte deben encontrarse cerca de un carril de contrapeso apropiado (rampa en superficie o pozo). El hecho de que en Latinoamérica predominen las operaciones en socavones resulta limitante para la Pequeña Minería.
- Se debe disponer de una gran cantidad de agua con suficiente potencial de altura (condición topográfica e hidrográfica)

Históricamente, los así llamados hidromotores o motores a presión de agua estaban en uso igualmente para transporte hidráulico (hasta alrededor de mediados de este siglo).

---

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

Las posibilidades del empleo de elevadores de agua son bastante estrechas. Bajo condiciones ideales (hidrográfica, topográfica y de infraestructura en la estructura de la mina), los elevadores de agua posibilitan un transporte sencillo robusto y sin fuerza motriz.

**19.4 GENERADOR EOLICO****Minería en general****Energía  
Técnicas energéticas**

Inglés:	wind generator
Aleman:	Windgenerator
Fabricante:	Elektro, Südwind, Brümmer, Enercon, Electromat y otros

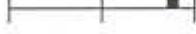
**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	Ø 10 m, altura de la torre 14 m con un generador de 20 kW; Peso: 2.500 kg
Grado de mecanización:	totalmente mecanizado
Tipo de energía motriz:	viento (eólico): para generadores eólicos rápidos de producción de energía eléctrica mínimo 3.5 m/seg, velocidad nominal 11 m/seg; para ruedas de viento lentas son suficientes velocidades de viento mucho menores
Forma de trabajo:	continúa
Producción/Rendimiento:	desde 100 W hasta 50 kW según la demanda
Grado de rendimiento técnico:	hasta máximo 35 % del grado de rendimiento total como $C_p$ (Coeficiente de rendimiento) $\times \eta_m$ (Grado de rendimiento mecánico del convertidor) $\times \eta_{AM}$ (Grado de rendimiento de la máquina operadora)
Materia: Cuál:	viento
Cantidad:	para la generación de energía eléctrica velocidad de arranque: desde aprox. 4 m/seg

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	8000 - 20.000 DM/kW, para instalaciones sin torre de 10 - 30 kW
Costos de operación:	ninguno
Costos derivados:	torre, eventualmente baterías

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	condición para operación constante es una velocidad del viento suficiente en el transcurso del día y del año. Esta debe estar garantizada por mediciones del viento realizadas durante varios años en el lugar de operación.		
Maquinarias que puede hacer funcionar:	motores eléctricos y otras maquinarias de conexión eléctrica.		
Aparato que puede reemplazar:	por ejemplo, generador a diesel, red central de corriente, turbinas a agua con aprovechamiento eléctrico.		
Divulgación regional:	frecuente en países industriales (dependiente del lugar); en países en desarrollo, de menor importancia.		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto
	del rotor, engranajes y generadores, largo; de los acumuladores, limitado		

Literatura, Fuente: Empresas, DVA, de Köning, GATE, STAMPA, Kleemann/ Melip

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

El generador eólico se alinea contra el viento. El rotor se pone en rotación debido a la presión del viento (principio de aspas). El eje del rotor está conectado directamente o mediante un engranaje a un generador asíncrono. La energía es tomada en forma de corriente alterna y consumida o rectificadas y acumulada en acumuladores.

En el aprovechamiento mecánico del viento un varillaje en forma de eje de cigüeñal transmite la energía mecánica a la máquina operadora (sobre todo bombas).

**FORMAS DE USO:**

- producción descentralizada de energía eléctrica en operaciones en islas
- en minería, bombas de agua de uso industrial y de proceso, eventualmente para desagüe en minas de poca profundidad.

**OBSERVACIONES:**

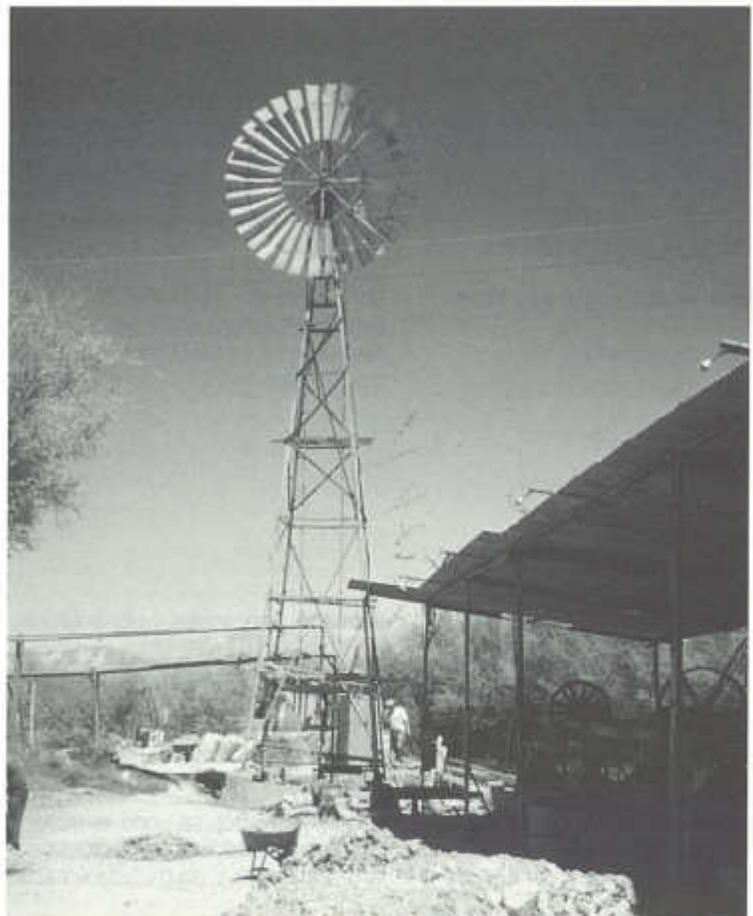
Esta clase de costos de inversiones específicos solamente se pueden respaldar cuando el lugar cumple con las condiciones climáticas óptimas.

Mientras mayores sean los períodos de calma que haya que considerar, mayores serán los costos de inversión para el almacenamiento de energía (baterías con baja corriente de descarga). Estas son caras y comparativamente de poca duración de vida, lo que repercute notoriamente en los costos de operación o sea, de energía. Experiencias de proyectos de investigación del Club Alpino Alemán y de la Sociedad Fraunhofer han dado como resultado que las condiciones de los vientos en las zonas de Los Alpes son bastante irregulares y de ninguna manera se pueden comparar con las de las regiones de las costas, de las cuales actualmente se tienen experiencias para el aprovechamiento del viento para la generación de energía eléctrica. La seguridad ante tormentas y la regulación son actualmente problemáticas, igual que antes en las regiones de Los Alpes. Se teme que estas consideraciones también tengan validez para las zonas altas de Los Andes.

En las regiones orientales del mar Mediterráneo y en Persia se pueden encontrar huellas de experiencias con convertidores a viento de aprox. 1000 años antes de Jesucristo.

**APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

La extrema dependencia del lugar y los altos costos de inversión de un producto importado descartan ampliamente un uso práctico en la Pequeña Minería. Además, un almacenamiento de la energía eólica, por ejemplo, en forma de aire comprimido en la Pequeña Minería, es impagable.



Rueda de viento de varias aspas, de rotación lenta para el transporte mecánico de agua para el beneficio de oro y minerales de cobre en el desierto de Atacama. Detrás de la torre de la rueda de viento, el trapiche para la molienda de los minerales auríferos. Cercanías de Copiapó, III Región, Chile

**19.5 ROTOR SAVONIUS****Minería en general****Energía  
Técnicas energéticas**

Español: motor de impulsión radial  
 Aleman: Savoniusrotor, Durchströmrotor

**DATOS TECNICOS:**

Medidas: 7 x 2.5 x 5 m, (alto, ancho, profundidad, tres aletas), aleta Ø 160 cm  
 Tipo de energía motriz: eólica  
 Producción/Rendimiento: hasta 200 W  
 Material: Cuát: viento  
 Cantidad: desde 3 m/seg

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: aprox. 2000 DM para unidad pequeña  
 Costos de operación: ninguno

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	viento (ver página generador eólico). Se debe recalcar que los rotores Savonius y los motores de impulsión radial son aptos para velocidades bajas (desde 3 m/seg)		
Maquinarias que puede hacer funcionar:	bombas (por ejemplo, compresores pequeños para bombas de expulsión, bombas con llanta como membrana)		
Aparato que puede reemplazar:	ventiladores		
Divulgación regional:	antes, divulgación relativamente amplia		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller de tratamiento de resina sintética reforzada con fibra de vidrio, taller metal-mecánico, taller de carpintería		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Técnica agrícola Weinhenstephan, von König

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Turbina parecida a la turbina de impulsión radial y parcial con la diferencia que el medio de impulsión es aire en movimiento (viento). En las aletas se forma, en el lado cóncavo, una depresión y en el lado convexo, una sobrepresión. El rotor se pone en movimiento rotativo con velocidad de viento suficiente alrededor de su eje vertical. Este movimiento es aprovechado como fuerza motriz mecánica.

**FORMAS DE USO:**

Fuerza motriz discontinua para maquinaria de baja potencia (por ejemplo, bombas). Especialmente bombas para la circulación o elevación de aguas de proceso en el beneficio.

**FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Producción de corriente continua de 12 V con almacenamiento en batería para iluminación u otros consumidores débiles de corriente de baja potencia (por ejemplo, carga de lámparas mineras).

**OBSERVACIONES:**

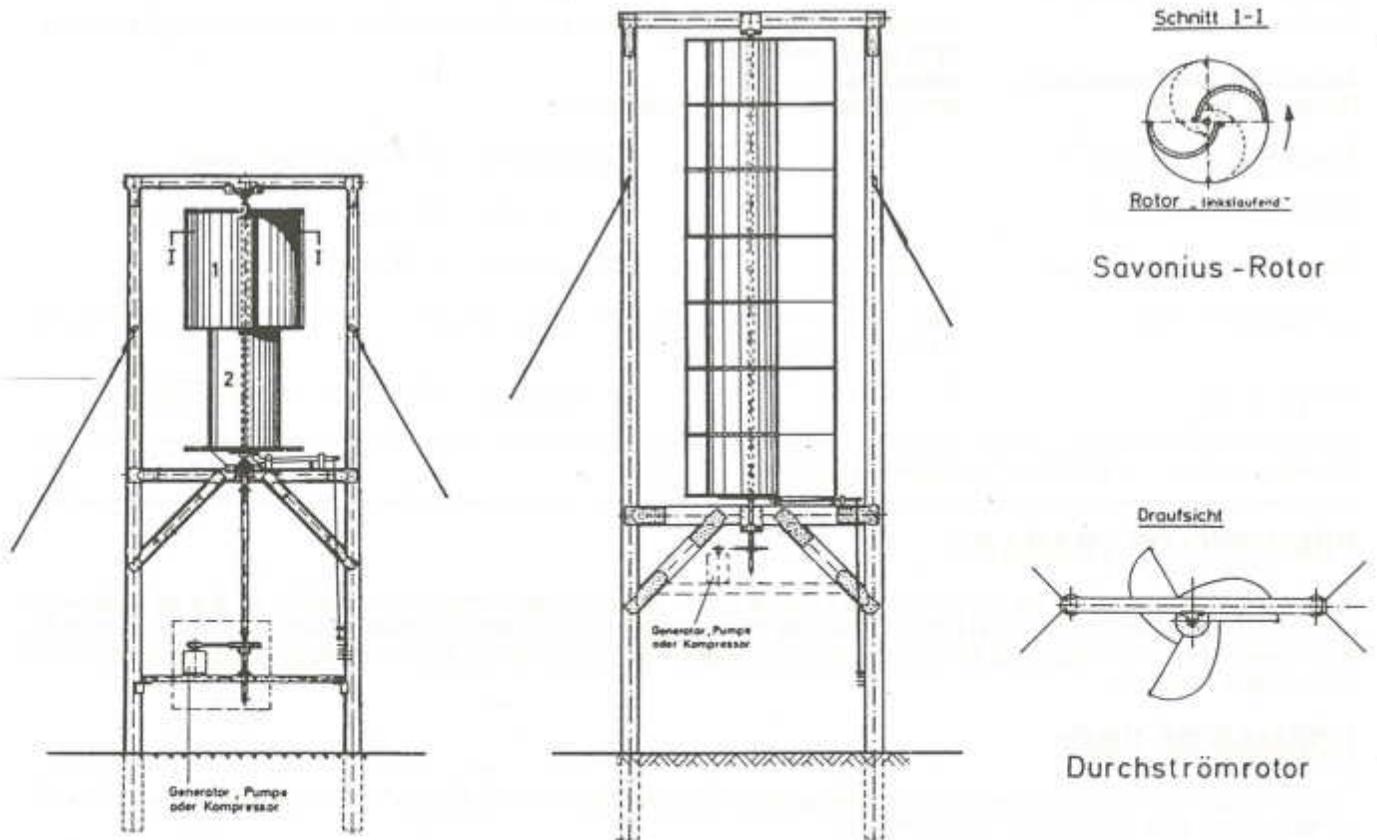
Debido a la falta de planificación del viento el accionamiento mecánico es apto solo para aparatos que pueden operar periódicamente sin vigilancia.

La seguridad del rotor Savonius o bien del motor de impulsión radial contra tormentas es problemática debido a que el rotor expone la misma superficie de choque contra el viento por todos los lados y no existe la posibilidad, como es común, de girarlo del viento. De todas formas, el efecto giroscópico bajo altos números de revoluciones, funciona como estabilizador. Para la construcción local de las torres de los rotores Savonius y de los motores de impulsión radial existe la construcción especialmente económica y sencilla de las uniones con madera redonda.

La desventaja de todas las máquinas a energía eólica consiste principalmente en la necesidad de espacio grande y la difícil planificación de la producción de la energía, condicionada por la oferta de viento que determina la potencia y que varía constantemente.

**APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:**

La Pequeña Minería en Latinoamérica desde el punto de vista de su localización es solo raramente apta para la utilización de la energía eólica, de tal manera que el aprovechamiento mecánico predestinado de los rotores Savonius y de impulsión radial, es solo condicionado.



Dib.: Rotor Savonius (izquierda y derecha arriba) y motor de impulsión radial en vista frontal y corte, de técnica agrícola Weinhenstephan

**19.6 RUEDA DE AGUA****Minería en general****Energía  
Técnicas energéticas**

Español:	rueda hidráulica, malacate a agua
Inglés:	waterwheel
Aleman:	Wasserrad, Wassergöpel
Fabricante:	M. Implert, Filou

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	las ruedas de agua se utilizan en la Pequeña Minería desde 80 cm hasta sobre 7 m de diámetro. Por ejemplo <u>rueda de agua de carga superior</u> : con volumen de celdas de aprox. 27 lt, diámetro aprox. 4 m, aprox. 40 celdas, ancho aprox. 70 cm, eje aprox. 3 m	
Peso:	por ejemplo, 1.700 kg de una rueda de agua de carga superior de 4 m de diámetro; 950 kg de una de diámetro de 2.5 m; 700 - 800 kg de una de rueda de Zupping de 2.5 m de diámetro	
Tipo de energía motriz:	hidromecánica	
Forma de trabajo:	continua	
Producción/Rendimiento:	hasta aprox. 10 kW	
Grado de rendimiento técnico:	ruedas con carga superior máximo	aprox. 70 %
	ruedas con carga intermedia	aprox. 60 %
	ruedas con carga inferior mínimo	aprox. 32 - 38 %
	ruedas Zupping	aprox. 65 - 70 %
Material: Cuál:	agua	
Cantidad:	aprox. 100 lt/seg, o bien menos en ruedas más pequeñas	

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	en Alemania: rueda hidráulica de carga superior con 4 m de diámetro: 25.000 DM; con 2.5 m de diámetro: 15.000 DM; en países en desarrollo, mediante la fabricación local en parte costos más bajos, por ejemplo, para una rueda de madera de carga superior de 5 m de diámetro en Colombia: 1300 DM
Costos de operación:	prácticamente ninguno
Costos derivados:	construcciones hidráulicas, protección contra aguas altas

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	necesidad de agua y de caída:		
para las ruedas de carga superior:	aprox. 1 m más el diámetro de la rueda.		
para las ruedas de carga intermedia:	radio de la rueda		
para las ruedas de carga inferior:	en caso de altas velocidades de corriente no es necesaria la caída		
Maquinarias que puede hacer funcionar:	equipo para ventilación del Harz, bomba de mecate, transporte en botas de aro, güinche, polipasto, bomba con llanta como membrana, molino a bolas, batería de piones, trapiche, criba vibradora, trómel clasificador, atrisionador, jigs, mesa cónica, mesa de concentración a golpes		
Aparato que puede reemplazar:	generadores y todas las fuerzas motrices mecánicas, turbinas para varios usos, motores a combustión, turbina a cable.		
Divulgación regional:	desde el punto de vista histórico, mundialmente; actualmente, en la Pequeña Minería en Colombia y Ecuador.		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller metal-mecánico, de carpintería y de resina sintética reforzada con fibra de vidrio		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto
	dependiente de la protección contra aguas altas		

## 19.6 RUEDA DE AGUA

### Minería en general

### Energía Técnicas energéticas

Literatura, Fuente: Fabricante, Agrícola, Delius, v. König, Bach, Beyrich, Hartmann, Henne, Mager, Meyer, Müller, Ovens, Redtenbacher, J. Reynolds, T.S. Reynolds, Shaw, Utta, Garrad, Fyfield-Shayler, Hütte, Wagenbreth

#### **PRINCIPIO DE TRABAJO:**

##### **En las ruedas de carga superior e intermedia (ruedas con celdas):**

Los recipientes de agua colocados en la periferia de la rueda son llenados con agua de impacto y mueven la rueda debido al efecto de palanca. En el punto inferior de rotación se vacían nuevamente los recipientes.

##### **En las ruedas de carga inferior (ruedas con cucharas):**

Las paletas colocadas en la rueda en forma radial ponen en rotación a ésta mediante la acción de la fuerza de la corriente de agua.

#### **FORMAS DE USO:**

Generación de energía

- para la producción de energía eléctrica o
- para el aprovechamiento del momento de rotación para el impulso mecánico de maquinarias

#### **OBSERVACIONES:**

Las ruedas de agua fueron descritas ya desde 230 años antes de Cristo por Filón.

Las ruedas de agua son el aprovechamiento más simple de la energía de la corriente de agua. En general, se diferencia entre ruedas de agua con carga inferior, con carga intermedia, con carga superior con eje horizontal; ruedas de agua con eje vertical (por ejemplo, rueda de cucharas, Ghatta/Nepal) y ruedas de agua en pontones o ruedas de agua para generar corriente eléctrica (como casos especiales de ruedas de agua con carga inferior, ver ficha técnica 10.8).

En general, las ruedas de agua no están predispuestas a daños por cargas de sedimentos o por hielo, sin embargo se debe prever necesariamente una protección contra aguas altas. La ventaja cuando se trata de una buena construcción (cojinete de rodillos) es el alto grado de rendimiento, incluso con carga parcial.

Otras ventajas de la rueda de agua son:

- Momento de inercia grande, o sea especialmente apto para el impulso directo de maquinarias de rotación lenta y maquinarias con resistencia variable
- obras hidráulicas sencillas
- muy apropiada para cantidades de agua pequeñas y fuertemente variables
- de buena construcción, grado de rendimiento hasta de 80 %
- poco mantenimiento, fácil reparación, larga duración de vida
- es posible fabricación local sencilla
- con ayuda de medidas de represamiento es posible almacenar agua o sea energía

Las desventajas son el gran peso y la gran necesidad de espacio, como también en las ruedas con carga superior, la pérdida de altura por el espacio libre entre rueda y nivel inferior.

La velocidad de rotación deberá ser lo más pequeña posible, debido a que con altos números de revoluciones las celdas se vacían antes de tiempo por la fuerza centrípeta.

Momento de rotación de arranque alto. Número de revoluciones, aprox.  $10 \text{ min}^{-1}$ . Al contrario de las turbinas las ruedas de agua son máquinas que funcionan con la fuerza gravitacional. En relación al grado de rendimiento en buena construcción hasta una potencia de aprox. 10 kW, son superiores a las turbinas. Condicionada por el bajo número de revoluciones (5 - 20 r/min) la transformación en otra forma de energía (eléctrica) es difícil o bien imposible (neumática). Para impulsos mecánicos directos de rotación lenta (hasta aprox. 300 r/min) las traducciones se pueden realizar mediante arrastres de fuerza o de forma por correas. Una transmisión a distancia de la energía generada por la rueda de agua es imposible. Por eso, la producción y consumo están unidos directamente al lugar de la fuente energética, el agua. Esto puede hacer necesario costosas construcciones hidráulicas o impedir totalmente el aprovechamiento de la energía hidromecánica. Las condiciones climáticas y geográficas en la zona andina con altas precipitaciones temporales y relieves suficientes ofrecen en muchos lugares de

## 19.6 RUEDA DE AGUA

### Minería en general

### Energía Técnicas energéticas

operación de la Pequeña Minería la posibilidad del aprovechamiento de la energía de la corriente de agua mediante ruedas de agua y turbinas pequeñas. El alto consumo de agua para el proceso del beneficio hidromecánico en la Pequeña Minería posibilita frecuentemente el abastecimiento hidromecánico de energía.

Formas de construcción: rueda de Zupping como la forma de construcción más favorable de la rueda de agua con carga inferior

Material de construcción: madera y fierro, resina sintética reforzada con fibra de vidrio

Ventajas de las ruedas de agua de construcción de madera:

- + desarmable
- + ninguna deposición de cal
- + más fácil de construir, de desarmar y de reparar
- + inmune a aguas ácidas
- + fácil de centrar

En aguas pantanosas se deben impregnar las partes de madera (con sal romana) debido a que las deposiciones de musgos llevan a la putrefacción.

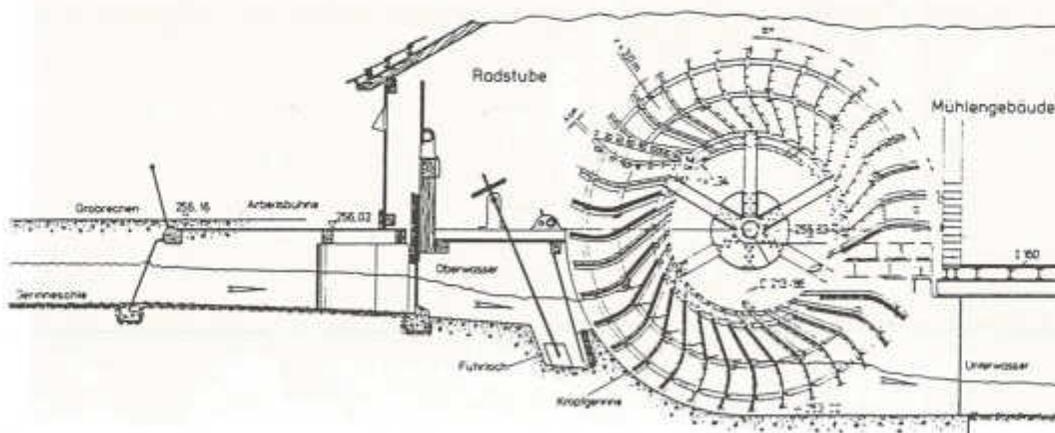
La suspensión de las ruedas de agua se realiza sobre soportes de bronce o bloques de apoyo de esteatita. En caso de que varias ruedas de agua con carga superior estén colocadas una detrás de otra al mismo nivel, el agua de alimentación es conducida por una canaleta para todas las ruedas. Las ruedas reciben la carga de agua levantando tapas en el piso de la canaleta.

Las ruedas de agua normales trabajan en una sola dirección de rotación. Para fines de transporte se han desarrollado ruedas con posibilidad de rotación a ambos lados (con carga superior). Consisten en una unidad de dos ruedas con carga contraria. Mediante el cambio de la corriente del agua de alimentación de una canaleta a la otra se logra el cambio de dirección de rotación. Estas ruedas con posibilidad de rotación a ambos lados fueron frecuentemente instaladas en interior mina apenas un poco por encima del nivel de desagüe y tenían diámetros hasta de 15 m.

En el transporte en pozos mediante ruedas con capacidad de rotación a ambos lados se alcanzaron rendimientos de 7.4 - 11 kW con velocidades de transporte de 0.65 - 1.4 m/seg y capacidades de recipientes de transporte hasta 1.2 m<sup>3</sup>. Las profundidades máximas alcanzadas fueron máximo hasta de 550 m.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

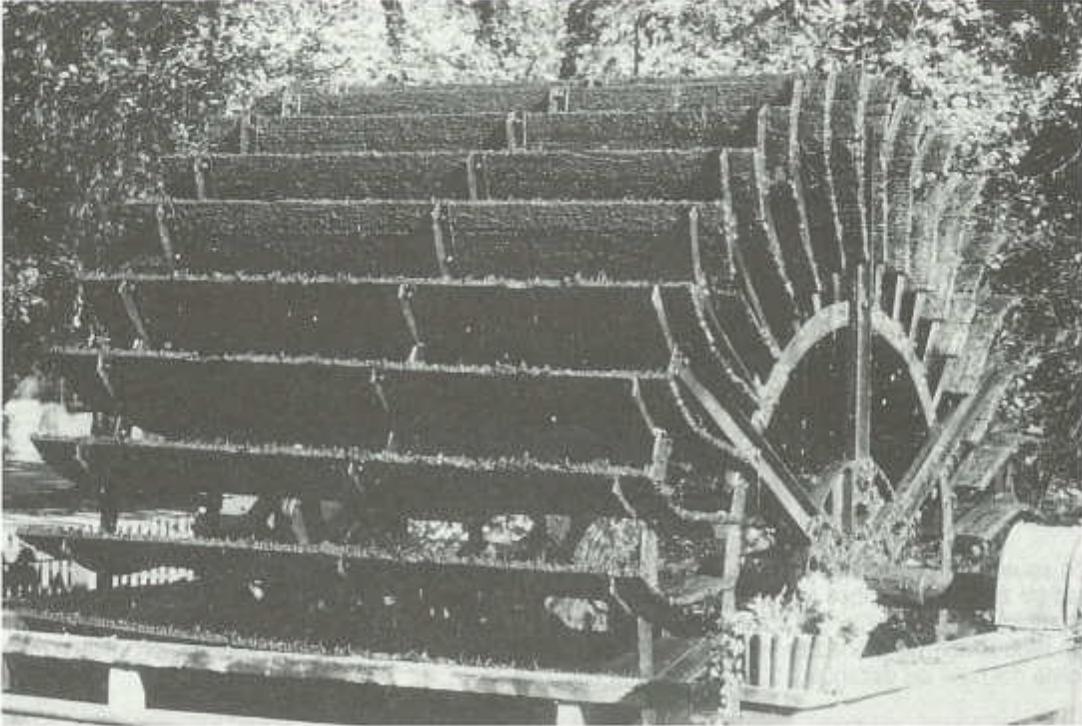
Las ruedas de agua son aptas para el empleo en la Pequeña Minería en Latinoamérica debido a sus variadas posibilidades de impulso mecánico directo de máquinas mineras y de beneficio. A pesar de los costos de inversión relativamente altos, son fáciles de construir localmente con materiales del lugar y se caracterizan por los costos muy bajos de operación, mantenimiento y reparación.



Dib.: Rueda de agua con carga inferior en un molino, de Eckholdt

**19.6 RUEDA DE AGUA**

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

Rueda de agua de Zipping con carga inferior para el accionamiento mecánico de una fábrica de papel. Diámetro de la rueda aprox. 6 m, ancho aprox. 2 m, rendimiento aprox. 10 kW. Gauting cerca de München, Alemania



Rueda de agua de hierro de carga superior para el accionamiento de una batería de pisones en Portovelo, El Oro, Ecuador

## 19.6 RUEDA DE AGUA

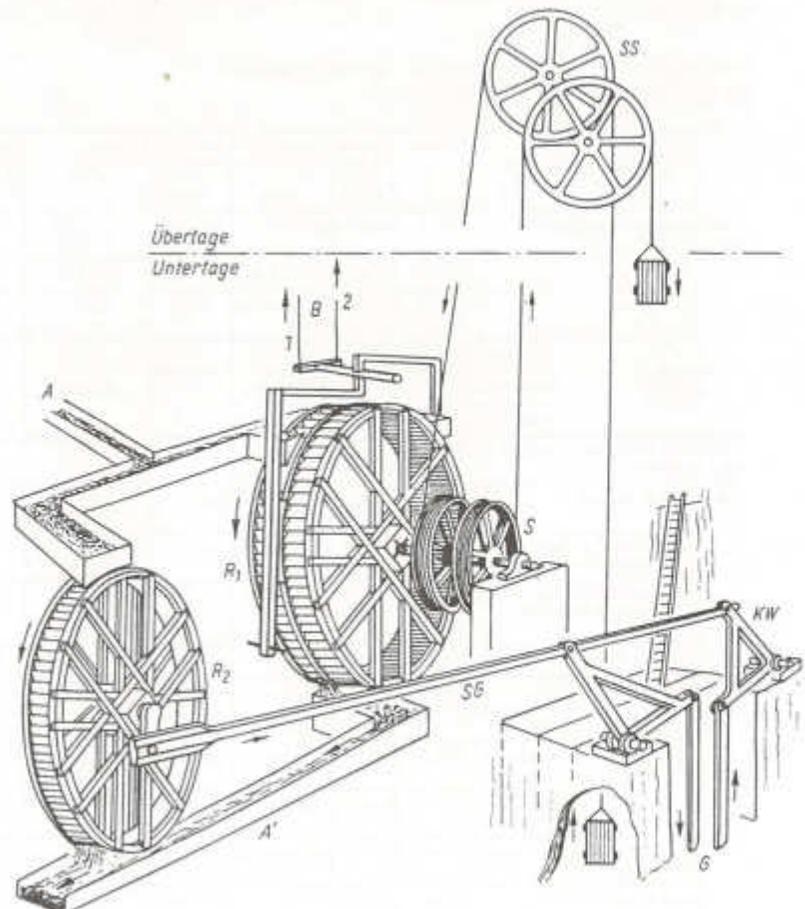
## Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

Rueda de agua pequeña con carga superior para el accionamiento de una mesa concentradora a golpes. La Llanada, Nariño, Colombia

Dib.:

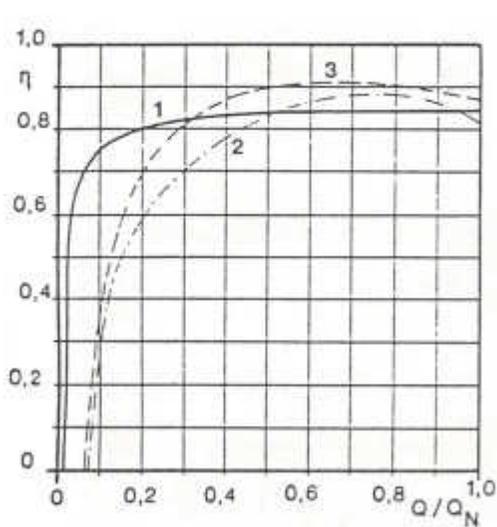
Ruedas de agua abastecedoras de energía en minería; A canaleta de alimentación, A' canaleta de evacuación (las protecciones no están dibujadas), R1 rueda de rotación a ambos lados, S canastos, SS discos para el cable, B mecanismo de freno, (el tirar de 1 suelta el freno, el tirar de 2 acciona el freno) R2 rueda, SG varillaje, KW ángulo (hierro fundido), G varillaje del pozo, de Wagenbreth



19.6 RUEDA DE AGUA

Minería en general

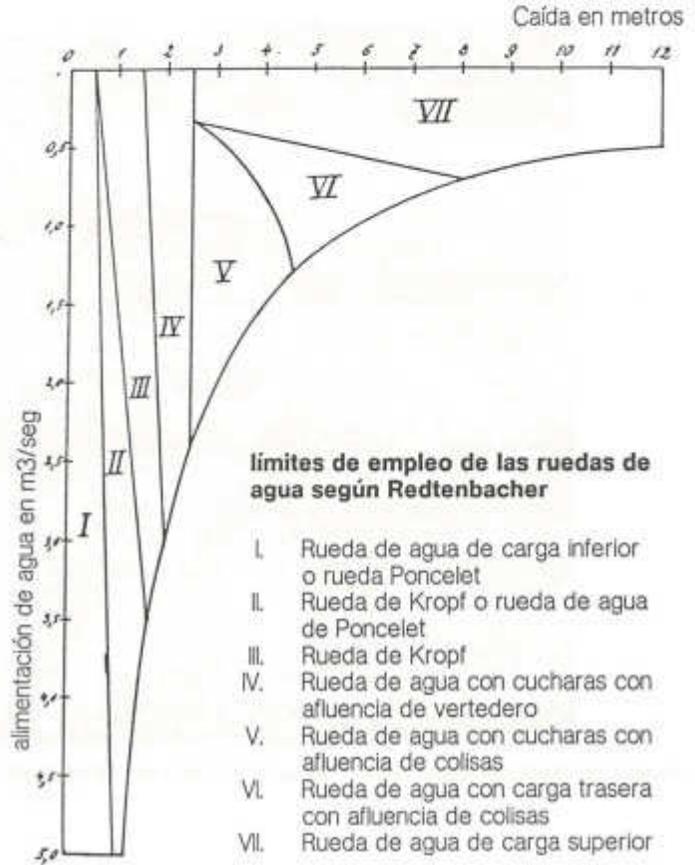
Energía  
Técnicas energéticas



Dib.: (arriba) curso del grado de rendimiento de una rueda de agua con carga superior (1) en comparación con una turbina Francis (2) y una turbina Kaplan (3) con carga parcial, de König

Dib.: Límites de usos de las diferentes ruedas de agua, de Beyrich

Dib.: Relaciones de tamaño y grados de rendimiento de las ruedas de agua, de Müller



límites de empleo de las ruedas de agua según Redtenbacher

- I. Rueda de agua de carga inferior o rueda Poncelet
- II. Rueda de Kropf o rueda de agua de Poncelet
- III. Rueda de Kropf
- IV. Rueda de agua con cucharas con afluencia de vertedero
- V. Rueda de agua con cucharas con afluencia de colisas
- VI. Rueda de agua con carga trasera con afluencia de colisas
- VII. Rueda de agua de carga superior

Denominación de la rueda de agua	Caída H m	Cantidad de agua Q m³/seg	Velocidad de afluencia v m/seg	Velocidad periférica v m/seg	Diámetro de la rueda D m	Cantidad de agua para 1 m ancho de rueda m³/seg	Grado de rendimiento	Observaciones	
<b>RUEDA CON CELLAS</b>									
Rueda de contragolpe	3 - 7	0,05-0,5	0,9 /2gh	1,4 - 1,6	1,3 - 1,4 H 4 - 6 m	0,1 - 0,2	0,65-0,70		
Rueda Millot	2 - 4	0,15-0,5	1,4 - 1,75	1,2 - 1,5	1,8 - 2 H	0,250	0,65-0,70	construida rara vez	
Rueda Pfister	3 - 6	0,02-0,4	0,85-0,942gh	0,5 c	30 dh n	0,15	0,65-0,75	construida rara vez	
Rueda de carga superior	caída pequeña	3 - 5	1,1 - 1,5 v	1,3 - 1,6	H-(h/3a)	0,1 - 0,2	0,65-0,75		
	caída mediana	5 - 7					0,06-0,7	0,75-0,80	
	caída grande	8 - 12					0,05-0,5	0,80-0,85	
<b>RUEDA CON CUCHARAS</b>									
Rueda hidráulica en canalata de tracción	2 - 10	3 - 6	3 - 6	2,5	4,5 - 5,5	1,5 - 2,5	alrededor 0,35		
Rueda de Poncelet	0,5-2	0,5-6	0,95-1,2gh	0,95 c	2(H+1a) 3 - 6 m	0,5-0,8	0,60-0,70	no se construye más	
Rueda de Kropf de carga inferior con protección de flaje	0,3-2	0,4-2,5	0,6-0,742gh	2-2,5	4-6	0,5-0,8	0,55-0,60		
Rueda de Kropf de carga inferior con protección oblicua de afluencia	0,5 - 2	0,5-3,5	0,7-0,842gh	1,75	4,5 - 6,5	0,4 - 0,7	0,65-0,70		
Rueda con cucharas con afluencia de vertedero	1,5-2,5	0,4-2,5	2,4-3	1,6-2	2,5 H - 3 H	0,5-0,8	0,60-0,70	de funcionamiento rápido, construcción antigua	
Rueda con vertedero según Sittenauer	pequeña cantidad de agua	0,75-1,5	en promedio	1,1-1,25	2(H+c-hbás.-hlt.) Z	0,350-0,6	0,70-0,75		
	mejor cantidad de agua	1,0-3,5		2-7	1,3-1,6	+ 1 H	0,7-1,2	0,75-0,78	
	caída más alta	3-4		0,75-3	1,2-1,5v	1,4-1,6	4,5-8 m	0,5-0,8	0,75-0,80
Rueda con cucharas con afluencia de colisas, según Sach	1,5-4,5	0,4-1,5	0,90-0,942gh	1,6-2,2	H + 3,5 m máx. = 7-7,5 m	0,4-0,5	0,75-0,80		
Rueda Zupinger con cachelones laterales	0,6-3	0,5-6	1,7-2	1,4-1,6	3-6 m	0,5-1,0	0,65-0,75	mayormente hecha de maderas, modelo antiguo	

**19.7 RUEDA DE CUCHARAS** Minería en general**Energía  
Técnicas energéticas**

Inglés:	bucket wheel mill
en Nepal:	ghatta
Aleman:	Löffelrad

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	Diámetro 0.7 - 2 m, altura de la rueda de cucharas aprox. 0.2 - 1 m, 7 - 10 cangilones (máx. 18)
Peso:	desde aprox. 25 kg
Tipo de energía motriz:	hidromecánica
Forma de trabajo:	continua
Producción/Rendimiento:	hasta aprox. 1 kW, número de revoluciones 50 - 100 min <sup>-1</sup>
Grado de rendimiento técnico:	aprox. 10 - 30 %, en Nepal 20 - 25 %; con buena suspensión y cangilones como también con planchas conductoras en la alimentación, notoriamente mayor (50 - 55 %)
Material: Cuát:	agua
Cantidad:	40 - 80 lt/seg

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	en construcción propia desde aprox. 100 DM
Costos de operación:	muy bajos
Costos derivados:	construcciones hidráulicas: presa, canal de desagüe, canaleta de alimentación

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	caída relativamente grande con cantidad de flujo necesario relativamente pequeño, por ejemplo, 20 lt/seg y 10 m de caída resulta 0.5 kW, caída mínima aprox. 2 m. La rueda de cucharas tiene que estar sin embargo construída siempre por encima del nivel de agua máximo del cauce		
Maquinaria que puede accionar:	por ejemplo, centrífuga para oro, eventualmente cribas vibradoras, canaletas vibradoras, pequeños jigs, mesas cónicas, pequeñas mesas concentradoras, vibradoras y a golpes		
Aparato que puede reemplazar:	pequeños motores eléctricos o a combustión con eje vertical para accionamiento		
Divulgación regional:	en Nepal, para el accionamiento de molinos de cereales con piedras de molino hasta > 50 kg están aún en uso y su divulgación es fomentada; en Chile, en la Isla Chiloé; en Bolivia, en el Departamento de Cochabamba en la técnica posterior a la cosecha, también en los Balcanes; en Colombia para accionar molinos de arrastre.		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	taller de carpintería sencillo. La rueda de cucharas es, desde el punto de vista constructivo, la maquinaria de fuerza motriz hidromecánica más sencilla y pequeña; maquinarias mejoradas de hierro.		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Nepal, Hydronet, 1/88, 1/89, 2/89

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Las ruedas de cucharas son los predecesores de las turbinas de chorro libre y tienen un eje vertical. El agua fluye con gran velocidad y corre oblicuamente tangencial a las paletas de la rueda con forma de cuchara o de tabla plana y de esta manera, pone la rueda en movimiento.

## 19.7 RUEDA DE CUCHARAS Energía Técnicas energéticas

### **FORMAS DE USO:**

Como fuerza motriz hidromecánica para maquinarias con baja potencia de accionamiento y relativamente bajo número de revoluciones.

### **OBSERVACIONES:**

Antes, amplia divulgación en los Balcanes, Austria, Sud Tirol.

Hoy día, todavía divulgado en la técnica posterior a la cosecha en Nepal, Chile y Bolivia.

Es ventajoso el hecho del eje vertical, el cual posibilita una conexión directa, por ejemplo, con piedras de molino, trapiches, etc.

Otra ventaja consiste en que esta máquina de fuerza motriz con poca necesidad de mantenimiento puede ser colocada directamente debajo de la máquina a poner en funcionamiento.

La desventaja es que el número de revoluciones de las ruedas de cucharas apenas se pueden influenciar externamente.

La suspensión de la rueda de cucharas y piedras de molino se realiza en Nepal sobre apoyos de bambú, los que son notoriamente más baratos, más duraderos y muy fáciles de construir.

En Nepal entre tanto, algunas instalaciones se han equipado con un pequeño generador de corriente alterna para la producción de electricidad con fines de iluminación.

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Las ruedas de cucharas son máquinas motrices muy sencillas y económicas en el rango de potencia hasta aprox. 1 kW, se pueden utilizar para impulsar maquinarias de beneficio mediante el aprovechamiento directo del momento de rotación del eje vertical de la turbina.



Rueda de agua horizontal tradicional en Nepal (ghatta) para el impulso de un pequeño molino de cereales. Diámetro de la rueda aprox. 1.20 m

**19.8 TURBINA A CABLE****Minería en general****Energía  
Técnicas energéticas**

Inglés: rope turbine  
 Aleman: Seilturbine  
 Fabricante: Campo Nuevo

**DATOS TECNICOS:**

Medidas: dos roldanas de retorno con aprox. 1.5 m de diámetro, distancia aprox. 10 m  
 Peso: aprox. 50 kg  
 Tipo de energía motriz: energía de la corriente de agua, donde son suficientes pequeñas diferencias de altura, pero gran velocidad de la corriente  
 Forma de trabajo: continúa  
 Producción/Rendimiento: aprox. 0.5 kW con muy bajo número de revoluciones  
 Material: Cuát: agua

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: construcción local: aprox. 200 DM  
 Costos de operación: bajos  
 Costos derivados: ninguno, eventualmente pequeñas construcciones hidráulicas

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

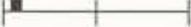
Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al lugar: para la turbina a cable son suficientes lugares con pequeña cantidad de agua corriente y pequeña diferencia de altura, pero con corriente rápida. Mediante la construcción de un canal (por ejemplo, de planchas de zinc o de la mitad de un tubo plástico (PVC)) para la recepción del agua y de la parte inferior, del cable se podría mejorar el rendimiento de la turbina.

Maquinarias que puede hacer funcionar: movimientos de rotación lentos, por ejemplo, mesas de concentración cónicas, equipo para ventilación del Harz

Aparato que puede reemplazar: motores eléctricos reducidos

Divulgación regional: hasta ahora, no divulgado

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller de carpintería sencillo para las roldanas de retorno, soga de material plástico, para los baldes partes de goma de los neumáticos de automovil

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: fabricantes, Hentschel

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Una soga puesta en tensión mediante dos roldanas de retorno sobre el cauce del río. Recipientes de goma flexible están colocados en la soga, cuyas aberturas están contrapuestas a la dirección de la corriente del agua. La parte inferior de la soga de la turbina cuelga en el agua. Los recipientes con aberturas contra la corriente se llenan de agua que los arrastra de acuerdo a la presión hidrodinámica en dirección de la corriente. Siempre cuelgan varios recipientes en la corriente del agua simultáneamente. En la roldana inferior los recipientes salen del agua y se vacían. Encima del nivel del agua se mueve la parte superior de la soga hacia la roldana superior.

## 19.8 TURBINA A CABLE

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

### **FORMAS DE USO:**

Para la producción de rotaciones lentas con gran momento de rotación en zonas con energía de corriente de agua relativamente pequeña.

### **OBSERVACIONES:**

La desventaja, para muchos casos de mecanización, son los números de revoluciones extremadamente bajos ( $< 100 \text{ min}^{-1}$ ), se pueden emplear como fuerzas motrices solo para pocas máquinas, por ejemplo, para mesas de concentración cónicas. Existe demanda de investigación y desarrollo.

### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Es necesario un desarrollo de la turbina a cable para adaptarla al uso de la Pequeña Minería. Caso contrario, se queda como no apta para empleos prácticos como fuerza motriz.



Prototipo de una turbina a cable, en la cercanía de La Paz, Bolivia.

**19.9 CELDAS SOLARES****Minería en general****Energía  
Técnicas energéticas**

Español:	fotovoltaica
Inglés:	solar cells
Aleman:	Solarzellen, Photovoltaik

**DATOS TECNICOS:**

Medidas:	según el rendimiento aprox. 1 m <sup>2</sup> /100 W
Peso:	2.5 kg/100 W
Tipo de energía motriz:	solar
Forma de trabajo:	semicontinua, análoga a la intensidad de irradiación del día
Producción/Rendimiento:	sin carga 0.55 V por celda, con carga hasta 0.35 V, tensión nominal 0.45 V
Grado de rendimiento técnico:	13 - 15 %

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión:	aprox. 20 DM por Watt, tendencia descendente
Costos de operación:	ninguno
Costos derivados:	baterías de almacenamiento, reóstato

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	sol, irradiación global		
Maquinaria que puede hacer funcionar:	ninguna, campo de empleo, por ejemplo, estación de carga para lámparas eléctricas; iluminación con lámparas que ahorran energía, vibradores de corriente continua (kV)		
Aparato que puede reemplazar:	generadores muy pequeños para la producción de corriente		
Divulgación regional:	mundialmente, en ascendencia		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	no es posible		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: GTZ, Suntronic, Rau

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

En las celdas solares la energía lumínica es transformada en corriente en forma fotovoltaica. Las celdas solares constan de silicio mono o semicristalino o amorfo que está provisto de boro o bien de fósforo N/P. La superficie y reverso están equipados con electrodos. Mediante la incidencia de la luz se producen portadores de carga libres que por medio de difusión en la celda solar producen tensión eléctrica. La intensidad de corriente y la tensión eléctrica pueden ser aumentadas mediante conexiones de varias celdas solares en paralelo o bien en serie.

**FORMAS DE USO:**

Las celdas solares son aptas para la producción de corriente eléctrica en rangos de baja tensión y de baja potencia, por ejemplo, iluminación, carga de lámparas mineras eléctricas, carga de baterías de almacenamiento para fines de iluminación.

**OBSERVACIONES:**

Debido a la simplificación técnica en la fabricación los precios de las celdas solares en el futuro seguirán bajando.

## 19.9 CELDAS SOLARES

### Minería en general

### Energía Técnicas energéticas

Las celdas solares, debido a su fabricación técnica complicada, se caracterizan ahora como antes por sus costos de inversión muy altos. Por eso, pueden ser recomendadas solo para muy bajos rangos de potencia. Por lo tanto, su empleo en la Pequeña Minería en Latinoamérica se debe considerar como práctico, sobre todo debido a que en el rango de potencia hasta 200 W existe principalmente demanda para:

- Iluminación, por ejemplo con lámparas que ahorran energía
- Estaciones para cargar lámparas
- Medios de comunicación audiovisual (televisión, radio, etc.)
- Vibradores pequeñísimos para el beneficio

La temperatura externa influye en la potencia eléctrica de las celdas solares. En general vale: Mientras menor sea la temperatura, mayor será el rendimiento (0.3 % por grado C). En general, las celdas solares (ver tabla siguiente) trabajan en el rango de temperatura de - 50° C hasta + 120° C. Este hecho, en combinación con la larga duración de radiación solar y la gran cantidad de radiación global en la zona alta de Los Andes del sub trópico (Sud Perú, Bolivia), proporciona condiciones naturales ideales para el empleo de las celdas solares.

De esta manera, el fotovoltaaje en el rango más bajo de potencia es una alternativa ecológica sin lugar a dudas comparada con otros generadores (motor a combustión, generadores hidroeléctricos pequeños). De Bolivia se conocen pequeñas operaciones mineras en las que un generador a bencina diariamente funciona varias horas solo para cargar las lámparas de mina.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Las celdas solares son capaces de competir, respecto a la inversión, con otras fuentes de energía solamente en el rango más bajo de potencia (hasta máximo 200 W). La independencia del abastecimiento de insumos y las condiciones naturales más favorables favorecen a las celdas solares en la Pequeña Minería en Latinoamérica para fines de la carga de acumuladores de lámparas para interior mina.

Tabla: Coeficientes de temperatura típicos para celdas solares, Información de la empresa Suntronic

Rango de temperatura:		- 65° C - + 125° C		
Temperatura máxima:		+ 250° C para 30 min. (por corto tiempo 300° C)		
TENSION	aumenta en	2 mV° C	debajo	25° C
	disminuye en		sobre	
CORRIENTE	aumenta en	25 $\mu$ A cm <sup>2</sup> /° C	debajo	25° C
	disminuye en		sobre	
POTENCIA	aumenta en	0.3 %/° C	debajo	25° C
	disminuye en		sobre	

**19.10 COLECTOR SOLAR****Minería en general****Energía  
Técnicas energéticas**

Español: colector solar (termico solar), colectores de baja temperatura, colectores planos  
 Aleman: Sonnenkollektor (solarthermisch), Niedertemperaturkollektoren, Flachkollektoren

**DATOS TECNICOS:**

Medidas: según el tamaño y la intensidad de las radiaciones  
 Potencia motriz: eventualmente bombas de circulación para transporte del medio  
 Tipo de energía motriz: intensidad de radiación para circulación de energía eléctrica  
 Posibilidades alternativas: colector de gravedad, o sea aprovechamiento de la diferencia de densidad de los medios de diferente temperatura  
 Forma de trabajo: continua  
 Grado de rendimiento técnico: entre 85 % y 65 % (máximo) y pérdidas entre 7.5 y 1.5 W/m<sup>2</sup>K  
 Material: medio colector, por ejemplo agua, aceite

**DATOS ECONOMICOS:**

Costos de inversión: en Alemania aprox. 300 - 800 DM/m<sup>2</sup> según el tipo de construcción  
 Costos de operación: extremadamente bajos

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo: bajos  altos

Gastos de mantenimiento: bajos  altos

Exigencias al lugar: se necesita fuerte energía de radiación solar durante las horas del día y todo el año  
 Maquinaria que puede hacer funcionar: se puede emplear para la calefacción, para el precalentamiento de agua para procesos  
 Aparato que puede reemplazar: ayuda a ahorrar combustibles especialmente en zonas áridas pobres en vegetación  
 Divulgación regional: entre tanto, mundialmente

Experiencia del operador: muy buena  mala  
 Sin contar las grandes oscilaciones de la tasa de cobertura solar durante el día y el año

Contaminación ambiental: baja  muy alta

Facilidad de fabricación local: muy buena  mala

Bajo qué condiciones: taller sencillo para el tratamiento de metales y materiales plásticos

Tiempo de vida: muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Kleemann, Meliss; Patente E. Körber P 2713 810.9 y P 2804999.2

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Los colectores solares transforman la luz solar incidente en calor. Para ello, el colector plano posee el así llamado absorbente, una plancha negra de metal o material plástico que absorbe la luz y la transforma en calor perceptible. Debajo del absorbente se encuentran tubos por los que fluye un medio portador de calor (por ejemplo, agua, aceite, aire). Este medio transporta el calor del absorbente a un sistema de aprovechamiento. Para que el colector pierda la menor cantidad de calor posible en el ambiente, está provisto de un aislante en la parte posterior y está cubierto por una o más planchas transparentes en la parte delantera. Esta instalación de colector se coloca contra la dirección promedio de irradiación para transformar en lo posible mucha energía mediante irradiación perpendicular.

**FORMAS DE USO:**

En el campo del beneficio, calentamiento del agua de proceso.  
 Colectores de aire para el secado.

**FORMAS ESPECIALES DE USO:**

Efectos de la tecnología (agua caliente para lavarse, ducharse, calefacción, etc.)

**OBSERVACIONES:**

El agua más caliente para el proceso, fuera de un alivio en el trabajo, conduce a mejores resultados notorios de beneficio en el campo mecánico húmedo mediante mejores grados de separación en las instalaciones de concentración. La menor viscosidad (tenacidad) del agua caliente produce este efecto. Mientras más caliente es el agua de proceso, mejores son las propiedades de concentración. Además, mediante el calentamiento del agua del proceso se alivian trabajos en los que, por ejemplo, se trabaja con las manos dentro del agua. Ejemplos son las concentraciones en canaleta, concentración gravimétrica manual en cribas pequeñas.

Localmente, los valores de radiación global son notoriamente diferentes: alrededor de 800 kW por  $\text{am}^2$  (Islandia) y sobre 2.200 kWh/ $\text{am}^2$  (en las zonas de desiertos sub tropicales, por ejemplo, Sud Oeste de USA/México, zonas altas de Perú/Bolivia, Sahara, Península Arábiga, Kalahari y Namib, así como Australia Central).

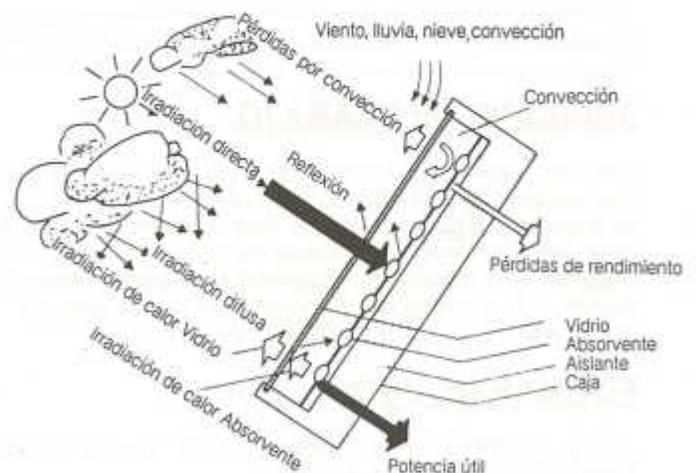
Los colectores planos sencillos pueden ser equipados también como generadores de solviento donde la superficie del colector trabaja como superficie de remanso para el viento y acelera el aire. El aire acciona luego un rotor Savonius en forma de rodillo (0.5 m de  $\varnothing$ ). Mediante banderas de viento el aparato giratorio se coloca contra el viento durante altas velocidades de viento.

Materiales para colectores:

Cubierta:	Calaminas de plástico Tejas de acrílico Vidrio	livianos, pero poco transparentes la mejor cubierta
Absorbente:	Material plástico (desde 30 DM/ $\text{m}^2$ ) Aluminio (aprox. 120 DM/ $\text{m}^2$ ) Acero (aprox. 120 DM/ $\text{m}^2$ ) Acero fino (aprox. 120 DM/ $\text{m}^2$ ) Cobre (aprox. 200 DM/ $\text{m}^2$ )	mala conducción del calor eventualmente corrosión en combinación con partes de cobre
Aislante:	Espuma de poliuretano Estereopor	muy consistente la mejor conducción de calor, muy buena conservabilidad

**APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:**

Los colectores solares son aplicables sobre todo para el precalentamiento del agua de proceso en aparatos de la Pequeña Minería, ahorrando así costos de energía y mejorando también los resultados de procesos de separación.



**19.11 TURBINA A AGUA****Minería en general****Energía  
Técnicas energéticas**

Español:	turbina a agua (aprovechamiento mec. y eléctrico)
Inglés:	water turbine
Aleman:	Wasserturbinen (mech. und elektrische Nutzung)
Fabricante:	Campo Nuevo, Ossberger, Volk, Voith

**DATOS TÉCNICOS:**

Medidas:	en función del rendimiento, por ejemplo para una turbina Banki-Michell, con una potencia de 2.5 kW; diámetro del rodete 200 mm, ancho 82 mm
Peso:	25 kg para el ejemplo arriba mencionado
Tipo de energía motriz:	hidromecánica
Forma de trabajo:	continuo
Producción/Rendimiento:	práctico hasta 30 kW
Grado de rendimiento técnico:	turbina Banki-Michell (75 - 82 %), turbina Pelton (75 - 86 %), turbina Kaplan (- 90 %), turbina Francis - 90 %, grado de rendimiento total con generador: 50 - 80 %; aprovechamiento mecánico (70 - 80 %)
Materia: Cuál:	agua en función de la altura de la caída y tamaño de la turbina
Cantidad:	$N [kW] = n [\%] \times Q [m^3/seg] \times h [m] \times 9.81 [m/seg^2]$

**DATOS ECONÓMICOS:**

Costos de inversión:	fabricación local Bolivia: 200 US\$/kW sin tubería de presión
Costos de operación:	muy bajos
Costos derivados:	engranaje, construcciones hidráulicas, protección contra aguas altas

**CONDICIONES DE EMPLEO:**

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Exigencias al lugar:	deben cumplirse condiciones topográficas e hidrográficas como cantidad mínima de agua y altura mínima de caída (aprox. 5 m)		
Maquinaria que puede hacer funcionar:	maquinaria de beneficio de rotación rápida, por ejemplo, trituradora, trómel clasificador, criba vibradora, bombas, trapiche, jigs, generador de calor, mesa de concentración a golpe; compresores; aprovechamiento para la generación de energía eléctrica, por ejemplo, con dínamo de automóvil.		
Aparato que puede reemplazar:	todas las otras fuerzas motrices		
Divulgación regional:	mundial, sin embargo utilizada muy raramente para el accionamiento directo		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
Facilidad de fabricación local:	muy buena		mala
Bajo qué condiciones:	buen taller metal-mecánico; las cucharas también se fabrican en los países en desarrollo en parte de pedazos de tubos de acero fino: Bolivia, Colombia, Ecuador, etc.		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

Literatura, Fuente: Fabricante, T. Hentschel, Meier, Meyer, v. König, Elliott, Gate, Inversin, FAKT

**PRINCIPIO DE TRABAJO:**

Las turbinas de los más diferentes tipos, al contrario de la rueda de agua que solamente transforma el efecto del peso del agua, aprovechan la energía del flujo de agua que parcialmente es transformada en presión al chocar con un obstáculo que

hace resistencia. Según la diferencia de altura y la cantidad de agua se utiliza turbina Banki-Michell, Pelton, Francis y Kaplan. Los campos de trabajo están expuestos en el dibujo pág. 516.

La **turbina de impulso radial y parcial o Banki-Michell** es una turbina de chorro libre con impulso radial y parcial. Según su número específico de rotación pertenece a las de rotación lenta. El chorro de agua es transformado, mediante un aparato guía, en una sección rectangular. Fluye primeramente desde afuera hacia adentro por la corona de cucharas del rodete con forma de rodillo y luego de atravesar el interior del rodete, de adentro hacia afuera. Número límite de revoluciones de embalamiento aprox.  $1.8 \times$  número de revoluciones bajo carga, buenos grados de rendimiento en impulso parcial.

La **turbina Pelton** es una turbina de chorro libre impulsada tangencialmente en la que están forjadas, atornilladas o vaciadas a un rodete cucharas en forma de cangilones. El eje puede estar instalado vertical u horizontalmente, el impulso se realiza tangencialmente mediante uno hasta cuatro inyectores, cuyas secciones están reguladas mediante agujas. Los números de revoluciones son menores a los de las turbinas Francis. Al agrandar el diámetro del rodete se disminuye en mayor grado el número de revoluciones. Las turbinas Pelton son aptas para pequeñas cantidades de agua y gran altura de caída y se caracterizan, con impulso parcial, por un comportamiento bastante plano de la curva del grado de rendimiento. Alcanzan altos grados de rendimiento ya desde 8 % (un inyector) y 4 % (4 inyectores) de la cantidad total de carga. Número límite de revoluciones de embalamiento aprox.  $2.0 \times$  número de revoluciones bajo carga. Las turbinas Pelton siempre tienen que colgar libres sobre el suelo y nunca deben ser sumergidas bajo agua incluso en altos niveles de agua.

La **turbina Francis** es una turbina de impulso radial completo en la que una rueda conductora con cucharas guías construídas en forma regulable conducen el agua al rodete la cual nuevamente sale de él en forma axial. Las turbinas Francis son aptas para grandes cantidades de agua con altura pequeña o mediana, son de rotación rápida y tienen número límite de revoluciones de embalamiento de  $1.8 - 2.1 \times$  número de revoluciones bajo carga.

La **turbina Kaplan** está construída como hélice con 2 - 7 cucharas giratorias, en forma de aletas, es impulsada por el flujo de agua axialmente mediante una rueda guía, eventualmente también con cucharas guía giratorias. Es apta para pequeñísimas alturas de caída con grandes cantidades de agua, tiene una relación de número límite de revoluciones de embalamiento de  $2.3 - 2.5$  y relativamente malos grados de rendimiento de carga parcial.

Otra importante clase de turbina, la que según la construcción puede funcionar como turbina de hélice o turbina Francis, es la **bomba en operación como turbina**. Las bombas se fabrican mundialmente en grandes cantidades, con altos grados de rendimiento y en comparación con las turbinas, a menores precios. Mediante la inversión de la dirección de flujo, las bombas pueden funcionar como turbinas.

## APROVECHAMIENTO Y TRANSFORMACION DE LA ENERGIA:

El **aprovechamiento mecánico de la energía** de la corriente de agua para el accionamiento de la mayoría de las máquinas en la Pequeña Minería es posible y práctico. El tipo ideal de turbina ha resultado ser la turbina de impulso radial y parcial. Es muy fácil de construir localmente y trabaja en un rango de presión para el cual las inversiones en la tubería de presión se pueden mantener bajas. Pequeñas caídas con grandes cantidades de agua ocasionan bajos costos para la tubería de presión, pero por lo general grandes construcciones hidráulicas. Grandes alturas aumentan los costos de la tubería a presión y originan pequeñas construcciones hidráulicas. Un óptimo económico se encuentra en el rango de presión que permita el uso de material de tubería fabricado localmente (por ejemplo, PVC hasta aprox. 50 m de altura).

El rango de revoluciones de las turbinas Banki-Michell está entre  $200$  y  $1.000 \text{ min}^{-1}$  y por eso es muy apto para el accionamiento de compresores. Modernos compresores a tornillo trabajan en un rango de revoluciones entre  $1.000$  y  $2.800 \text{ min}^{-1}$ . Estos números de revoluciones se alcanzan por engranaje de cadena o por engranaje de correa trapezoidal.

El momento de rotación de arranque de los motores eléctricos es notoriamente más desfavorable que el de las fuerzas motrices hidromecánicas, como han demostrado los experimentos para accionar trituradoras pequeñas usuales en la Pequeña Minería (compare fotos pág. 513).

La **producción de baja tensión** (12 V corriente continua) es posible con los dínamos de automóviles, corrientes en el mercado hasta aprox. 500 W. Las baterías también igualmente se pueden adquirir localmente como baterías de camiones. La tensión continua de 12 V puede servir como fuente de energía para:

- lámparas económicas en energía
- televisión
- refrigeradores
- motores vibradores
- estaciones de carga para lámparas mineras

La producción de **tensión alterna** es igualmente posible, sin embargo, en el empleo en la Pequeña Minería en los países en desarrollo tiene desventajas. Estas consisten en:

## 19.11 TURBINA A AGUA

### Minería en general

### Energía Técnicas energéticas

- altos costos de inversión para la producción, el transporte y la retransformación del portador de la energía, la corriente,
- el bajo grado de rendimiento, las grandes instalaciones correspondientemente exigen otro potencial hidráulico en el lugar de la turbina,
- la alta complejidad de la instalación que ocasiona en parte, grandes problemas de mantenimiento y de manejo al círculo de usuarios en los países en desarrollo,
- el problema de regulación. La regulación de la frecuencia y de la potencia ocasiona relativamente grandes problemas técnicos. Sistemas de regulación hidráulicos o electrónicos alimentan la potencia eléctrica no utilizada a resistencias de calefacción o regulan la afluencia del agua de impacto.
- La protección del circuito que protege al generador de un muy alto número de revoluciones. Los motores económicos, cambiados en polaridad, que funcionan como generadores solamente son capaces de resistir sin averías alrededor de 1.2 veces el número nominal de revoluciones. Generadores que funcionan con seguridad hasta dos veces el número de revoluciones nominal son muy caros.
- Grandes dificultades en construir y mantener estas instalaciones localmente.

La ventaja consiste en el hecho que la energía eléctrica sea transportable a través de cables conductores de energía eléctrica.

### INDICACIONES PARA LA CONSTRUCCION LOCAL:

Las **turbinas Banki-Michell** son las más fáciles de fabricar localmente. El rodete está provisto de cucharas que son fabricadas tanto de planchas dobladas como de pedazos de tubos cortados longitudinalmente.

Las **turbinas Pelton** pueden ser tanto vaciadas totalmente en una unidad por el procedimiento de fusión en moldes de cera (de bronce), como compuestas de cucharas individuales de bronce o de hierro fundido colocadas alrededor del rodete. Las cucharas individuales como modelo se pueden obtener en el mercado de piezas de maquinarias; el ancho de la cuchara es de aprox. 3 veces el diámetro máximo del chorro. Mientras mayor es el número de cucharas, mejor es el grado de rendimiento. Sobre todo es importante el equilibrio exacto del rodete.

### FORMAS DE USO:

Para el aprovechamiento de la energía hidráulica en el campo de pequeñas potencias en el rango de bajas presiones (5 m - 50 m).

- Impulso directo de maquinaria de minería y beneficio
- Para la transformación en otras formas de energía:
  - . Compresores para la producción de energía neumática para el aprovechamiento en interior mina (aire comprimido)
  - . Generadores para producción de energía eléctrica, por ejemplo, mediante dínamos de camiones de 12 V
  - . Generadores de calor para la producción de calor

### OBSERVACIONES:

Debido a que las turbinas Banki-Michell son recomendadas solamente para el rango de baja presión, se pueden utilizar los tubos de material plástico fabricados localmente como tubería de presión. Fuera de los bajos costos, su alta independencia de las heladas es una ventaja. Durante la compra se debe prestar atención en obtener tubos resistentes a los rayos ultravioletas, caso contrario, la tubería debe ser cubierta. Como construcciones hidráulicas se deben construir estanques de sedimentación (desarenadores) debido a que los materiales en suspensión conducen al desgaste del rodete de la turbina.

La turbina es muy apta en la Pequeña Minería en países en desarrollo para el aprovechamiento directo del momento de rotación:

- Un alto momento de rotación de arranque conduce a rendimientos de la fuerza motriz que están en un 50 % por debajo de las de los motores eléctricos.
- La independencia del rendimiento con aumento de la altura en comparación con generadores eléctricos y motores a combustión (menor rendimiento, mayor consumo de combustible en la altura), favorece el empleo de turbinas aprovechando directamente el momento de rotación. Una variedad de minas andinas de la Pequeña Minería trabaja en alturas mayores a 4.000 m.

Las curvas de los grados de rendimiento de los diferentes tipos de turbina están representados en el dibujo de la pág. 515. El tipo BY5 es una turbina Banki-Michell fabricada en Nepal con los medios más sencillos. La curva muestra que las turbinas fabricadas artesanalmente también pueden alcanzar un alto grado de rendimiento (> 70 %).

## 19.11 TURBINA A AGUA

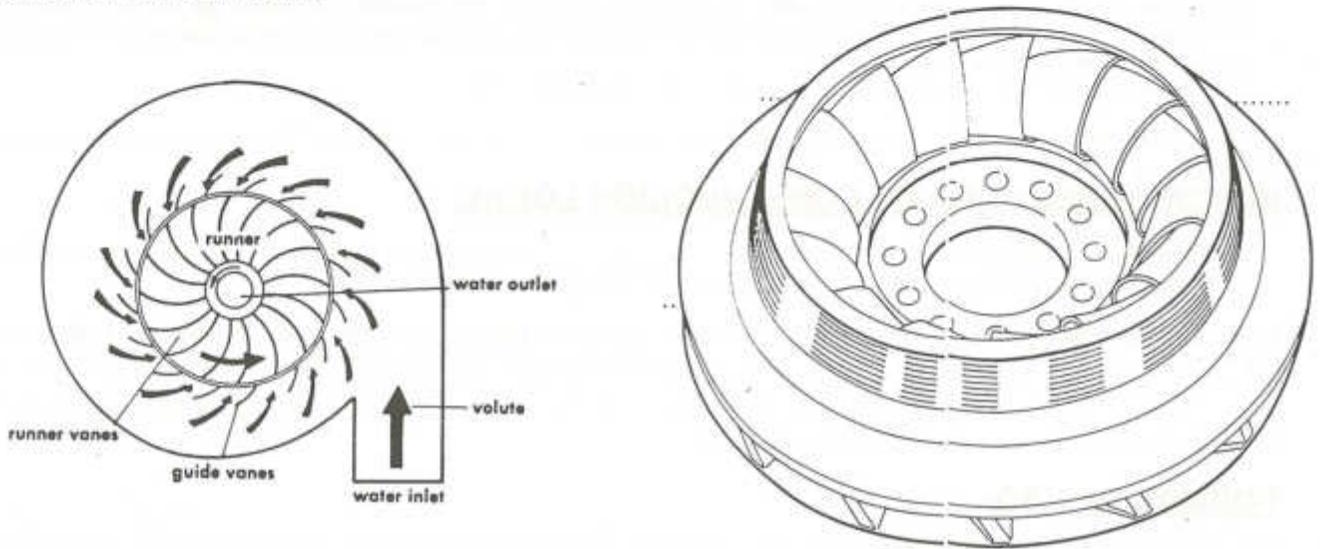
Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:

Las pequeñas turbinas de impulsión radial y parcial con aprovechamiento directo del momento de rotación mediante el engranaje de correa o cadena se deben valorar como elementos ideales de impulsión con variadas posibilidades de utilización referente a los lugares geográficos y al empleo técnico en la Pequeña Minería en Latinoamérica. La fabricación local económica puede dar impulso a desarrollos regionales por efectos tecnológicos también ajenos a la minería.

Otros tipos de turbina son complicados en la regulación y en las medidas hidráulicas, de manera que éstas son más aptas para operaciones de la minería mediana.



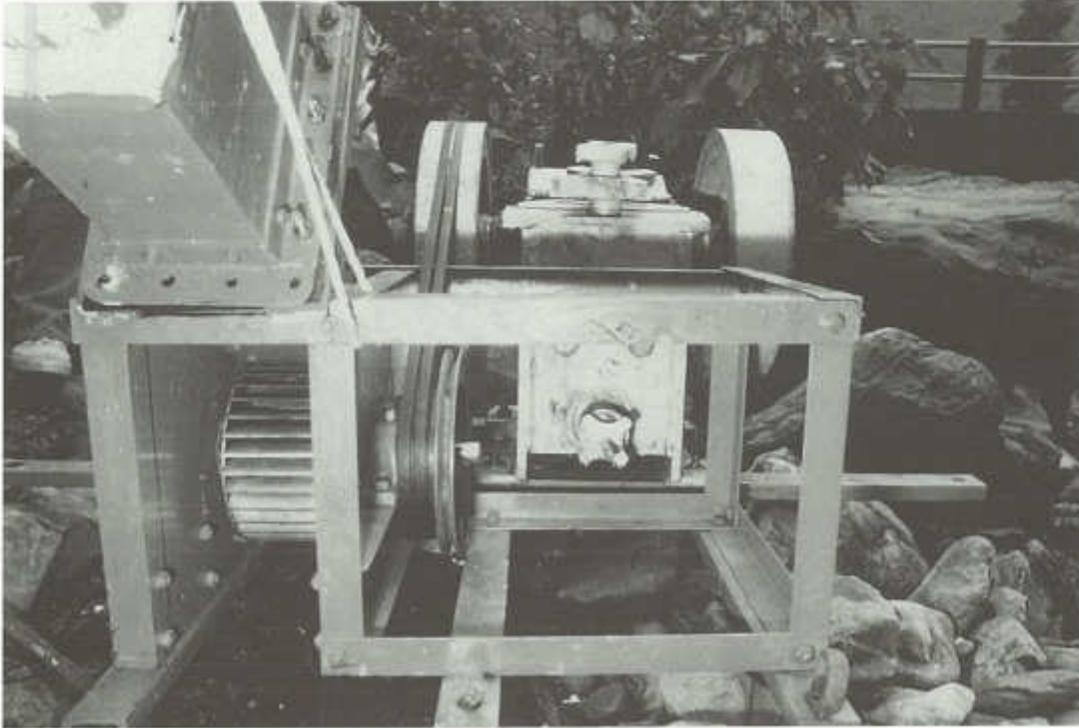
Dib.: Construcción esquemática de una turbina Francis (de Meier) y detalles del rodete (de I.Z.E.)



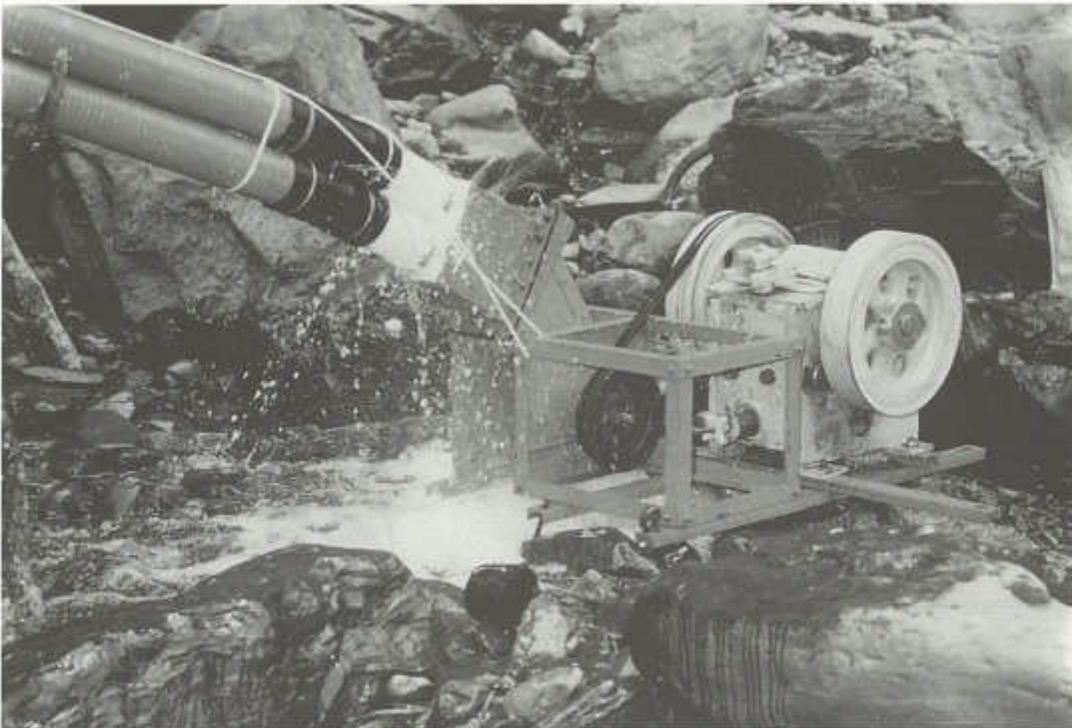
Turbina Francis para accionamiento directo de compresores. Instalaciones de superficie de la mina Portovelo, El Oro, Ecuador

**19.11 TURBINA A AGUA**

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

Vista de una instalación de experimentación para el accionamiento directo de una trituradora de mandíbulas mediante una turbina Banki-Michell, fabricada localmente (diámetro del rodete 200 mm, ancho 82 mm y 32 lamelas de metal, potencia aprox. 2,5 kW) Modelo Campo Nuevo, La Paz, Bolivia

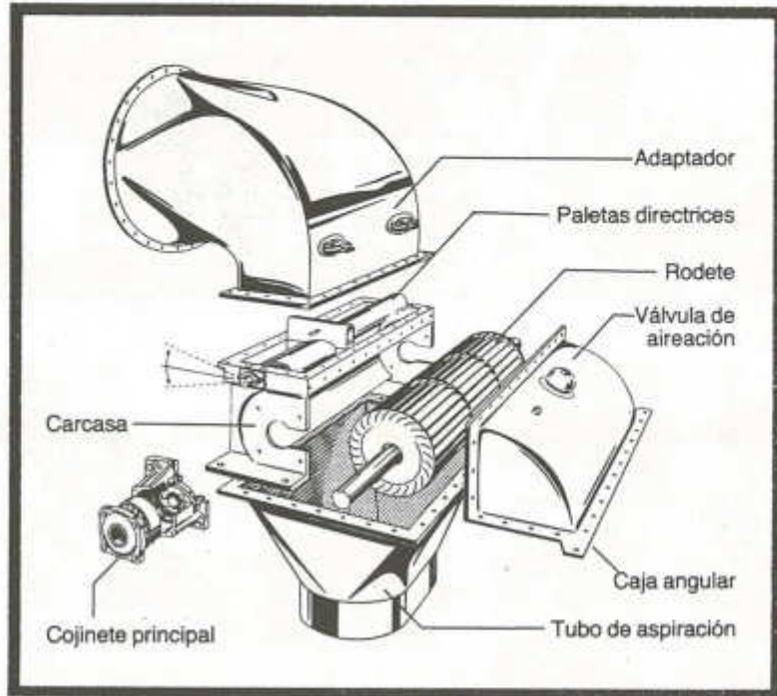


Turbina de la anterior foto, en funcionamiento.

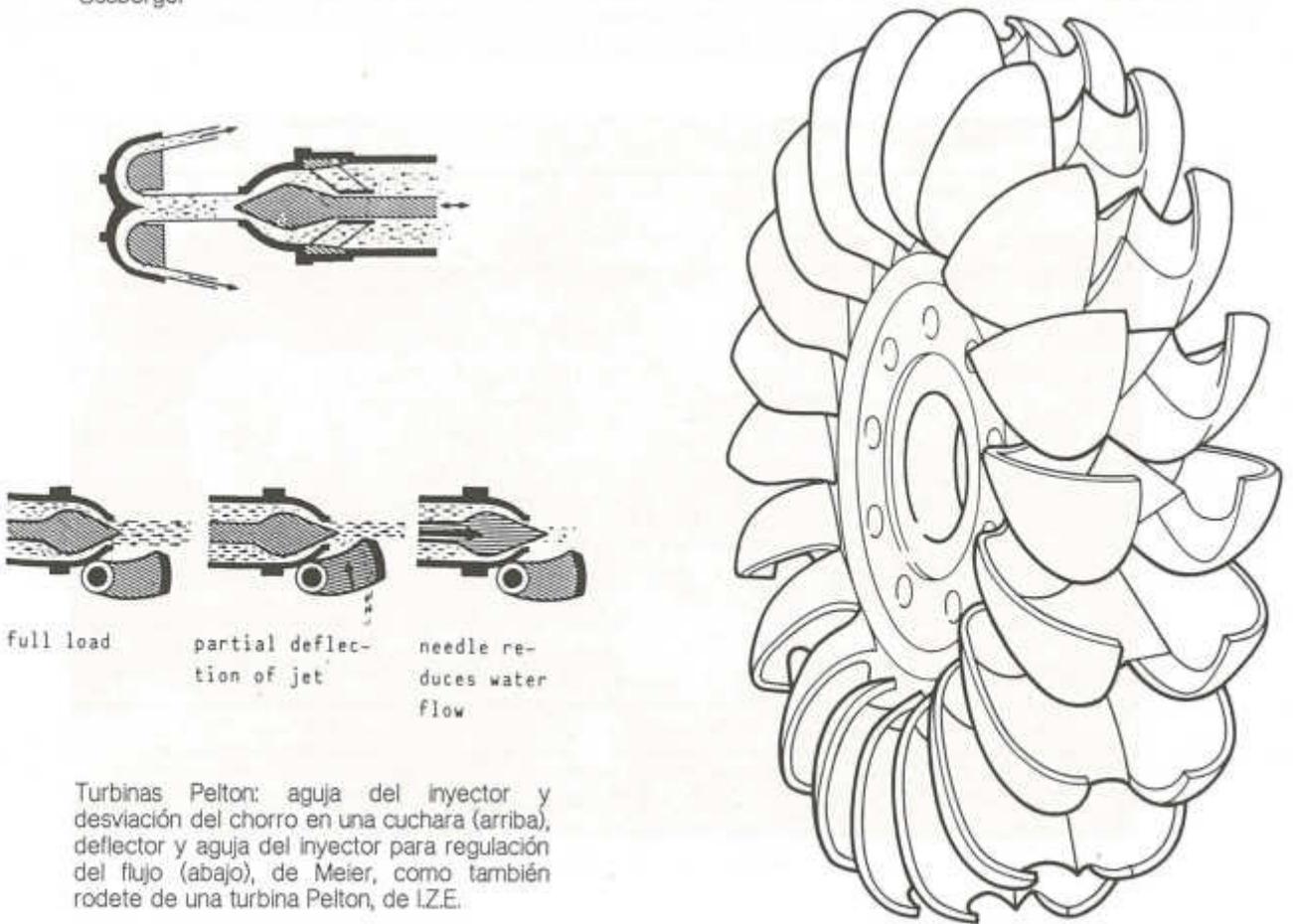
19.11 TURBINA A AGUA

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas



Dib.: Dibujo (en forma de explosión) de una turbina de impulsión radial y parcial, Fuente: Información de la firma Ossberger



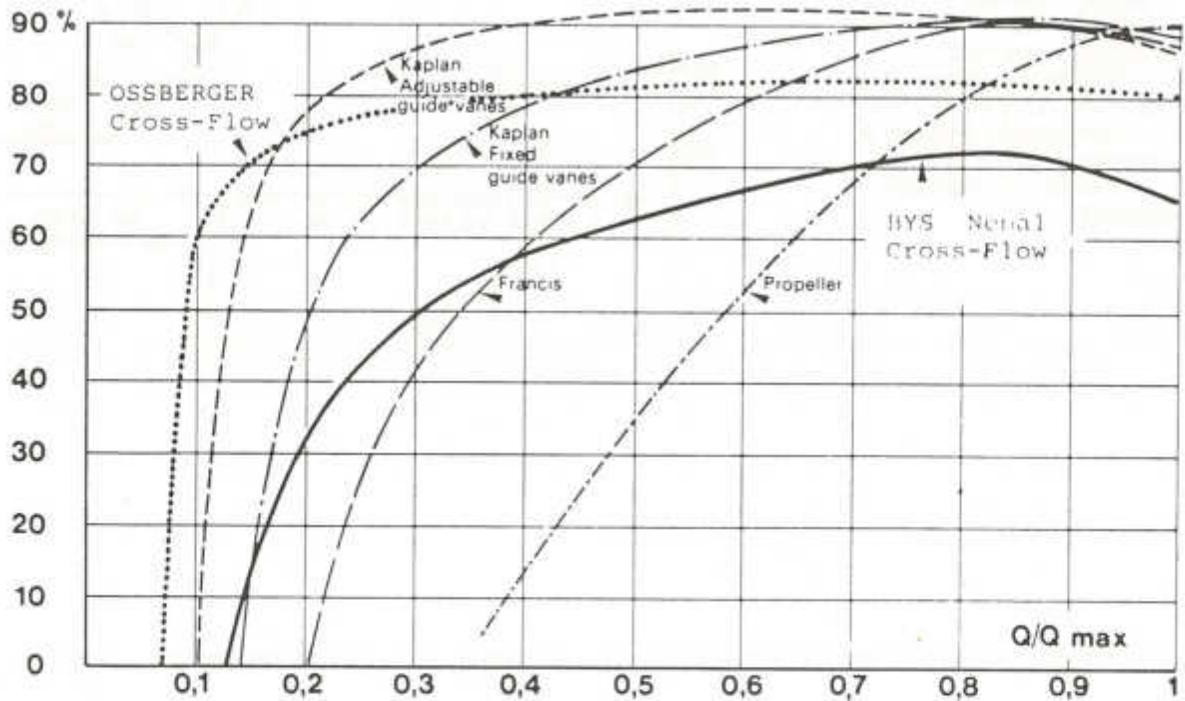
Dib.: Turbinas Pelton: aguja del inyector y desviación del chorro en una cuchara (arriba), deflector y aguja del inyector para regulación del flujo (abajo), de Meier, como también rodete de una turbina Pelton, de I.Z.E.

## 19.11 TURBINA A AGUA

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

Dib.: Esquema de una turbina Pelton con dos inyectores, de Meier



Dib.: Curvas de rendimiento de diferentes tipos de turbina, de Meier

## 19.11 TURBINA A AGUA

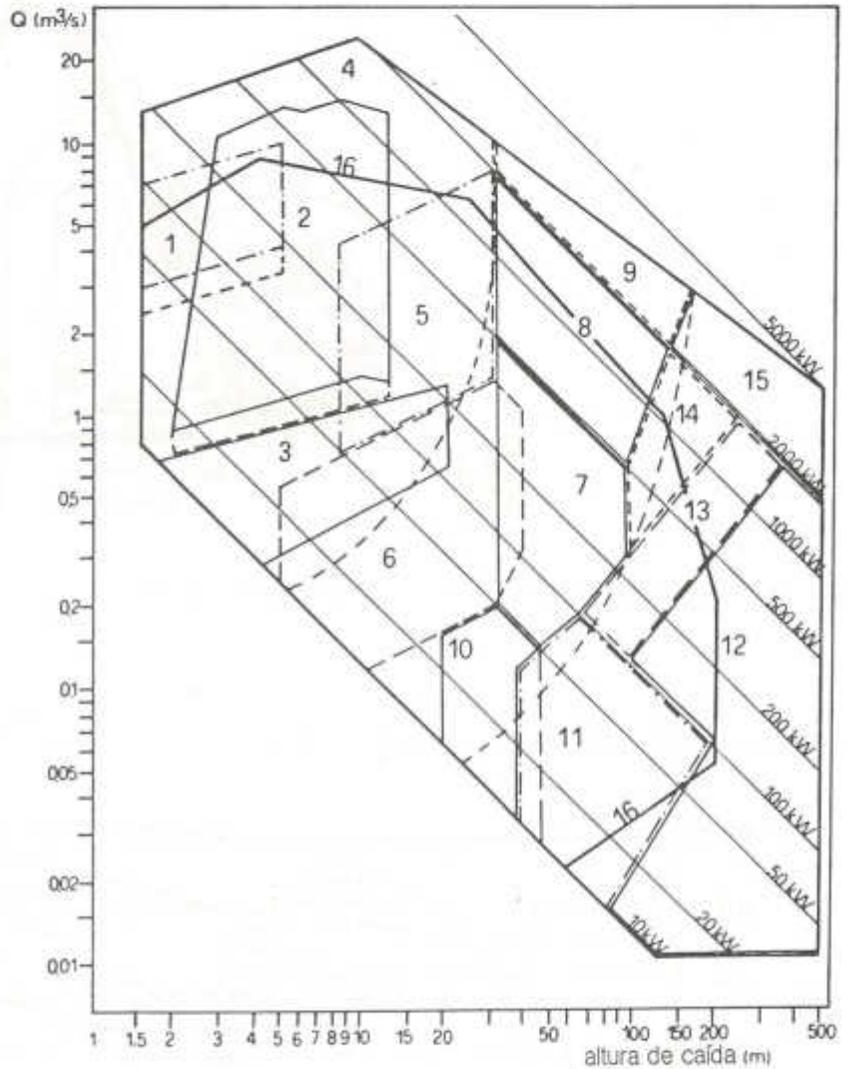
Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

Dib.:

Rango de aplicación de diferentes tipos de turbinas en el campo de pequeñas instalaciones de energía hidráulica, de Das Wassertriebwerk 10/82.

- 1 = A-Turbina tubular
- 2 = S-Turbina tubular
- 3 = Turbina compacta de rodete regulable
- 4 = Construcción especial turbina tubular y Kaplan
- 5 = Turbinas de caldera frontal
- 6 = Turbina de reacción Reiffenstein
- 7 = Turbina espiral compacta Francis
- 8 = Turbina espiral Francis (horizontal)
- 9 = Construcciones especiales de turbinas espiral Francis
- 10 = Miniturbinas de chorro libre, 4 válvulas, (vertical)
- 11 = Turbina pequeña de tubo libre de accionamiento con correa
- 12 = Turbina de chorro libre, 1 válvula (horizontal)
- 13 = Turbina de chorro libre, 2 válvulas (horizontal)
- 14 = Turbina de chorro libre, 3 a 4 válvulas (vertical)
- 15 = Construcción especial de turbinas de chorro libre
- 16 = Turbina Banki-Michell - Ossberger



## 19.12 MOTOR A COMBUSTION

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

Español:	motor a gasolina
Inglés:	engine
Aleman:	Verbrennungsmotor
Fabricante:	Briggs/Stratton, USA, Lister

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	según el modelo y rendimiento, pero los motores a combustión se caracterizan por su pequeño peso y tamaño por unidad de potencia, por ejemplo para un motor a bencina de 20 kW: 0.7 x 1 x 1 m
Peso:	desde aprox. 40 kg hasta 100 kg
Tipo de energía motriz:	combustión de combustibles biogénéticos
Forma de trabajo:	continua
Producción/Rendimiento:	desde 2 kW hasta varios cientos de kW
Grado de rendimiento técnico:	25 % (bencina), 38 % (diesel)
Material:	bencina o diesel desde aprox. 2 lt/h; lubricantes mínimo

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	para pequeños motores de 5 PS aprox. 320 US\$ (Agosto 1987)
Costos de operación:	aprox. 1 US\$/h
Costos derivados:	costos de mantenimiento, costos de reparación aprox. 50 US\$/año

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:	bajos		altos
Gastos de mantenimiento:	bajos		altos
Maquinaria que puede hacer funcionar:	principalmente maquinarias de beneficio y compresores, como también generadores.		
Aparato que puede reemplazar:	por ejemplo, turbinas a agua		
Divulgación regional:	mundial		
Experiencia del operador:	muy buena		mala
Contaminación ambiental:	baja		muy alta
	Aceite usado, gases de escape, ruido		
Facilidad de fabricación local:	no apropiada		
Tiempo de vida:	muy largo		muy corto

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Motores de uno o más cilindros con funcionamiento de dos o cuatro tactos, transmisión de fuerza mediante correa trapezoidal.

### FORMAS DE USO:

Principalmente, para el accionamiento de pequeñas maquinarias de beneficio, compresores y generadores.

### OBSERVACIONES:

Los motores a combustión pueden cubrir el rango completo de energía desde 2 kW hasta mucho más de 100 kW. Los sistemas pequeños son aptos para el impulso directo utilizando el momento de rotación.

En cambio, los sistemas mayores son conectados a generadores para la producción de corriente eléctrica. Los números de revoluciones de los motores a combustión, están entre aprox. 1.000 rpm (motores a diesel grandes) y 3.000 rpm (motores

## 19.12 MOTOR A COMBUSTION

### Minería en general

### Energía Técnicas energéticas

pequeños a diesel y bencina). La regulación del número de revoluciones es muy fácil de realizar. En forma correspondiente, la transformación en todas las otras formas de energía es sencilla, de las cuales la neumática es de primordial importancia para el sector de la minería en interior mina.

Los motores a combustión, en principio, son independientes del lugar de operación. Los problemas están en el abastecimiento del combustible necesario y la pérdida de rendimiento en la altura. En general, se puede considerar que por cada 100 m de altura se tienen que tomar en cuenta las siguientes pérdidas de rendimiento:

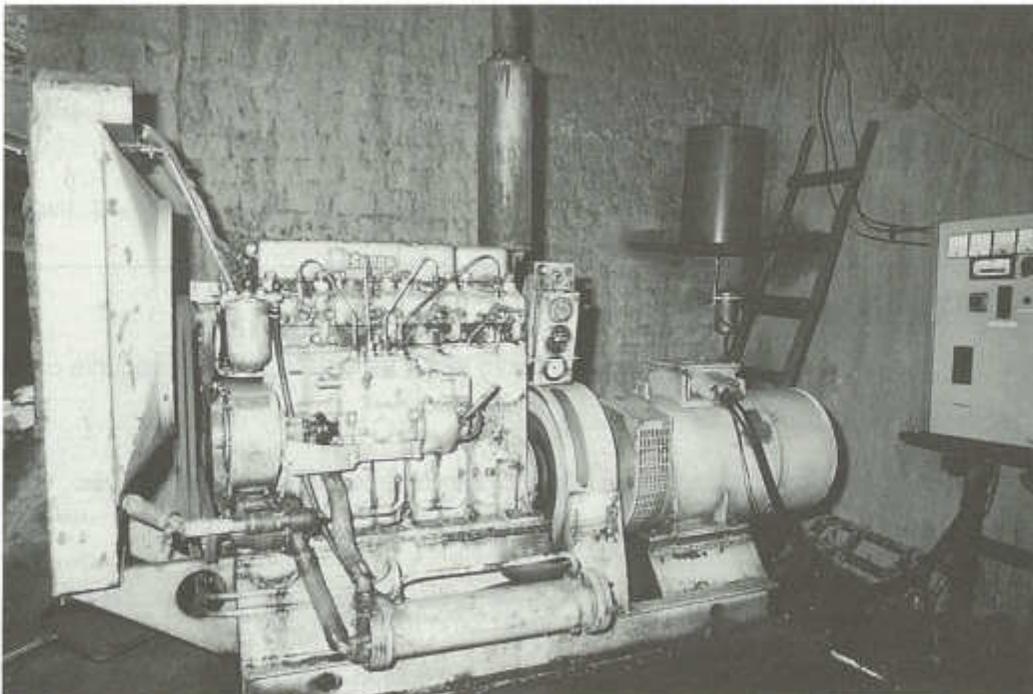
Para motores a combustión sencillos	1.3 %
Para motores turbos	0.9 %

Bajos costos de inversión con muy altos costos de operación caracterizan a los motores de combustión. Además, existen otras razones que hacen parecer problemático el abastecimiento de energía en países en desarrollo mediante máquinas motrices a combustión:

- Difícil adquisición de repuestos y mantenimiento de los productos importados. Debido a la tardanza en la adquisición de repuestos, fuera de los costos directos, pueden producirse grandes pérdidas por la suspensión de operaciones.
- La mala infraestructura de la mayoría de las regiones mineras de la Pequeña Minería dificulta el abastecimiento regular de combustibles. Especialmente en tiempos lluviosos las regiones mineras apartadas a menudo no son accesibles debido a los caminos malogrados. Otras dificultades pueden darse debido a cuellos de botella en el abastecimiento (huelgas) de la empresa petrolífera generalmente estatal.
- Los altos costos nacionales de transporte resultan por un lado, debido a la mala infraestructura y por otro, al aumento de los precios de la energía. Por ejemplo, los costos de combustible en Bolivia en la región aurífera de Tipuani, cerca de 200 km de La Paz cuestan el doble que en La Paz.
- La situación topográfica de los lugares altos de muchas minas, por ejemplo en Los Andes de Latinoamérica, se hace notoriamente negativa en dos sentidos. Por un lado, las grandes pérdidas de la potencia nominal (hasta 50 % a 5.000 m de altura) exigen maquinarias de grandes dimensiones con altos costos de inversión. Por otro lado, los bajos grados de rendimiento condicionan altos costos de combustible y con ello, altos costos de operación.
- Aspectos ecológicos.

### APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERIA:

Apto para el caso en que no se pueda aprovechar ninguna fuente energética renovable. Bajos costos de inversión, pero relativamente altos costos de operación y tiempo de vida limitado, variadas posibilidades técnicas de uso.



Motor a diesel de seis cilindros para el accionamiento de un generador, Mina Luchusa, La Paz, Bolivia

## 19.13 ABASTECIMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

Español:	compresores, tanque de aire comprimido, tubería para aire comprimido, lubricadores, etc.
Inglés:	compressor, air hose, water separator, lubricator
Aleman:	Druckluftversorgung (Kompressoren, Drucklufttank, Druckluftleitung, Öler etc.)
Fabricante:	Mannesmann Demag, Atlas Copco, Kaeser, Frantz, Ingersoll-Rand

### DATOS TECNICOS:

Medidas:	compresores desde 1 x 1 x 1 m hasta 2 x 3 x 4 m	
tuberías:	tubos de 50 - 600 mm de diámetro, mangueras desde 3/4"	
Peso:	por ejemplo, de compresores a tornillo estacionarios refrigerados a agua de 45 kW y 7.2 m <sup>3</sup> /min (8 bar): 860 kg	
	por ejemplo, para compresores a pistón refrigerados a agua con 40 kW y 8 m <sup>3</sup> /min (7 bar): 1.650 kg	
Materiales:	tubos: acero, PVC; mangueras de polietileno: goma, textil	
Potencia motriz:	5 - 6.5 kW/m <sup>3</sup> /min	
Tipo de energía motriz:	mecánica de motor eléctrico, motor a diesel	
Posibilidades alternativas:	hidromecánica	
Forma de trabajo:	continua	
Producción/Rendimiento:	6 - 10 m/seg de velocidad de aire	
Grado de rendimiento técnico:	del sistema total 10 - 15 %	
Material: Cuát:	aceite	agua de refrigeración
Cantidad:	en el compresor a tornillo >	aprox. 0.5 lt/min/kW
	en el compresor a pistón	

### DATOS ECONOMICOS:

Costos de inversión:	de la maquinaria nueva, varios 10.000 DM
Costos de operación:	altos, debido a pérdidas de aire comprimido por fugas
Costos derivados:	secador de aire comprimido, lubricador de aire a presión, tanque de aire comprimido, suspensión elástica

### CONDICIONES DE EMPLEO:

Gastos de manejo:

bajos  altos  
tubería

Gastos de mantenimiento:

bajos  altos  
tubería

Exigencias al personal:

Exigencias al lugar:

es necesario adiestramiento para el manejo y mantenimiento

en función de la fuerza motriz (eventualmente hidromecánica) y refrigeración (eventualmente refrigeración a agua). Es importante la disminución de pérdidas de aire comprimido (pérdidas por fuga) debido a fugas. En la minería carbonífera alemana éstas son de alrededor de 35 % de la cantidad de aire comprimido. Estas se pueden minimizar sobre todo mediante la disminución del número de abrazaderas y mediante el uso de material de buena calidad. Fuera de las pérdidas de cantidad se producen pérdidas de presión debido a roce en la tubería (caída de presión). Ellas están en función del diámetro del tubo, de las propiedades de la superficie y sobre todo, de la geometría del flujo.

Maquinaria que puede hacer funcionar:

máquina perforadora, martillo picador, destornillador a percusión, pié de apoyo, sierra a cadena, lámparas, bombas de transporte y de alta presión, ventiladores, compresores, gúinche, afilador de barrenos, elevador de trenes, pistolas de lubricación, bombas de carga de explosivos, máquinas cargadoras, en minería, mundialmente.

Divulgación regional:

Experiencia del operador:

muy buena  mala

## 19.13 ABASTECIMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

Contaminación ambiental:	Según el sistema motriz debido a gases de escape, aceite usado, contaminación con aceite por el aire comprimido	baja  muy alta
Facilidad de fabricación local:	no apta	
Tiempo de vida:	Dependiente del mantenimiento	muy largo  muy corto

Literatura, Fuente: Roschlau, Manual de Atlas Copco, Fritzsche

### PRINCIPIO DE TRABAJO:

Para la producción de aire comprimido pueden servir compresores a pistón, a tornillo o turbocompresores. **Los compresores a pistón** comprimen el aire absorbido en el ciclo de trabajo de un pistón mediante la disminución del volumen en la cámara del cilindro, tienen como número de revoluciones aprox.  $1.000 \text{ min}^{-1}$  y presión de trabajo regulable. **Los compresores a tornillo** son compresores de desplazamiento que producen la presión estática mediante la rotación del tornillo por el que absorben aire continuamente, lo comprimen y nuevamente lo expulsan. Tienen número de revoluciones entre  $1.500$  y  $2.500 \text{ min}^{-1}$ . **Los turbocompresores** sirven para la producción de grandes cantidades de aire comprimido libre de aceite durante demandas de aire variable y producen el aire comprimido mediante la aceleración del aire absorbido y la posterior transformación de la energía cinética en presión estática.

En la minería se han impuesto compresores a tornillo estacionarios y móviles.

**Los tanques de aire comprimido** tienen tres funciones principales:

1. Almacenamiento del aire comprimido.
2. Mejoramiento de la refrigeración y separación del condensado.
3. Equilibrio de variaciones de presión en la red debido al uso de herramientas

Los tanques de aire comprimido para fines mineros deberían tener un volumen ( $\text{m}^3$ ) de aprox.  $1/10$  del rendimiento nominal del compresor ( $\text{m}^3/\text{min}$ ). Esto vale si el compresor puede ser desconectado o liberado periódicamente de la máquina motriz de funcionamiento constante (protección del compresor). Si se debe evitar el arranque muy frecuente de una máquina motriz directamente conectada, se debería elegir un tanque de mayor volumen. No deberían ocurrir más de diez procesos de arranque por hora. Las diferencias de presión durante la regulación son de aprox. 1 bar.

El consumo de aire comprimido a 7 bar es aprox. de

- 2.5 - 5  $\text{m}^3$  por máquina perforadora,
- 7 - 10  $\text{m}^3/\text{min}$  por pala cargadora,
- 3 - 5  $\text{m}^3/\text{min}$  por gúinche

**Los efectos de las ventajas** del aire comprimido como portador de energía según Roschlau son efectivos en las máquinas y aparatos operadores neumáticos. Ellas:

- son construídas en forma sencilla y robusta,
- tienen relativamente pequeña masa propia (pequeño peso por unidad de potencia),
- pueden ser utilizadas en todos los lugares de operación,
- se pueden regular y colocar sin graduación,
- son ampliamente seguras en la operación y en el cumplimiento de su función y por ello, originan pequeños tiempos de cese,
- tienen protección automática contra la sobrecarga,
- son fáciles de manejar, de mantener y de reparar,
- no ocasionan problemas de seguridad (gases de escape, calentamiento, etc.).

El aire comprimido saliente mejora la atmósfera del lugar de trabajo (introducción de oxígeno, refrigeración). Ante estas ventajas se contraponen considerables **desventajas**. Entre ellas están:

- el grado de rendimiento total de las maquinarias neumáticas de solo alrededor de 15 - 20 % es considerablemente más bajo que el de otras formas de energía,
- el aire comprimido es el portador industrial de energía más caro,
- en las máquinas y aparatos a aire comprimido se producen fuertes ruidos,
- para la transmisión de energía se tiene que instalar una costosa red de tubería, cuyo mantenimiento y reparación ocasiona altos costos.

## 19.13 ABASTECIMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas

### Tuberías para aire comprimido:

Las tuberías para aire comprimido llevan el aire comprimido al lugar de trabajo para el impulso de las máquinas operadoras. Por eso, la tubería siendo tubería de gran calibre se instala en forma fija hasta poco antes del lugar de operación y la conexión a la herramienta a aire comprimido se realiza mediante mangueras. Las uniones de tubería, mangueras, lubricadores y herramientas se realizan mediante acoplamientos de garras.

En la red de aire a presión deberá conectarse después del tanque de aire comprimido, eventualmente antes de la herramienta, un **condensador de agua**. En él, el aire húmedo pasa varias veces por telastamices o rebota en las paredes debido a varios cambios de dirección, por lo que la humedad es condensada y separada. El agua condensada recogida es extraída del recipiente colector ya sea automática o manualmente. Esto disminuye el peligro de golpes de agua y congelamiento de las máquinas operadoras.

#### de PVC/PE

#### (Cloruro de polivinilo)/(polietileno):

por ejemplo 50 mm Ø liviano, fácil de instalar también en curvas, acoplamientos difíciles de mantener, mejores y mucho más baratos son los acoplamientos de pegar para tubos de PE, ya sea acoplamientos de soldar o de presión con presiones nominales hasta aprox. 16 bar de hermeticidad.

Ø hasta 110 mm. Garra de latón cara y pesada. Por lo demás, económica, tiempo de vida relativamente largo, muy baja resistencia en la tubería!  
Difícil de manejar debido a que es suministrado en enormes rollos.

#### de acero:

Acoplamientos totalmente de goma más económicos que los de PVC, tubos de longitudes normadas, corroen fácilmente con el agua condensada, por eso es práctico filtrar el aire comprimido antes del consumidor.

En la superficie se deben necesariamente cubrir los tubos de PE/PVC con tierra, paja o similares. Esto impide la influencia de las radiaciones ultravioleta sobre el material plástico que por eso se envejece más rápidamente.

Antes de la conducción del aire comprimido, éste debe ser mezclado con aceite para la lubricación de los motores. Para ello, existen **los lubricadores de aire a presión** los que dosifican el aceite.

### **OBSERVACIONES:**

#### Tubería para aire comprimido:

La presión que está a disposición del usuario es también fuertemente influenciada por la conducción del aire a la máquina. Los acoplamientos y grifos así como los pequeños diámetros de tubería, producen fuertes reducciones de presión. Debido a esto, se deberá elegir siempre un diámetro comparativamente mayor. La caída de presión es hasta la 5ta potencia inversamente proporcional al diámetro de la tubería. Un aumento ya de 3/4" a 1" de una tubería de 10 m puede reducir las pérdidas por caída de presión a más de la mitad. En total, se pierden alrededor de 10 - 15 % del trabajo de compresión debido a las pérdidas por fricción.

Muy importante es la separación del agua de la tubería de aire comprimido. La humedad del aire condensada se acumula en lugares hondos de la tubería y conduce, además de la caída de presión, a golpes de agua en la máquina operadora como también a corrosión y congelamiento. Fuera del empleo de condensadores de agua, el aire comprimido debería ser prerrefrigerado en la superficie. Las condiciones climáticas en el lugar de operación son muy importantes. Altas temperaturas y relativamente alta humedad del aire conducen a grandes condensaciones de agua en las tuberías.

Si baja la presión del aire comprimido por debajo de la presión de operación de la máquina operadora se producen pérdidas sobrep proporcionales de potencia en la herramienta.

Las pérdidas debido a fugas repercuten fuertemente en el grado de rendimiento total de la instalación de aire comprimido. Estas eran aproximadamente en promedio del 35 % en la minería del carbón en la región del Ruhr! Estas pérdidas se producen en los lugares de acoplamiento de los tubos. Este también es un argumento a favor de los tubos de PVC.

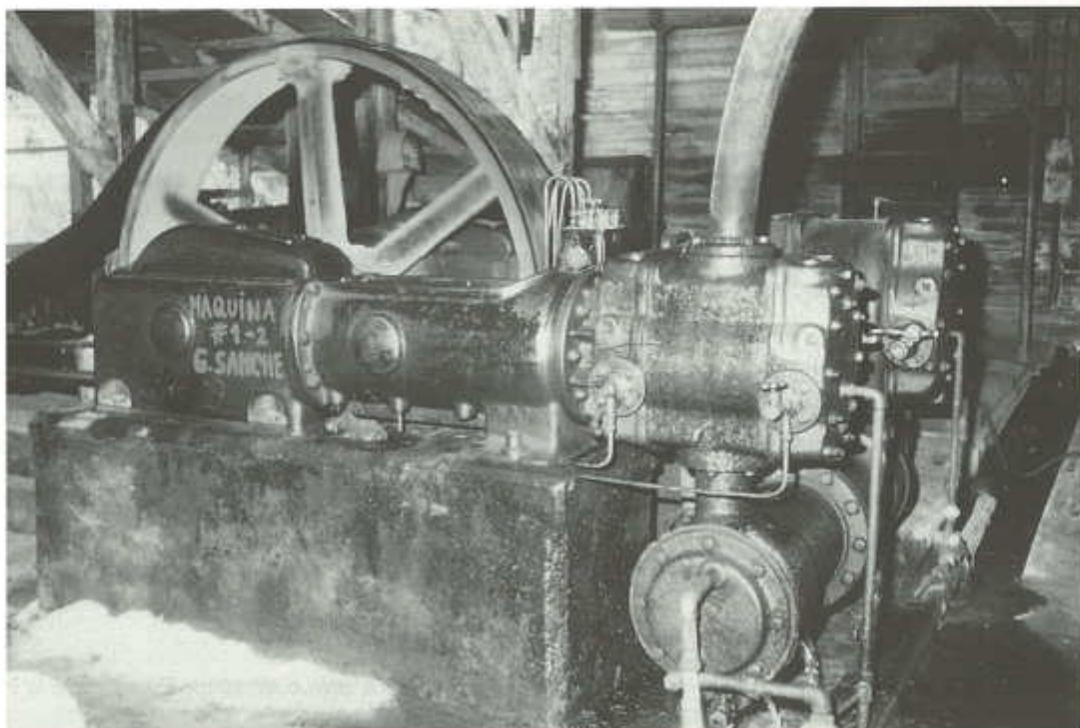
### **APLICACION EN LA PEQUEÑA MINERÍA:**

La producción y abastecimiento de aire comprimido en interior mina de la Pequeña Minería mecanizada es la instalación técnica energética más importante. Debido a los altos costo de instalación y de combustible el dimensionamiento de la instalación es de gran significado para la economía de la mina

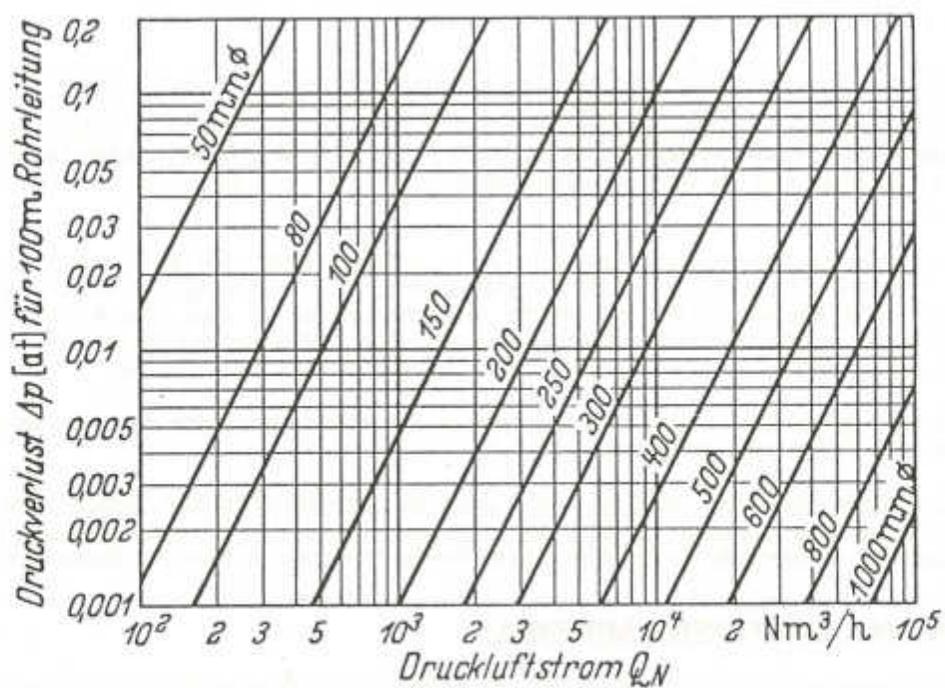
## 19.13 ABASTECIMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO

Minería en general

Energía  
Técnicas energéticas



Compresor de pistón impulsado hidromecánicamente mediante transmisión a correa. Instalaciones de superficie de la Mina Portovelo, El Oro, Ecuador

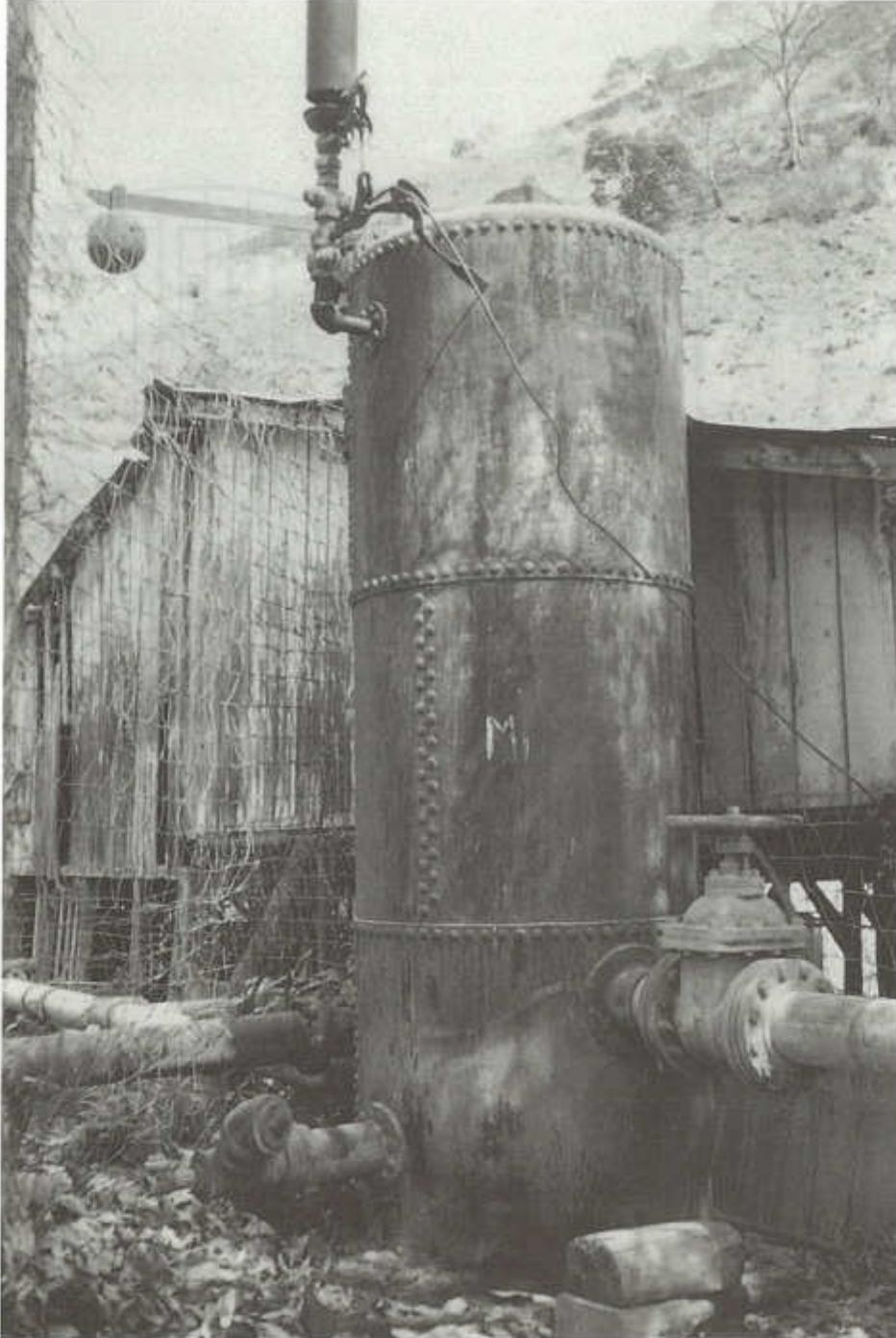


Dib.:

Caída de presión cada 100 m tubería con una presión de aire promedio de 5.5 atü y una temperatura de 20° C en función del flujo de aire comprimido y del diámetro del tubo desmontado, de Hoffman

**19.13 ABASTECIMIENTO DE  
AIRE COMPRIMIDO**

Minería en general

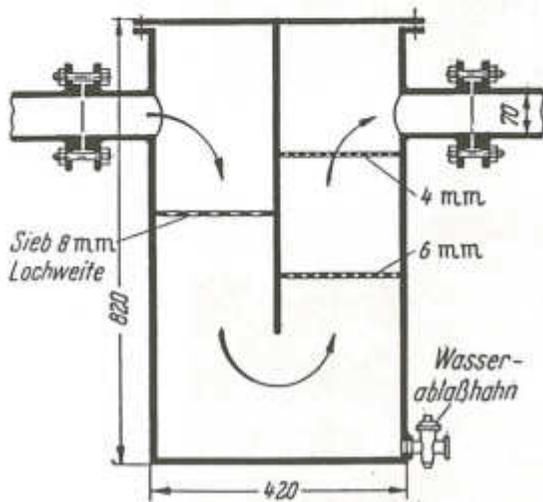
Energía  
Técnicas energéticas

Tanque de aire comprimido; nótese la válvula mecánica de seguridad en la parte izquierda superior de la foto. Instalaciones de superficie de la Mina Portovelo, El Oro, Ecuador

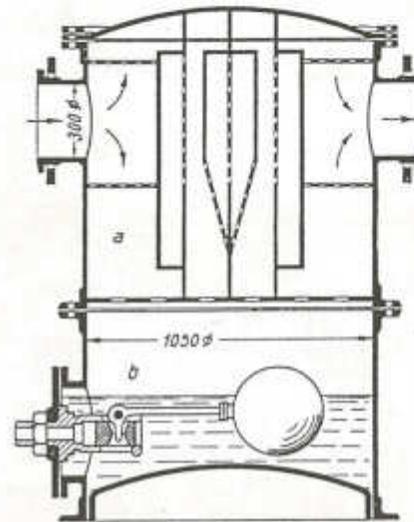
## 19.13 ABASTECIMIENTO DE AIRE COMPRIMIDO

Minería en general

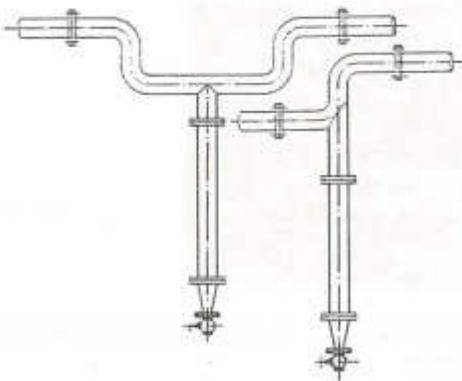
Energía  
Técnicas energéticas



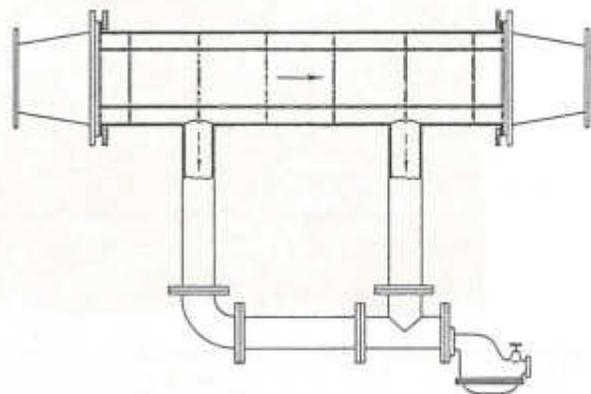
Dib.: Condensador de agua, de Hoffmann



Dib.: Condensador de agua automático para tubería principal de aire comprimido, de Hoffmann



Dib.: Desagüe de tubería de aire comprimido, de Hoffmann



Dib.: Condensador de agua de tubos y piezas de forma, de Hoffmann

## LISTA DE LA LITERATURA

- ACHARYA, R.:** Bacterial leaching: A Potential for Developing Countries. In: Genetic Engineering and Biotechnology Monitor, UNIDO, Issue No. 27, February 1990.
- ACHTHUN, N.:** Dry Process Treatment For Small Mines, B. Davidson, Lille, France, o.J.
- AGRICOLA, G.:** Vom Berg- und Hüttenwesen. Dünndruckausgabe, dtv. Bibliothek, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH und Co. KG, 2. Auflage, München 1980.
- AHLFELD, F./SCHNEIDER-SCHERBINA, A.:** Los Yacimientos Minerales y de Hidrocarburos de Bolivia. Ministerio de Minas y Petróleo, Boletín Nr. 5, La Paz 1984.
- ALBES, Dr. L. (Hrsg.):** Die Wunder der Unterwelt. Berlin o.J., um 1900.
- ALONSO-BARBA, A.:** Arte de los metales Potosí; 1967, Faksimile der Originalausgabe von 1640.
- ALTHAUS, E.:** Die Entwicklung der mechanischen Aufbereitung in den letzten hundert Jahren. In: Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Preussischen Staate, 26. Bd., Berlin 1878, S. 105-199.
- ALURRALDE, A., A.:** Cooperativas Mineras en Bolivia. La Paz 1973.
- ANDRESEN, L.:** Occurrence and Processing of Rare Earth Minerals. In: Natural Resources and Development, Vol. 25, Tübingen 1987.
- APPROPRIATE TECHNOLOGY PROJECT:** Appropriate Technology Microfiche Reference Library and Additions, Stanford California 1986.
- ARMSTRONG, A. (Hrsg.):** Handbook on quarrying, 4th ed., Adelaide 1983.
- ARMSTRONG, A.T.:** Handbook on Small Mines. Department of Mines and Energy, South Australia, Adelaide 1983.
- AST, H.:** Die Kalkbrenner am Ostrand der Alpen. Augsburg 1977.
- ATLAS COPCO DEUTSCHLAND GMBH (Hrsg.):** Handbuch Drucklufttechnik, Berlin 1977.
- BACH, C.:** Die Wasserräder; nebst Atlas mit 25 lithographierten Tafeln; Stuttgart 1886.
- BANSEN, H.:** Der Grubenausbau, Berlin 1909 (2. Aufl.).
- BARROS, C.:** Garimpo, O perigo do mercúrio, Brazil Mineral No. 55, 1988.
- BARTHOLOMÉ, E. et al (Hrsg.):** Ullmanns Encyclopädie der technischen Chemie, Bd. 19, Verlag Chemie, Weinheim, 1980.
- BAX, K.:** Der Bergbau als Schöpfer und Wegbereiter der Technik. In: Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen im Deutschen Reich, Jg. 1943, Bd. 91, H. 1.
- BERNEWITZ, M.W. von:** Handbook for Prospectors and Operators of Small Mines, New York-London 1943.
- BEYRICH, F.:** Berechnung und Ausführung der Wasserräder; Technische Lehrreihe Maschinenbau, Heft 8, Leipzig 1905.
- BGR und PROGNOSE AG:** Untersuchungen über Angebot und Nachfrage mineralischer Rohstoffe, XIX Industriemineralie, Stuttgart, Juli 1986.
- BINE:** Trocknung landwirtschaftlicher Produkte mit Solarenergie, Projekt Info-Service, BMFT, Bonn 1989.
- BLOWERS, M.J.:** Small Scale Gold Mining in Papua New Guinea, The PNC University of Technology, 1982.
- BOCK, R.:** Elektrostatistische Trennung der Komponenten von Kalisalz, Chem. Ing. Tech. 53, Nr. 12, Weinheim 1983.
- BOKI, B.W.:** Bergbaukunde, 2. vollständig überarbeitete Aufl., Berlin 1955.
- BORN, I. EDLER von:** Über das Anquicken der gold- und silberhaltigen Erze, Rohsteine, Schwarzkupfer und Hüttenpeise, Christian Friedrich Wappler, Wien 1786.
- BÖHRINGER, P.:** Steine und Erden, Aufbereiten und Verwerten. Hannover 1988.
- BROWER, J.C.:** Small Scale Mining and Economic Aid in Bolivia. In: Natural Resources Forum, Vol. 3, No. 3, 1979.
- BRUECKMANN, F.E.:** Magnalia Dei in locis Subterraneis, 2 Bde, Braunschweig 1727 u. Wolfenbüttel 1730.
- BUGNOSEN, E.:** An Introductory Manual to Small Scale Mining, unveröffentlicht, Philippinen 1988.
- CALLON, M.J.:** Cours d'exploitation des mines, Paris 1878.
- CALVÖR, H.:** Historisch-chronologische Nachricht und praktische Beschreibung des Maschinenwesens und der Hilfsmittel bei dem Bergbau im Oberharz, Braunschweig 1765.
- CAMARGO BLACUT, C.:** Agenda Minera de Bolivia, Empresa Editora "En Marcha", La Paz, Bolivia 1988.
- CANCERINUS, F.L.:** Erste Gründe der Berg- und Salzwerkskunde, Bde 6, 7, 8, 9, Frankfurt 1776-1784.
- CAPRILES V., O.:** Historia de la Minería Boliviana, La Paz 1977.
- CARMAN, J.S.:** Why Small Mining, in Episodes, Vol. 10, No. 3, 1987.
- CARNALL, R. V. (Hrsg.):** Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen in dem Preussischen Staate, Bd. 2, S. 345-396, Berlin 1855.
- CATALOGO DE FABRICANTES ANDINOS DE MAQUINARIA Y EQUIPO MINERO, JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA,** ohne Erscheinungsort, ca. 1985.
- CHEMIKERAUSSCHUSS DER GDMB (Hrsg.):** Edelmetall-Analyse, Springer, Berlin, Heidelberg 1964.
- CIERNIOCH, G.:** Untersuchungen zur Aufbereitbarkeit feinkörniger Spiralsortiersysteme: Verbesserung der Feinkornsartierung von Kassiterit. Dissertation RWTH Aachen, Baden-Baden 1987.
- CIFUENTES BOBADILLA, R.:** The mills of Chile. In: Hydronet, Heft 2, 1989.
- CLENELL, J.E.:** The Cyanide Handbook, McGraw Hill, New York London 1910.
- COLLINS, J.H.:** A first book of Mining and Quarrying, 2. Aufl., London 1888.
- COMBES, Ch.:** Handbuch der Bergbaukunst (deutsch bearbeitet von Carl Hartmann), 2 Bde. und ein Atlas, Weimar 1852.
- CRAMER, S.:** Die Situation des Kleinbergbaus in Chile, unveröffentlichte Studie, 1982.
- DAHLBERG, E.H.:** Small Scale Gold Mining. A manual based on experience in Suriname. IT Publication, Rugby 1984.
- DARMSTAEDTER, E.:** Berg-, Probier- und Kunstbüchlein. München 1926.
- DARROW, K. et al:** Appropriate Technology Sourcebook, Vol. I and II a Volunteers in Asia Publication, Stanford 1981.
- DAVILA MICHEL, O.:** Primer Simposio Internacional de Concentración del Estano, Universidad Técnica de Oruro. COMIBOL, Oruro, Bolivia 1966.
- DAVIS, R.:** Explosionszeichnung der Durchströmturbine Campo Nuevo, verbessert nach BYS T3 SKAT.
- DEKOWSKI, C.:** Kleinbergbau auf Goldalluvionen in der kolumbianischen Provinz Nariño. In: Erzmetall 42, Nr. 2, 1989.
- DEKOWSKI, C.:** Medidas técnicas para orientar la recuperación del oro en los yacimientos primarios y secundarios, Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo de Nariño, 1988.
- DELIUS, Ch.T.:** Anleitung zu der Bergbaukunst, 1773.
- DEPARTMENT OF MINES, SOUTH AUSTRALIA:** Handbook on Quarrying, Adelaide 1964.
- DEUTSCH-SÜDAMERIKANISCHE BANK:** Bolivien. In: Kurzbericht über Lateinamerika, Nr. 2, Mai 1988, S. 39-43.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ) GmbH:** Sonderenergieprogramm des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit. Statusbericht Laufwasserenergie - Kleinwasserkraftanlagen. Eschborn 1980.
- DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ) GmbH:** La Pequeña en la Región de los Andes. Schriftenreihe der GTZ, No. 140, Eschborn 1983.

**DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ) GmbH Die Rolle des Kleinbergbaus in Entwicklungsländern.** Unveröffentlichte Studie, 1985.

**DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ) GmbH Projektansätze im bolivianischen Kleinbergbau.** Unveröffentlichte Studie, 1985.

**DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ) GmbH Status Report Solar Energy; a publication of GATE, Braunschweig 1988.**

**DEGOUSEE: Anwendung des Erd- und Bergbohrers,** o.Ort, o.Jahr.

**DIDEROT, M. (Hrsg.): Histoire Naturelle (2 Bde),** Paris 1765.

**DURAN A., A. Metalurgia y Beneficio de Minerales de Oro y Plata,** Facultad Nacional de Minas, Medellin, Colombia 1952.

**ECKHOLDT, LÖBER, TÖNSMANN (Hrsg.): Geschichte der Wasserkraftnutzung.** Berichte zur Tagung Geschichte der Wasserkraftnutzung am 23. und 24. April 1982 in Koblenz. Selbstverlag des Landesmuseums Koblenz 1985.

**ELLIOTT, C.R.: Small Hydropower for Asian Rural Development;** AIT = Asian Institute of Technology, National Rural Electric Cooperative Association = NRECA; Bangkok 1983.

**ERKERS, L.: Probierrbuch,** 7. Aufl., Frankfurt am Main 1703.

**ESCOBAR ALVAREZ, J., ECHEVERRI VILLA, A.: Notas sobre minería de veta y claustración,** Asociación Colombiana de Mineros, Medellin, Colombia, 1941.

**FAGERBERG, B. et al: Small scale gold mining in Nicaragua,** in: Raw Materials Report, Vol. 4, Nr. 1, Stockholm 1985.

**FAKT: Small water turbine for Nepal.** The BUTWAL experience in machine development and field installation, 1984.

**FEJSTRIK, V.: Quecksilber.** In: Geoökologischen Stoffflüsse und Konsequenzen anthropogener Aktivitäten in der Landschaft, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1989.

**FELLENSIEK, E.: Improving the actual separation efficiency of jigs.** In: Aufbereitungs-Technik, Heft 12, 1986.

**FISCHER, H.: Technologie des Scheidens, Mischens und Zerkleinerns,** Leipzig 1920.

**FORTH, W., HENSCHLER, D., RUMMLER, W.: Pharmakologie und Toxikologie.** B.I & Brockhaus, 5. Aufl., Mannheim, Wien, Zürich 1987.

**FRAENKEL, P.: Water-Pumping devices. A handbook for users and choosers.** Intermediate Technology Publications by arrangement with The Food and Agriculture Organization of the United Nations 1986.

**FREISE, F.: Geschichte der Bergbau- und Hüttenkunde,** Berlin, 1908.

**FRICK, C./DAUSCH, H.: Metallurgische Probierrkunde,** Enke Verlag, 1932.

**FRITZ, J.J.: Small and mini hydropower systems; resource assessment and project feasibility,** New York 1984.

**FRITZSCHE, C.H.: Lehrbuch der Bergbaukunde.** Bd. 2, Berlin/Göttingen/Heidelberg 1962.

**FULDEN, C.W.: Otia Metallica,** Bde 1-3, Schneeberg 1748-1758.

**FYFIED-SHAYLER, B.A./NORTON, C.P.: Tolgus Tin, sole survivor of the traditional cornish tin streaming industry.** In: Industrial Archaeology, Vol. 15, No. 1, 1986.

**GÄRTNER, D.: Technisch-wirtschaftliche Untersuchungen und Maßnahmen zur Verbesserung des thailändischen Klein- und Mittelbergbaus auf Zinn.** Dissertation RWTH Aachen, Baden-Baden 1988.

**GAETZSCHMANN, M.F.: Die Lehre von den bergmännischen Gewinnungsarbeiten,** Freiberg 1846.

**GAETZSCHMANN, M.F.: Vollständige Anleitung zur Bergbaukunst,** 1846.

**GAETZSCHMANN, M.F.: Die Aufbereitung,** Berlin 1864 (1. Bd.), Berlin 1872 (2. Bd.) und Atlas.

**GAETZSCHMANN, M.F.: Sammlung bergmännischer Ausdrücke,** Freiberg 1881.

**GARRAT, L.S.: Snaefell Mine, Lonan, Isle of Man with particular reference to the use of waterpower, Part I.** In: Industrial Archaeology, Vol. 16, No. 2, 1981, Devon GB.

**GAST, L.: Bericht über Befahrungen von Zinnerzlagernstätten in Malaysia.** BGR, Hannover 1978, unveröffentlicht.

**GATE (Hrsg.): Kleinstwasserkraftanlagen zum Direktantrieb von Arbeitsmaschinen und zur einfachen Stromerzeugung,** Eschborn 1986.

**GATE (Hrsg.): Statusbericht Windenergie, Teil 2. Windkraftanlagen für Entwicklungsländer, Projekte und Herstellerspezifikationen,** Eschborn 1986.

**GERTH, SALZMANN, HAMANN: Leitfaden der Erzbaubereitung.** Verlag Bonner Universitäts-Druckerei, Gebr. Scheur GmbH, Bonn 1952.

**GOCHT, W.: The importance of small scale mining in developing countries.** Natural Resources and Development, Vol. 12., Institut für wissenschaftliche Zusammenarbeit, Tübingen 1980.

**GOESCHEN, G.J.: Bergbaukunde, Bd. 1, 2,** Leipzig 1789, 1790.

**GREENWELL, A./ELSDEN, J.V.: Practical Stone Quarrying,** London 1913.

**GURLT, A.: Die Bergbau- und Hüttenkunde.** 3. Auflage, Baedeker, Essen 1884.

**GÜRICH, G.: Das Mineralreich,** Hausschatz des Wissens Bd. VI, Verlag M. Stier, München, o.J., um 1900.

**HAGELÜKEN, C.: Möglichkeiten zur Verfahrensverbesserung bei der Gewinnung von Zinnseifen in Südostasien.** In: Erzmetall 43, Nr. 1, 1990.

**HARTMANN, C. (Hrsg.): Über die mechanische Aufbereitung der silberhaltigen Bleierze am Oberharz,** Weimar 1853.

**HARTMANN, C.: Vollständiges Handbuch der Steinarbeiten,** Weimar 1854.

**HARTMANN, C.: Armengaud's Praktisches Handbuch über den Bau und Betrieb der hydraulischen Motoren oder der Wasserräder und Turbinen;** Leipzig 1859.

**HARTMANN, C.: Berg- und Hüttenmännischer Atlas, 2 Bde.,** Weimar 1860.

**HARTMANN, C.: Berg- und Hüttenmännischer Atlas,** Weimar 1860.

**HAUCK, J.R.v.: Die Wasserhaltungsmaschinen der Bergwerke.** Mit 24 lithographierten Tafeln, Leipzig 1879.

**HAUER, J. RITTER v.: Die Fördermaschinen der Bergwerke,** Leipzig 1885.

**HAUER, J. RITTER v.: Die Wettermaschine,** Leipzig 1889.

**HAUSDING, A.: Industrielle Torfgewinnung und Torfverwertung mit besonderer Berücksichtigung der dazu erforderlichen Maschinen und Apparate nebst deren Anlagen- und Betriebskosten,** Seydel 1876.

**HAUSDING, A.: Handbuch der Torfgewinnung und Torfverwertung,** 2. Aufl., Berlin 1904.

**HELFRICHT, R.: Dichtesortierung in Fächerrinnen.** Freiburger Forschungshefte A 368, Freiberg 1966.

**HELFRICHT, R.: Konstruktive Ausbildung von Fächerrinnenanlagen und einige Betrachtungen zu den wichtigsten Einflußgrößen von Fächerrinnen.** Bergakademie, 18. Jahrgang, Heft 6, Freiberg, DDR, Juni 1966.

**HENNE, H.: Die Wasserräder und Turbinen; ihre Berechnung und Konstruktion;** Leipzig 1903.

**HENTSCHEL, Th.: Die aktuelle Situation des bolivianischen Bergbaus unter besonderer Berücksichtigung des Kleinbergbaus und Problemlösungen auf Basis angepaßter Technologie.** Diplomarbeit, Hannover 1988.

**HENTSCHEL, Th.: Die Energiesituation im bolivianischen Kleinbergbau mit praktischen Lösungsmöglichkeiten.** Studie GTZ/GATE, Hannover 1988, unveröffentlicht.

**HENTSCHEL, Th., PRIESTER, M.: Quecksilberbelastungen in Entwicklungsländern durch Goldamalgamation im Kleinbergbau und aufbereitungstechnische Alternativen,** In: Erzmetall 7/8, Weinheim 1990.

**HERMOSA V.W.: Breve Historia de la Minería en Bolivia.** Editorial "Los Amigos del Libro", La Paz 1979.

**HERRMANN, O.: Steinbruch-Industrie und Steinbruch-Geologie.** 2. Aufl., Bornträger 1916.

**HOFFMANN, C.: Lehrbuch der Bergwerksmaschinen (Kraft- und Arbeitsmaschinen).** Berlin/Göttingen/Heidelberg 1962.

- HORVAY, K.:** Die Problematik der Erzaufbereitung in Bolivien. In: Zeitschrift der deutsch-bolivianischen Industrie- und Handelskammer, H. 3, S. 3-11, La Paz 1978.
- HORVAY, K.:** Wichtige Hinweise für den praktischen Betrieb von Setzmaschinen. Grupo de Cooperación Minera (GTZ), FONEM, Informe, La Paz, Bolivia 1980, unveröffentlicht.
- HORVAY, K.:** Bericht über den Einsatz in der Grupo de Cooperación Minera (GTZ). Fraser, Frankfurt, Juli 1983, unveröffentlicht.
- HOUSE, I. et al:** Coal gold agglomeration. In: International Mining, Sept. 1988.
- HUMBOLDT, F.A.:** Über die unterirdischen Gasarten und die Mittel ihre Nachteile zu verhindern, Braunschweig 1799.
- HUNDT:** Beschreibung eines neuen Trichterherdes zur Aufbereitung der Quetsch- und Pochtrübe. In: Ztsch. f.d. Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. 6, S. 65 ff, 1858.
- HUNTER, N.J.:** The rock bottom economics of gold placer mining. Paper No. 21, Kleinbergbauseminar London, 1987.
- INVERSON, A.R.:** Micro-Hydropower Sourcebook, Washington 1986.
- JANCOVICH, J./ACKTHUN:** Treatment plants for small mines. Paper No. 18, Kleinbergbauseminar London, 1987.
- JARDIMEK, E.:** Bergtechnische Mitteilungen von der Weltausstellung in Paris 1878, Wien 1879.
- JORDAN, E./PEREZ, A./CUELLAR, P.:** Alternative Energien und ökologische Probleme Ihrer Nutzung in Bolivien. In: Tübinger Geographische Studien, H. 96, S. 225-240, 1987.
- KETTENBACH, F.:** Der Müller und der Mühlenbauer. I. und II. Band, Leipzig 1907.
- KIRCHERUS, A.:** D'Onder-aardse Weereld (Unterirdische Welt), Niederländische Übersetzung aus dem Lateinischen, Amsterdam 1682.
- KIRSCHNER, L.:** Grundriss der Erzaufbereitung. I. und II. Theil nebst Tafeln, Leipzig und Wien 1898 und 1899.
- KLEEMANN, M., MELIP, M.:** Regenerative Energiequellen, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1988.
- KLEY, C.:** Die einfach- und direktwirkenden Woolfschen Wasserhaltungsmaschinen der Grube Altenberg bei Aachen nebst einem Atlas von 12 großen Tafeln, Stuttgart 1865.
- KOECKE:** Der Hundtsche Trichterherd. In: Ztsch. f.d. Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. 7, 1859.
- KOLBECK, F.:** Carl Friedrich Plattner's Probierkunst mit dem Lötrohr, 8. Aufl., Leipzig 1927.
- KONOPASEK, R.:** Zur Bedeutung des Kleinbergbaus in Entwicklungsländern. In: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 126. Jg., H. 12, S. 521-523, 1981.
- KÖNIG, F. v.:** Windenergie in praktischer Nutzung, 2. Auflage, München 1978.
- KÖNIG, F. v.:** Wie man Windräder baut. Berechnung, Konstruktion und Ausführung, 4., überarbeitete Auflage, München 1980.
- KÖNIG, F. v.:** Bau von Wasserkraftanlagen: praxisbezogene Planungsgrundlagen für die Errichtung von Wasserkraftanlagen aller Größenordnungen, Karlsruhe 1985.
- KRONE, E.:** Probleme der Primärlaugung. In: Erzmetall 42, Nr. 6, 1989.
- KUDRYK, V. et al (Eds.):** Precious Metals: Mining, Extraction, and Processing. A Publication of the Metallurgical Society of AIME, New York 1984.
- KUHLE, K.:** Der Bergbau Kolumbiens, Glückauf, H. 8, 1970.
- KULMS, M.:** Angepaßter Bergbau für Entwicklungsländer. In: Erzmetall 40, Nr. 5, 1987.
- KUR, F., WOLF, H.G.:** Wassermühlen: 35.000 Kleinkraftwerke zum Wohnen u. Arbeiten. Frankfurt a.M. 1985.
- LANDTECHNIK WEIHENSTEPHAN:** Zweistufiger Savonius-Rotor und dreiflügeliger Durchströmrotor, 1987.
- LANDTECHNIK WEIHENSTEPHAN:** Das Solarzelt, 1988.
- LANGSDORF, K.Ch.:** Lehrbuch der Hydraulik, Altenburg 1794.
- LEFAD, S.J./BATES, R. (Hrsg.):** Industrial minerals and rocks society of Mining Engineers, New York, 5th ed., Volume 1 + 2, New York 1983.
- LEMPE, J.F.:** Magazin für die Bergbaukunde, Bde 2-9, Dresden 1786-1792.
- LENGEMANN:** Bergbaukunde, Vorlesungsmanuskript zu den Vorlesungen des Geh. Bergr. Prof. Lengemann, Aachen 1894-96.
- LEPPER, C.:** Die Goldwäscherei am Rhein, Geschichtsblätter Kreis Bergstraße: Sonderband 3, Lorsch 1980.
- LEUTZ, R.:** Gewinnung und Aufbereitung von Schwermineral-sanden in Camaratuba/Brasilien. In: Erzmetall 42, Nr. 9, 1989.
- LINKENBACH, E.:** Die Aufbereitung der Erze, Berlin 1887.
- LIWEHR, A.E.:** Die Aufbereitung von Kohle und Erzen, Bd. 1, Leipzig 1917.
- LÖNEYSS, G.E.:** Bericht vom Bergwerck, Braunschweig 1617.
- LÖWE, P.:** Animal powered systems: an alternative approach to agriculture mechanization; a publication of GATE, Braunschweig 1986.
- LONDOÑO G, R.:** Minas de Aluvion, Asociacion Colombiana de Mineros, Medellin, Colombia 1941.
- MACDONALD, E.H.:** Alluvial Mining, London, New York 1983.
- MAGER, J.:** Mühlenflügel und Wasserrad; Mühlen und Hebewerke für Wasser und Sole; VEB Fachbuchverlag Leipzig 1987.
- MALLAS, J., BENEDICTO, N.:** Mercury and Goldmining in the Brazilian Amazon. Ambio Vol. 15 (1986) No. 4, page 248 f.
- MALM, O. et al:** Mercury Pollution Due to Gold Mining in the Madeira River Basin, Brazil, Ambio Vol. 19 (1990) No. 1, page 11 ff.
- MARTINELLI, L.A. ET AL:** Mercury Contamination in the Amazon: A Gold Rush Consequence, Ambio Vol. 17 (1988) No. 4, page 252 ff.
- MATOS, C.M.:** Levantamento sobre os efeitos do mercúrio na bacia do rio tapajús. Dienstreisebericht unveröffentlicht, Brasilia 1988.
- McCULLAGH, J.C. (Hrsg.):** Pedalkraft. Menschen, Muskeln und Maschinen, Reinbek bei Hamburg 1988.
- McDIVITT, J.F.:** Special issues related to very small mines. Paper No. 16, Kleinbergbauseminar London, 1987.
- MEDINA ACUÑA, O.M.:** Exploracion de oro aluvial, Banco Minero del Peru, Lima 1982.
- MEIER, U.:** Local Experience With Micro-Hydro Technology. St. Gallen 1985, SKAT/ATOL.
- MEYER, J.H.:** Kraft aus Wasser; vom Wasserrad zur Pumpturbine; Festschrift zum 50jährigen Bestehen der Kraftwerke Oberhasli AG, Innetkirchen; Zürich 1975.
- MEYER, R.F./CARMAN, J.S. (Hrsg.):** The Future of Small Scale Mining. First International Conference, 26. Nov. - 5. Dec. 1978, Jurica, Oro, Mexico 1980.
- MEZA S.L.A.:** Cianuración en canchas (pilas) para la recuperación de metales preciosos: una alternativa para la minería aluvial. o. nähere Angaben.
- MICHEL, H.:** The Development of Bolivian Mining. In: Natural Resources and Development, VOL. 13, S. 44-67, 1980.
- MINISTERIO DE MINERIA Y METALURGIA (de Bolivia):** Boletín Estadístico Minero Metalurgico, No. 141/87, No. 143/87, No. 144/87.
- MOESTA, H.:** Erze und Metalle - Ihre Kulturgeschichte im Experiment, 2. korrigierte Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio 1986.
- MOHRIG, W.:** Druckluft-Praxis; München 1988.
- MONITION, L.:** Micro hydroelectric power stations; Bury St Edmunds 1984.
- MÖNNINGHOFF, M., u.a.:** Der hydraulische Widder, 4. Aufl., Hannover 1987.
- MÜLLER, K.F.:** Die Salzärten des Meeresufers. Universität Leipzig, 1910.
- MÜLLER, W.:** Die eisernen Wasserräder. Berechnung, Konstruktion und Bestimmung ihres Wirkungsgrades. Erster Teil: Die Zellenräder Zweiter Teil: Die Schaufelräder, Leipzig 1899.
- MÜLLER, W.:** Die Wasserräder, Berechnung, Konstruktion und Wirkungsgrad; 2. Auflage, Leipzig 1939.

- NEILSON, J.M. (Hrsg.): *The geosciences in international development AGID report No. 8. Strategies for small-scale mining and mineral industries*. Report of a Regional Workshop held at Mombasa, Kenya April 14-25, 1980. ASSOCIATION OF GEOSCIENTISTS FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT, 1982.
- NEUBURGER, A.: *Die Technik im Altertum*, 1929.
- NEUMANN, E.: *Handbuch für Steinbrüche, Sand- und Kiesgruben*, Berlin 1958.
- NIEMANN, G.: *Maschinenelemente, zweiter Band: Getriebe*, Springer-Verlag, Berlin 1985.
- NÖTSTALLER, R.: *Aspekte bergtechnischer Verfahrenswahl in Entwicklungsländern*. In: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 126. Jg. H. 6, 1981.
- NÖTSTALLER, R.: *Zur Frage der geeigneten Bergtechnik für Bergwerksprojekte in Entwicklungsländern unter besonderer Berücksichtigung des zweckmäßigen Mechanisierungsgrades untersucht am Beispiel des Kohlebergbaues*. Dissertation, Leoben, 1982.
- NÖTSTALLER, R.: *Zur Beurteilung der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen von Bergbauprojekten*. In: Glückauf-Forschungshefte, Jg. 44, H. 6, 1983.
- NÖTSTALLER, R.: *Der zweckmäßige Mechanisierungsgrad aus bergwirtschaftlicher Sicht*. In: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 128. Jg. H. 12, 1983.
- NÖTSTALLER, R.: *On the Appropriate Technology for Mining Sector Projects in Different Economic Environments*. In: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 129. Jg. H. 10, 1984.
- NÖTSTALLER, R.: *Überlegungen zum Bergbaustudium aus der Sicht der Probleme in Entwicklungsländern*. In: Berg- und Hüttenmännische Monatshefte, 131. Jg. H. 6, 1986.
- NÖTSTALLER, R.: *Small-scale mining: a review of the issues*, World Bank technical paper no. 75. Industry and finance series.
- OEHLER, V.: *Simple Natural Stone Techniques*, unveröffentlicht, GTZ 1987.
- OVENS, W.G.: *A Design Manual for Water Wheels; a VITA publication*, Mt. Rainier 1975.
- PANIAS, D., NEOU-SYUGONNA, P.: *Gold extraction from pyrite cinders by high temperature chlorination*. In: Erzmetall 43, Nr. 1, 1990.
- PFARR, H., BRENDLER, R.: *Exkursionsführer, Lehrgrube "Alte Elisabeth"*, Bergakademie Freiberg, 1985.
- PHILLIPS, J.A.: *The Mining and Metallurgy of Gold and Silver*, London 1867.
- PIELER: *Die in Ramsbeck mit dem Hundtschen Trichterherd angestellten Versuche*. In: Ztsch. f.d. Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. 7, 1859.
- PILZ, B.: *Small Scale Mining, The Concept and Strategies Underlying German Technical Cooperation*.
- PRIESTER, M.: *Lagerstätten- und aufbereitungstechnische Kriterien für die traditionelle Erzaufbereitung im Kleinbergbau Boliviens*. Dissertation, Berlin 1988.
- PRIESTER, M., HENTSCHEL, T.: *Technische und wirtschaftliche Aspekte der traditionellen Erzaufbereitung im Kleinbergbau Boliviens*. In: Erzmetall 42, Nr. 12, 1989.
- PRIESTER, M., HENTSCHEL, T.: *Umwelt- und Gesundheitsrisiken in Entwicklungsländern*. In: Erzmetall 44, Nr. 12, 1991.
- PRIESTER, M., HENTSCHEL, T.: *The Bolivian Round Buddle and the Circular Buddle - Two Traditional Types of Processing Equipment for Small-scale Mining in the Andes*. In: Aufbereitungs-Technik 32, Nr. 11, 1991.
- PRIESTER, M., HENTSCHEL, T.: *Technology and problems of small-scale mining in South America*. In: Raw Materials Report Vol 8 no 1, 1991.
- PROJEKT-CONSULT GmbH: *Marktübersicht und Beurteilung industriell hergestellter Göpel*, Frankfurt 1986.
- QUITTKAT, G.: *Erzaufbereitung*, München 1961.
- RAINER, G., NOYA, A.R.: *Consejos practicos para la perforacion*, Cuaderno del minero No. 2, Oruro, Bolivia, 1978.
- RAINER, G.: *Consejos practicos de fortificacion*, Cuaderno del minero No. 1, Oruro, Bolivia, 1978.
- RAMDOHR, P./STRUNZ, H.: *Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie*, 16. Aufl., Enke Verlag, Stuttgart 1967.
- RAU, H.: *Helioteknik. Sonnenergie in praktischer Anwendung*. Erfahrungen aus 40 Ländern. München 1978.
- REDTENBACHER, F.: *Theorie und Bau der Wasserräder nebst Atlas mit 25 lithographierten Tafeln*; Mannheim 1858.
- REITEMEIER, F.: *Geschichte des Bergbaus und Hüttenwesens bei den alten Völkern*, Göttingen, 1785.
- REUTHER, E.U.: *Lehrbuch der Bergbaukunde mit besonderer Berücksichtigung des Steinkohlenbergbaus*. 1. Bd., 11. vollständig überarbeitete Aufl., Essen 1989.
- REYNOLDS, J.: *Windmills and Watermills*; London 1970.
- REYNOLDS, T.S.: *Stronger than a hundred men; John Hopkins studies in the history of technology*; new series, No. 7, Baltimore 1983.
- RITTINGER, P.: *Erfahrungen im berg- und hüttenmännischen Maschinen-, Bau- und Aufbereitungswesen*, Wien, Jahrgänge 1856 bis 1871.
- RITTINGER, P., RITTER v.: *Lehrbuch der Aufbereitungskunde*, Berlin 1867.
- ROBINSON, C.N./MINERAL DEPOSITS Ltd.: *Recovery of metallic minerals from placer and hard rock deposits by gravity concentration TU-Lulea*, Lulea, Schweden, 15-18.3.83.
- RODRIGUEZ, M.H.: *Molinos de Piedra*. In: Hydronet, Heft 1, 1989.
- ROHART, J.: *Die Fabrication des Düngers*. Übersetzt von Ch. H. Schmidt, 2. Aufl. 1865.
- ROSCHLAU, HEINTZE: *Bergmaschinen-technik*, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1982.
- RUDOLPH, K.: *Ghatta - The Himalayan Water Mill*. In: GATE, questions, answers, information, No. 1/88, Eschborn 1988.
- RUSSEGGER, J.: *Der Aufbereitungsprozess Gold- und Silberhaltiger Pocherze im Salzburgerischen Montanbezirke*, Stuttgart 1841.
- SCHAUROTH, C.V.: *Die Grubenwetter*, Diss. Heidelberg 1840.
- SCHAEFFER, F., SCHACHTSCHNABEL, P.: *Lehrbuch der Bodenkunde*, 11. Aufl., Enke-Verlag, Stuttgart 1982.
- SCHENNEN, H./JÜNGST, F.: *Lehrbuch der Erz- und Steinkohlenaufbereitung*, Stuttgart 1913.
- SCHIPPERS, H.-J.: *Bergbau und Infrastruktur in Entwicklungsländern*. In: Erzmetall 35, Nr. 1, 1982.
- SCHMIDTCHEN, H. (Hrsg.): *Ausrüstungen für Bergbau und Schwerindustrie*. Bd. V: *Bergbauausrüstungen*, Leipzig 1958.
- SCHNABEL, C.: *Handbuch der Metallhüttenkunde*, Bd. 1, Berlin 1901 (2. Aufl.).
- SCHNEIDERHÖHN, H.: *Erzlagerstätten*, 4. Aufl., G. Fischer Verlag, Stuttgart 1962.
- SCHUBERT, H.: *Aufbereitung fester mineralischer Rohstoffe*. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1972.
- SCHUMACHER, E.F.: *Small is Beautiful*. rororo aktuell 5539, Reinbek bei Hamburg, 1985.
- SCHWUER, H.: *Traditional water mills in Nepal*. In: Hydronet, Heft 1, 1988.
- SEETON, F.A.: *The Cyanide Process for Gold and Silver Ores*, Denver Publications Bulletin No. M3-B 16, ca. 1952.
- SEIDEL, J.: *Es dreht sich um Strom*. Hrsg.: Informationszentrale der Elektrizitätswirtschaft e.V. - IZE - Frankfurt 1987.
- SERLO, A.: *Leitfaden zur Bergbaukunde*, Berlin, 1878.
- SHADMON, A.: *Stone, An Introduction*, It-publications, London, 1989.
- SHAW, J.: *Water power in Scotland 1550-1870*; Edinburgh 1984.
- SHOUKRY, B.: *El hidroclicion, clasificador radial dinamico con aplicacion de la aceleracion centrifuga*. Itintec, GTZ, Lima 1983, unveröffentlicht.
- SHOUKRY, B.: *Los minerales como materia prima del vidrio en el Peru y tecnologia del tratamiento de la arena silicea*. Stolberg Ingenieurberatung, Lima 1984, unveröffentlicht.

- SHOUKRY, B.:** Vorschläge zur Aufbereitung von goldhaltigen Sanden von Won Hari, unveröffentlicht, Stolberg 1985.
- SIEGERT, J.:** Kleinbergbau zur Flußspatgewinnung in der Oberpfalz. Diplomarbeit, TU Berlin 1987, unveröffentlicht.
- SILVA, A.R.B. da, et al.:** A contaminação mercurial nos garimpos de ouro da amazonia. Draft, unveröffentlicht.
- SILVA, M.:** Placer Gold Recovery Methods. California Department of Conservation, Division of Mines and Geology, Sacramento 1986.
- SINCLAIR, J.:** Quarrying, Opencast and Alluvial Mining. Amsterdam, London, New York 1969.
- SINGEWLAD, A., FRICKE, G.:** Die elektrostatische Aufbereitung von Kali-Rohsalzen, Chem. Ing. Tech. 55, Nr. 1, Weinheim 1983.
- SLOTTA, R.:** Einführung in die Industriearchäologie, Wissenschaftliche Buchgemeinschaft, Darmstadt 1982.
- STAMPA, U., LERCHE, E., BREDOW, W.:** Wind: Strom für das Haus. Eine Anleitung für den Selbstbau der Kleinwindkraftanlage ELWII zur Stromerzeugung für Kleinverbraucher eines 12 Volt-Netzes. o.J.
- STEWART, A.L.:** Goldore processing today. In: International Mining, April and May 1984.
- STEWART, A.L.:** Mineral processes by small workers, Paper No. 19, Kleinbergbauseminar London, 1987.
- STEWART, D.:** Small Scale Mining: An Appropriate Industry for Papua New Guinea?, In Proceedings of the Conference on Small Scale Mining in PNG, University of Technology, 1983.
- STIFT, Ch. E.:** Versuch einer Anleitung zu der Aufbereitung der Erze, Marburg und Cassel 1818.
- STOCES, B.:** Wahl und Beurteilung von Abbaufahren im Bergbau, F. Enke Verlag, Stuttgart 1958.
- STOCES, B.:** Eleccion y Critica de los Metodos de Explotacion en Minería Ediciones Omega, S.A., Barcelona, Spanien, 1963.
- STOLZ, M.:** Der genossenschaftliche Bergbau in Bolivien. Institut für Genossenschaftswesen der Westfälischen Wilhelmsuniversität, Münster 1984.
- STOUT, K.S.:** The profitable small mine, prospecting to operation. Mc Graw Hill, New York 1984.
- TAGGERT, A.F.:** Handbook of Mineral Dressing, Ores and Industrial Minerals. 5. Auflage, John Wiley and Sons Inc., New York 1953.
- THÜRER, K.:** Goldbergbau in Ghana, unveröffentlichte Studienarbeit, TU Berlin, 1990.
- TRAWINSKI, H.F.:** Theory, applications and practical operation of hydro-cyclones. In: E/MJ, 9/1976.
- TRAWINSKI, H.F.:** Current Liquid-Solid Separation Technology, Filtration and Separation, 4/1980.
- TRAWINSKI, H.F.:** Anwendung des Hydrozyklons in der Mineral-Aufbereitung. In: Aufbereitungs-Technik, H. 3, 1981.
- TRAWINSKI, H.F.:** Practical Hydrocyclone Operation. In: Filtration and Separation, 1/1985.
- TRAWINSKI, H.F., BOUSA, J.L.:** Aplicaciones y funcionamiento practico de los hidrociclones, AKW, unveröffentlicht.
- TREBRA, F.W.H. von:** Erfahrungen vom Innern der Gebirge, Dessau und Leipzig 1785.
- TREPTOW, WÜST, BORCHERS:** Bergbau und Hüttenwesen. O. Spamer, Leipzig 1900.
- TREPTOW, E.:** Grundzüge der Bergbaukunde und Aufbereitung, 3. Aufl., Wien und Leipzig 1903.
- TREPTOW, E.:** Der altjapanische Bergbau und Hüttenbetrieb, Sonderdr. Jhb. f. Berg- + Hüttenwesen im Königreich Sachsen, Freiberg 1904.
- TREPTOW, E.:** Der älteste Bergbau und seine Hilfsmittel, VDI-Verlag, 1918.
- TREPTOW, E.:** Grundzüge der Bergbaukunde einschließlich Aufbereitung und Brikettieren, Bd. 2, Wien-Leipzig 1918.
- ULLOA, A. de:** Physikalische und historische Nachrichten vom südl. und nordöstl. Amerika. Spanische Übersetzung von Johann Andreas Dieze, 2 Teile, Leipzig, Verlag Weidmanns Erben, 1781.
- URQUIZA, A.:** La Minería Artesanal en el Norte de Chile, unveröffentlichte GTZ-Studie, 1989.
- USLAR, M. v.:** Das Gold. Sein Vorkommen, seine Gewinnung und Bearbeitung, Halle a.S. 1903.
- VARGAS GALLARDO, J.:** Metallurgia del oro y de la plata. Banco Minero, La Paz, Bolivia.
- VEGA, R.L., MURILLO, CH. J.:** Perforacion y Voladuras para operaciones mineras, Libreria Editorial "Juventud", La Paz, Bolivia, 1990.
- VILLEFOSSE, H. de:** Über den Mineralreichthum. Deutsch von Carl Hartmann, Sondershausen 1822 (Bd. 1 u. 2), 1823 (Bd. 3), 1839 (Bd. 4), 1840 (Bd. 5).
- VITA (Hrsg.):** Overshot Waterwheel; a design and construction manual, Arlington 1980.
- WABNER, R.:** Die Bewetterung der Bergwerke. Mit einem Atlas von 30 Tafeln. Leipzig 1901.
- WAGENBRETH, O./HOFMANN, F.:** Alte Freiburger Bergwerksanlagen und Grubengebäude, Freiburger Forschungshefte D 19, Akademie-Verlag Berlin, 1957.
- WAGENBRETH, O./WÄCHTER, E. (Hrsg.):** Technische Denkmale in der DDR, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1989.
- WAGENBRETH, O./WÄCHTLER, E. (Hrsg.):** Der Freiburger Bergbau. Technische Denkmale und Geschichte, Leipzig o.J.
- WEISS, K. (Hrsg.):** Handbuch der Steinindustrie, Bd. II Technik der Steinverarbeitung, Berlin 1915.
- WINKELMANN, H.:** Altjapanischer Goldbergbau, Westfalia, Lünen 1964.
- WOODRUFF, S.D.:** Methods of working coal and metal mines. Vol. 2: Ground support methods. Oxford, London, Edinburgh, New York, Toronto, Paris, Frankfurt, 1966.
- WORLD BANK:** Appraisal of a Small Mining Development Project, Bolivia. Rep. No. 1236 b-B0, Washington, 1976.
- WOTRUBA, H., VEST, H.:** Schwereretrennung von Golderzen mit einfacher Technologie im Kleinbergbau, unveröffentl. Literaturrecherche, Aachen 1990.
- YOUNG, P.:** Flotation Machines. In: Mining Magazin, Vol. 146, No. 1, 1982.
- ZIRKEL:** Bergmännische Mittheilungen über Cornwall. In: Ztsch. f. d. Berg-, Hütten- und Salinenwesen, Bd. 9, 1661.

## SIN AUTOR

**Amalgamation ABC**, Denver Publications Bulletin No. A4-B3, Denver, Co., USA, ohne Jahr, ca. 1950.

**Beneficio de casiteritas, Sugerencias de un proceso gravimetrico mas eficiente para el beneficio de casiteritas bolivianas.** Grupo de Cooperacion Minera/GTZ, FONEM, Informe general Nr. 2/1, La Paz, Bolivia 1980, unveröffentlicht.

**Beschreibung der "tecnologia artesanal" der Goldwäscherei in der Arbeitszone Mazuko-Huaypetue-Pukiri**, o. nähere Angaben.

**Bomba de Mecate.** Proyecto Biogas, UMSS, PAAC, gate/GTZ, Cochabamba 1987.

**Catalogo de fabricantes andinos de maqunaria y equipo minero, Junta del Acuerdo de Cartagena**, ohne Erscheinungsort, ca. 1985.

**Das Schwarzer Bergbuch 1556.** Faksimiledruck, Hrsg.: Verlag Glückauf, Essen 1989.

**Dauerhafte Energiequellen. Einführung in die Nutzung von Sonnen-, Wind-, Wasser- und Bioenergie.** 5. Auflage, Marburg 1980.

**Hütte, des Ingenieurs Taschenbuch**, 27. Aufl., W. Ernst & Sohn, Berlin 1949.

**Lagerstätten der Steine, Erden und Industriemineralie**, Hrsg.: Fachausschuß "Steine, Erden, Industriemineralie" der GDMB Gesellschaft Deutscher Metallhütten- und Bergleute, H. 38 der Schriftenreihe des GDMB, Weinheim 1981.

**Manual de Lavaderos Auriferos**, INEMIN, Quito 1987.

**Mineralische Rohstoffe**, Sektorkonzept, BMZ, Bonn 1985.

**Mining Annual Review**, erscheint jährlich, mit Länderübersicht.

**Recovery of Gold**, General Information, Mineral Deposits, unveröffentlicht, Australia 1987.

**Report of Investigation.** Thai-German Joint Research Project, Mineral Resources Gazette, Thailand 1982.

**Resultados de una investigacion sobre costos de operacion en plantas concentradoras de diferentes capacidades.** Informe No. 11/4, Grupo de Cooperacion Minera (GTZ), La Paz 1982, unveröffentlicht.

**Small Scale Mining, A guide to appropriate equipment**, IT-Publication, London, Großbritannien, 1990.

**The first International Symposium on Precious Metals Recovery.** June 10-14 1984, MGM Grand Hotel Reno, Nevada, USA.

**The Hypolito Retort-making mercury recovery safe.** In: Vol. 17, No. 2, Appropriate Technology, London 1990.

**World Mining Glossary of Mining.** Processing and Geological Terms, Miller Freeman Publ. Inc., 2. Auflage, San Francisco 1975.

**Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen bis 1943.**

## LISTA DE PATENTES USADOS:

DE	2125 286
DE	2134 298
DE	2213 370
DE	2231 028
DE	2609 048
DE	2814 146
DE	2804 999
DE	3035 589
DE	3146 295
DE	3216 735
DE	3233 528
DE	3233 780
DE	3309 385
DE	3429 458
DE	3603 165

DE	3603 166
DE	3825 434
EP	0012 740
EP	0074 366
EP	0075 563
EP	0123 501
EP	0231 441
EP	0246 895
EP	0247 795
EP	0323 447
EP	0337 361
F	530 793
GB	2038 365
USA	4597 791

## LISTA DE FABRICANTES

### Aceros del Sur S.A. ADESUR

Jacinto Ibañez 131, Parque Industrial M-2, Arequipa, Perú,  
(51-54) 23 28 55, 23 26 40, 23 47 05, Fax (51-54) 23 28 55,  
Telex 51214 PE ADESUR

### AEQ

Goldsteinstraße 238, 6000 Frankfurt am Main 71, Alemania,  
(069) 6699-0, Fax (069) 66 99 205, Telex 413 382

### Aker-Minpro

Sandgt. 33, Trondheim, Noruega,  
(07) 51 35 22, Telex 55 083 Minpr n

### AKW

Postfach 11 69, 8452 Hirschau, Alemania,  
(09622) 1 83 30, Fax (09622) 1 83 76, Telex 17 962 282 akwv

### Alquexco S.A.

Av. 81 N° 69 B-40, Apart. 53920, Bogotá, Colombia,  
223 91 46, 251 86 00, Telex 45480

### Arcotex

Padre Tadeo No 4920, Casilla 12083, Santiago, Chile,  
73 55 26, Telex 294 311

### ASEA, Perini Hermanos

Cra. 19<sup>no</sup>, 22 B 03, A.A. 472, Pasto, Colombia,  
32 449, 36 337, Fax 32 449

### Atlas Copco

Ernestinenstraße 155, 4300 Essen 1, Alemania,  
(0201) 247-0, Fax (0201) 21 67 07, Telex 857 467

### Barrenas Sandvik Andina S.A.

Fermin Tanguis 160, Urb. Santa Catalina - La Victoria,  
Apart. 6183 Lima 100, Lima, Perú,  
(51-54) 70 58 85, 70 80 30, Fax 70 58 78, Telex 25406 PE

### Becorit, siehe KHD

### Berry Neu Turbomachines

47 rue Fournier, B.P. 327, 59020 Lille, Francia,  
(033) 20 09 68 58, Fax (033) 20 92 90 76, Telex 820 257

### Böhler

Postfach 80, 8605 Kapfenberg, Austria,  
(03862) 291 85 85, Fax (03862) 3 31 97, Telex 36 529

### Bosch

Postfach 10 01 56, 7022 Leinfelden-Echterdingen 1, Alemania,  
(0711) 7 90 31, Telex 72 527 500

### Bräuer

Goethestraße 11, 6140 Bensheim 3, Alemania,  
(06251) 7 30 68, Fax (06251) 7 39 55

### Campo Nuevo

Cas. 4365 La Paz, Bolivia,  
35 04 09

### CEAG

Postfach 305, 4600 Dortmund 1, Alemania,  
(0231) 5 17 30, Fax (0231) 517 31 89, Telex 8227 575

### Compañía Minera Industrial Buena Fortuna S.R.L.

Juan L. Miller 175, Urb. La Chalaca, Callao, Perú,  
65 72 03, 65 99 65, Fax 65 99 65

### Consorcio Metalúrgico S.A. COMESA

Calle Omega 215, Parque Internacional de la Industria y Comercio,  
Apart. 3528, Callao, Perú,  
52 68 43, 52 12 29, 51 09 20, Fax 51 09 20, Telex 26992 PE HILCO,  
30300 CP SMGL

### Continental

Königsworther Platz 1, 3000 Hannover 1, Alemania,  
(0511) 765-1, Fax (0511) 765 27 66, Telex 92 170

### Cyphelly & Cie.

Techniques Hydro-mechaniques, 1588 Cudrefin, Suiza

### DeBeSa

Burgplatz 4, 5144 Kreuzau, Alemania,  
(02422) 80 85, Fax (02422) 80 84, Telex 833 944

### Denver Equipment Division Joy Manufacturing Company

821 South Sierra Madre, P.O. Box 340, Colorado Springs, CO 80901, USA,  
(303) 471-3443, TWX 910-920-4999, Telex 45-2442

### Desarrollo de Recursos Nacionales DERENA S.A.

Jirón Rodolfo Beltrán 929, Lima 1, Perú,  
23 86 12, 23 15 18, Fax (51-14) 31 08 48, Telex 25656

### Döpke

Postfach 150, 2980 Norden, Alemania,  
(04931) 1 20 36

### Dorr-Oliver

Friedrich-Bergius-Straße 5, 6200 Wiesbaden 12, Alemania,  
(06121) 70 41, Telex 04 186 756

### Dragas HG Ltda.

A.A. 56650, Medellín, Colombia,  
277 95 69, 255 76 05, Fax 255 77 88, Telex 66 878 Draco

### Dragas HG Ltda.

Orfebres del Pacifico, Ed. San Francisco 300, Pisa 19, Of. No. 1,  
Guayaquil, Ecuador,  
30 06 71

### Eduardo S.A.

Avenida N° 1 Parque Industrial Liviano, Apart. 1947, Santa Cruz, Bolivia,  
2 28 97, 3 76 53, Fax 4 93 44, Telex 4395 Eduardo BV

### Equipos Industriales Astecnia Ltd.

Carrera 52-A N° 42-A-07 Sur, Apart. 19784, Bogotá, Colombia,  
238 36 19, 270 13 94, 270 36 68, Telex 42218 ASTEC-CO

### Fábrica de Herramientas Nacionales S.A. FAHENA

Calle Las Fraguas 191, Urbanización Ind. El Naranjal, Apart. 813 Lima 100,  
Lima 31, Perú,  
81 59 13, 81 50 61, Fax 72 08 88, Telex 20250 STEEL IND

### Fabricación Industrial de Maquinarias S.A. FIMA

Av. Materiales 2832, Apart. 3111 Lima 100, Lima, Perú,  
52 61 35, 52 99 62, Fax 52 91 22, Telex 25389 PE FIALFA

### Fabricaciones Mecánicas S.A. FAMESA

Jirón Chávez Tueros 1266, Chacra Rios Sur, Lima, Perú,  
31 02 16, 31 67 41, Fax 31 67 41, Telex 25582 PE IMEMSA

### Fabricaciones Mineras Industriales Comerciales FAMINCO S.A.

Carlos Villarán 876, Piso 3, Santa Catalina, Apart. 5952, Lima 13, Perú,  
72 71 83, 72 70 64, Fax 71 14 63

### FACO, Fabrica de Ago Paulista

Ave. Pres. Wilson, 1.716, CEP 03107, Caixa Postal 3190, Sao Paulo, Brasil,  
274-6055, Telex 011 331 86 FACO BR

### Fagersta Secoroc del Peru S.A.

Calle Omega 167, Carmen de la Laguna, Callao, Perú,  
51 77 00, 51 76 82, Fax 52 42 09

### Falcon Concentratos

9807 - 196 - Street, Langley B.C. Canada Y3A 4P8,  
(604) 888-55 68, Fax (604) 888-52 82

### Famia Industrial S.A.

Héroes de la Breña 2790, Ate, Lima, Perú,  
32 99 23, 32 99 24, 31 22 07, Fax 31 89 14, Telex 25074 PE

### FCAP-UMSS

Casilla 4740, Cochabamba, Bolivia,  
2 44 69, Telex 6220 CPBX

### Flygt

Bayernstraße 11, 3012 Langenhagen, Alemania,  
(0511) 7 80 00, Fax (0511) 78 28 93, Telex 924 059

### Frantz

Flinschstraße 45, 6000 Frankfurt am Main 60, Alemania,  
(069) 4089-0, Telex 417 355

### Friemann + Wolf

Meidericher Straße 6-8, 4100 Duisburg 1, Alemania,  
(0203) 3002-0, Fax (0203) 3002 240, Telex 855 543

### FUNDEMIN

Av. Jimenez No. 4-03 OF. 1006, AA 20030, Bogotá, Colombia,  
281 75 57

### Fundición Callao S.A.

Av. Argentina 3719, Apart. 111 Callao, Callao, Perú,  
51 29 90, Fax 51 59 87, Telex 26003

### Fundición de Hierro Sud América FUNSA

Calle Roberto Hinojosa Esq. Av. 31 de Octubre, Apart. 1872, Villa San  
Antonio, La Paz, Bolivia,  
33 04 51, 81 03 25

**Fundición Ventanilla S.A. FUNVESA,**  
Av. La Marina 1353, San Miguel, Lima, Perú,  
62 64 92, 62 65 47, 61 91 00, Telex 25257 PE PB SIS

**Gebrüder Abt,**  
8948 Mindelheim/Schwaben, Alemania

**Goldfield,**  
P.O.Box 177, Provo, Utah 84603, USA,  
801-374-66 11, Fax 801-374-66 21

**GOLDSPEAR (UK) LTD.,**  
Box 203 Beaconsfield, Bucks HP9 2TQ, Inglaterra  
(0494) 67 84 11, Fax (0494) 67 87 31

**Grauvogel,**  
B.P. 63, 67702 Saverne Cedex, Francia,  
(88) 91 12 53, Telex 89 0681

**H.M. Representaciones S.A.,**  
Av. Contralmirante Mora 590, Apart. 520 - Callao, Callao, Perú,  
65 30 68, 65 14 17, 65 93 55, Fax 65 14 17, Telex 26002 PE PB - CALLAO

**Haver + Boecker,**  
Postfach 33 20, Enningerloher Straße 64, 4740 Oelde/  
Westfalen, Alemania,  
(02522) 301, Fax (02522) 3 04 04, Telex 89 476 haver d

**HBS-Equipment Div.,**  
3000 Supply Ave., Los Angeles, CA. 90040, USA,  
(213) 726-3033

**Hoechst,**  
Verkauf Chemikalien, Postfach 80 03 20, 6230 Frankfurt am Main 80,  
Alemania

**Humphrey Mineral Industries, Inc.,**  
2219 Market Street, Denver CO 80205, USA,  
(303) 296-8000, Telex 45-588

**IHGC Sliedrecht BV,**  
P.O. Box 3, 3360 AA, Sliedrecht, Holanda

**Impler,**  
Hummelhausen 3, 8201 Au b. Bad Feinbach, Alemania,  
(08064) 406

**INCOMEC Ltda.,**  
M. Melgarejo E. 1713, Cochabamba, Bolivia,  
4 30 45

**Industria Acero de los Andes S.A. IAA,**  
Av. Eloy Alfaro 939 y Av. Amazonas, Ed. Finanzas 1er. piso,  
Apart. 235 A, Quito, Ecuador,  
50 36 00, 50 36 01, 50 36 02, Fax (59 32) 50 36 33, Telex 21198 IIA ED

**Industria Constructora de Maquinaria INCOMAQ,**  
Sambrano s/n - Comité del Pueblo, Apart. 706, Quito, Ecuador,  
24 30 96

**Industrias Metalúrgicas Van Dam C.A.,**  
2a Av. de Campo Alegre, Torre Credival, Piso 2 of. B., Apart. 1169  
Caracas 1010A, Caracas, Venezuela  
62 59 94, 62 97 10, Telex 21245 VD, 21480 VD

**Ingeniería de Proyectos y Construcción S.R.L. IMPROCON,**  
Av. 20 de octubre 2618, Edificio Kantuta - Mezzanine Of. 5, La Paz, Bolivia,  
36 51 12

**Ingersoll-Rand,**  
Siemensstraße 16-20, 4040 Neuss 21, Alemania,  
(02107) 10 09-0, Telex 8 585 006

**Ingersoll-Rand,**  
100 Thanet Circle, Suit 300, Princeton, N.J., 08540 - 3662, USA,  
(609) 921 88 88

**Inteco,**  
68 Rajendra Market, Tiz Nahir, Dehli 54, India

**Italvibras,**  
Via Puglia 36, 41049 Sassuolo, Italia,  
(0536) 80 48 34, Telex 510 887 itvbra i

**John Blake Ltd.,**  
PB 43, Accrington, Lancashire, Inglaterra

**Jöst,**  
Hammer Straße 95, 4400 Münster, Alemania,  
(0251) 7797-0, Fax (0251) 77 97 101, Telex 892 716

**Kaeser,**  
Postfach 21 43, 8630 Coburg, Alemania,  
(09561) 640-0, Fax (09561) 64 01 30, Telex 663 264

**Keene,**  
9330 Corbin Ave., Northridge, California 91324, USA,  
(818) 933-0411

**KHD,**  
Postfach 91 04 57, 5000 Köln 91, Alemania,  
(0221) 82 30, Telex 8812 267

**Kleenoil,**  
30a Robert Street, Harrogate, North Yorkshire HG1 1HP, Inglaterra  
(0432) 52 29 11, Fax (0423) 53 00 43, Telex 57 784 MCL G

**Knelson, Lee-Mar Industries Ltd.,**  
R.R. # 11 20313 - 86th Avenue, Langley, B.C., Canada V3A 6Y3,  
(604) 888-4000/(604) 421-3255, Fax (604) 888-4001,  
Telex 04-35 12 79 ab

**Krantz, Rheinisches Mineralien-Kontor KG,**  
Fraunhoferstraße 7, 5300 Bonn 1, Alemania,  
(0228) 66 20 55, Fax (0228) 66 72 66

**Krug,**  
Bornstraße 291, 4600 Dortmund 1, Alemania,  
(0231) 83 80 70, Fax (0231) 83 80 727, Telex 822 578

**Krupp Widia,**  
Münchener Straße 90, 4300 Essen 1, Alemania,  
(0201) 725-0, Fax (0201) 725-3035, Telex 85718-14

**Krupp,**  
Franz-Schubert-Straße 1-3, Postfach 14 19 60, 4100 Duisburg 14,  
Alemania,  
(02135) 78-0, Fax (02135) 75191, Telex 855 486-0

**Las Gaviotas,**  
calle 18A, No. 1E, Apdo. 4976, Ap. Aereo 18261, Bogotá, Colombia

**lenoir et mernier,**  
BP 80, 08120 Bagny-sur-Meuse, Francia,  
2432 1332, Fax 2432 1378, Telex 840 392 lenoir f

**MAD (Vorholt & Schega),**  
Postfach 151, 4358 Haltern, Alemania,  
(02364) 10 10, Telex 829 888 vasch d

**Maestranza General S.A. MAGENSA,**  
Jirón Rodolfo Beltrán 631, Apart. 1075, Lima 1, Perú,  
32 36 36, 32 37 53, Telex 25820 PE COMETRU, 20141 PE PRUTRAD,  
Cable MAGENSA

**Maestranza Industrial S.A. MAENSA,**  
Av. Las Vegas 845, Zona Industrial San Juan de Miraflores, Lima, Perú,  
67 82 06, 67 86 05, Fax (51-14) 67 82 07, Telex 21583 PE RGTRADE

**Maestranza y Fundación Quillacollo MAFUQUI,**  
Av. Albiña Km. 4,5 Quillacollo, Apart. 2024, Cochabamba, Bolivia,  
6 03 02, 6 01 71, Cables MAFUQUI

**Mannesmann Demag,**  
Solmsstraße 2-26, 6000 Frankfurt am Main 90, Alemania,  
(069) 7901-0, Fax (069) 707 24 33, Telex 411 172

**Maquinarias y Equipos Peruanos S.A. MAEPSA,**  
Av. La Marina 1353, San Miguel, Lima, Perú,  
62 64 92, 61 91 00, 62 65 47, Fax 61 91 00, Telex 25257 PE PB SIS

**Merck,**  
Frankfurter Straße 250, 6100 Darmstadt, Alemania,  
(06151) 720, Fax (06151) 72 33 68, Telex 4193 280 em d

**Metal Callao E.P.S.,**  
Av. Los Ferros 301, Urb. Bocanegra, Apart. 488, Callao, Perú,  
29 66 69, 29 91 37

**Metal Mecánica Soriano S.A.,**  
Av. Costanera 708, San Miguel, Lima, Perú,  
52 45 19

**Metalmecánica Milag - Millan,**  
Landaeta 1084, La Paz, Bolivia,  
78 54 78, 35 78 71

**Metalúrgica Lacha,**  
Arawi 243 Cala-Cala, Cochabamba, Bolivia,  
4 50 67, 4 12 02

**Metalúrgica Peruana S.A. MEPSA,**  
Plácido Jiménez 1051, Apart. 5193 Lima 100, Lima 1, Perú,  
28 32 85, 28 62 97, 28 62 98, Fax 32 66 66, Telex 25793

**Mineral Deposits,**

81 Ashmore Road, Southport, Qld. 4215, Australia.  
(075) 39 90 55, Fax (075) 39 98 63, Telex AA 40 438

**Mineral Equipment, Inc.,**

Precious Metals Extraction (PMX), 3740 Rocklin Road, Rocklin, CA 95677,  
California, USA,  
(916) 624-4577

**Mogensen,**

Kronskamp 126, 2000 Wedel/Hamburg, Alemania,  
(04103) 8042-0, Fax (04103) 80 42 40

**Montabert,**

Mainzer Straße 118, 6200 Wiesbaden, Alemania,  
(06121) 70 28 91, Fax (06121) 71 37 02, Telex 4186 220

**Mozley,**

Cardrew, Redruth, Cornwall TR 15 ISS, Inglaterra,  
(0209) 21 10 81, Fax (0209) 21 10 88, Telex 45 735 mozley g

**Netter,**

Hasengartenstraße 40, 6200 Wiesbaden, Alemania,  
(06121) 70 00 51, Fax (06121) 71 38 58, Telex 4186 697

**Northern Light,**

1 A - 3781 Victoria Park Ave., Scarborough,  
Ontario M/W 3K5, Canada

**Oldorid,**

Hülsbergstraße 255, 4370 Marl/Westfalen, Alemania,  
(02365) 8508-9, Fax (02365) 8 28 71, Telex 829 411 olver d

**Oliver Manufacturing Company,**

P.O. Box 512, Rocky Ford, CO 81067, Colorado, USA,  
(303) 254-6371

**Ossberger,**

Otto-Rieder-Straße 7, 8832 Weissenburg/Bayern, Alemania,  
(09141) 40 91, Telex 624 672

**Outokumpu,**

Riitontuntie 7 D, P.O.Box 84, 02201 Espoo, Finlandia  
04211, Fax 0421 24 34, Telex 121 461 autost

**Pfister & Langhans,**

Sandstraße 2-8, 8500 Nürnberg, Alemania

**Pleiger,**

Postfach 32 63, 5810 Witten 3, Alemania,  
(02324) 398-0, Fax (02324) 39 83 28, Telex 8229 964

**Productos Perfilados S.A. PROPER,**

Enrique Meiggs 262, Parque Int. Industria y Comercio, Callao, Peru,  
52 17 55, 51 59 44

**Rife Hydraulic Engine Man.,**

PB 367, Millburn, New Jersey 07041, USA

**Sala,**

73300 Sala, Suecia,  
(0224) 1 32 20, Telex 7536 sala s

**Salzgitter,**

Postfach 12 63, 4408 Dülmen, Alemania,  
(02594) 77-0, Fax (02594) 7 72 96, Telex 89 813 epr d

**Schauenburg,**

Weseler Straße 35, 4330 Mülheim/Ruhr, Alemania,  
(0208) 588-0, Telex 0856 787

**Schenck,**

Postfach 40 18, 6100 Darmstadt, Alemania,  
(06151) 32-0, Fax (06151) 32 32 24, Telex 4196 940 cs d

**Schlumpf AG,**

Bahnhofstraße 15, 8312 Steinhausen/Zug, Suiza,  
41(42) 41 43 43, Fax 41 (42) 41 18 66, Telex 868 968

**Sermitec,**

Los Plátanos 2729, Macul, Santiago, Chile,  
2219 597, Fax 2215 783, Telex 346 257 stager ck

**Siebtechnik,**

Postfach 10 17 51, Platanenallee 46, 4330 Mülheim/Ruhr, Alemania,  
(0208) 587-0, Fax (0208) 58 73 00, Telex 856 825

**SIG,**

Bereich Bergbau, 8212 Neuhausen am Rheinfall, Suiza,  
(053) 21 61 11, Fax (053) 21 66 06, Telex 896 027 sig ch

**SOTEEL S.R.L.**

J.A. de Padilla Calle 3 entre Heroes del Chaco, Carretera La Paz km 3,  
Oruro, Bolivia,  
10801

**Spitznas,**

Postfach 11 02 09, Fellerstraße 4, 5620 Velbert 11, Alemania,  
(02052) 605-0, Telex 8516 795

**Steve and Duke's Manufacturing Co.,**

2500-Z Valley Road, Reno, NV 89512, Nevada, USA,  
(702) 322-1629

**SVALCOR,**

Andrade Duénas, Barrio La Cristiana, Casilla 6070 CCI, Quito, Ecuador,  
473-200, 243-731

**T. Heintzmann,**

Bessenerstraße 80, Postfach 10 10 29, 4630 Bochum 1, Alemania,  
(0234) 619-1, Telex 0825 879 heco-d

**Taller "Centro del Muchacho Trabajador",**

Plaza Marin, Quito, Ecuador

**Talleres J.G.,**

Casilla 226, Machala, Ecuador,  
922-299

**Talleres Mejía,**

Turuhuayco 270, Apart. 36-A, Cuenca, Ecuador,  
80 03 61, 80 02 97

**Tamrock,**

P.O.B. 512, 33101 Tampere, Finlandia,  
(0358) 31 32 400, Telex 22 616 tools sf

**Telsmith,**

Smith engineering works, Milwaukee, Wisconsin, USA

**Turmag,**

Postfach 13 80, 4322 Sprockhöver 1, Alemania,  
(02324) 7003-0, Fax (02324) 70 03 27, Telex 8229 953

**Vardax,**

3025 Eldridge Ave., Bellingham WA 98225, USA,  
(206) 671-7817, (206) 671-7820

**Vautid-Verschleißtechnik,**

Postfach 41 10, 7302 Stuttgart-Ruit, Alemania,  
(0711) 44 20 31, Fax (0711) 44 20 39, Telex 722 687

**Volcán S.A.,**

Av. Chacaltaya 1350, Apart. 214, La Paz, Bolivia,  
34 03 84, 35 50 94, Telex 3460

**WAMA,**

Th. Mayr Straße 5, 8018 Grating, Alemania,  
(08092) 45 08

**Warman,**

Hünderstraße 13, 7100 Heilbronn, Alemania,  
(07131) 4 25 61, Fax (07131) 4 8 31 65, Telex 728 137

**Wilfley Mining Machinery Co.Ltd.,**

Cambridge Street, Wellingborough, Northamptonshire, NN8 1DW, Inglaterra  
44 (933) 22 63 68, Fax 44 (933) 44 13 77, Telex 31 7220 WILMIN G

**Wolff,**

Wolfbanking 38, 4300 Essen 1, Alemania,  
(0201) 67 10 11, Fax (0201) 68 10 11

**Zutta Hermanos,**

Calle 13ª, No 17-25-59, AA. 325, Pasto, Colombia,  
322-27

## LISTA DE ABREVIACIONES

a.C.	antes de Cristo
AGID	Association of Geoscientists for International Development
AKW	Industria del Caolín de Amberg
AN	Nitrato de Amonio
aprox.	aproximadamente
BGR	Instituto de Geociencias y Recursos Naturales de Alemania
cif.	cost insurance freight
COMIBOL	Cooperación Minera de Bolivia
CSMRI	Instituto de Investigación de la Escuela de Minas de Colorado
d.C.	después de Cristo
DAV	Asociación Alemana de los Alpes
DBM	Museo Minero Alemán
DDR	República Democrática Alemana
DE	Patente Alemán
Dept.	Departamento
der.	derecha
Dib.	Dibujo
discont.	discontinuo
DM	Marco Alemán
E/MJ	Engineering Mining Journal
EP	Patente Europea
etc.	etcétera
f	y página siguiente
ff	y páginas siguientes
FO	Full Oil
foB	free on board
FCNEM	Fondo Nacional de Exploración Minera, La Paz
GATE	German Appropriate Technology Exchange
GFK	Resina sintética reforzada con fibra de vidrio
GTZ	Sociedad Alemana de Cooperación Técnica
hr.	hora
izq.	izquierda
KfW	Banco para la Reconstrucción
KHD	Klöckner Humboldt Deutz
lat.	latín
MAK	Máxima concentración de lugares de trabajo
max.	máximo
min.	mínimo
MWSt	impuesto al valor agregado
Nr.	Número
opt.	óptimo
p.ej.	por ejemplo
PAAC	Programa de Asistencia Agrobioenergética al Campesino
Pág.	Página
PE	Poliétileno
PGM	Platín Group Metals
PVC	Polviniocloruro
recip.	recipiente
Rep.Fed.	República Federal
RFA	Análisis fluorescente de Rayos X
SKAT	Lugar de contacto suizo para técnica apropiada
Sta.	Santa
US \$	Dólar Americano
USA	Estados Unidos de América
UV	Ultravioleta
VDI	Asociación de Ingenieros Alemanes
VITA	Voluntarios en Asistencia Técnica
Vol.	Volumen
WHO	OMS Organización Mundial de la Salud

g	gramo
G	Peso
gal.	galones
gon	gradianes (grados nuevos)
gr.	gramo
h	altura
H	altura
H	Hombre
h	hora
ha	hectárea
HT	Hombre Turno
in	inch, pulgada
J	Joule
kg	kilo
km	kilómetro
KV	Kilo voltio
KW	Kilowatt
l	litro
lb	libra
lt	litro
m	metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
min <sup>-1</sup>	por minuto
min	minuto
mm	milímetro
M <sub>p</sub>	Momento de rotación
m <sub>snm</sub>	metros sobre el nivel del mar
Mstat	Momento estático
N	Newton
n	Número de revoluciones
n <sub>opt</sub>	número óptimo de revoluciones
Σ	Suma de
OT	Onza Troy
oz	onza
oz	onza fina
P	potencia
p	Presión
pH	Logaritmo Negativo Decádito de la concentración de iones de hidrógeno
P <sub>o</sub>	Fuerza periférica de la rueda
pp	precipitado
ppb	partes por billón
ppm	partes por millón
PS	Caballo de fuerza
q	Cuociente de concentrabilidad
q	Cuociente, Constante
R, r	Radio
Rev.	Revoluciones
rpm	revoluciones por minuto
s	segundo
seg.	segundo
T	profundidad
t	tonelada
t	turno
TMF	Tonelada Métrica Fina
O	densidad
U	Revoluciones
v	Velocidad
V	Voltio
W	Watio
Ø	Diámetro
°	Grado
√	raíz cuadrada
≈	aproximadamente
≳	mayor o igual
≲	menor o igual
«	mucho menor que
»	mucho mayor que

## MAGNITUDES FISICAS, FORMULAS Y UNIDADES

"	Pulgada
%	Por ciento
'	Pie, aprox. 30 cm
<	menor que
>	mayor que
A	Amperio
a	año
B	ancho
bar	bar-presión
Bé	Grado Baumé
C	Celcius
cd	Candela, medida de intensidad lumininosa
cm	centímetro
cm <sup>3</sup>	centímetro cúbico
Co	Coefficiente de rendimiento
D	Diámetro
d	Diámetro, densidad
D <sub>h</sub>	diferencia de altura
E <sub>n</sub>	Potencial de electrones o Potencial Redex
F	Fuerza
μ	Micro
f(...)	en función de
ft.	Pie
g	gravedad

## SIMBOLOS QUIMICOS

Ag	Plata
Al	Aluminio
Au	Oro
Bi	Bismuto
C	Carbono
Ca	Calcio
Cd	Cadmio
Cu	Cobre
Fe	Fierro
H	Hidrógeno
H <sup>+</sup>	iones de hidrógeno o protones
Hg	Mercurio
M <sup>2+</sup>	Ión metálico bivalente
N	Nitrógeno
O	Oxígeno
Pb	Plomo
S	Azufre
Sb	Antimonio
Si	Silicio
Sn	Estaño
W	Wolfram
Zn	Zinc

# INDICE ALFABETICO

**Abanico** 53, 221f, 274, 337ff, 342  
**Abastecimiento de aire comprimido** 180, 521  
**Abonos** 208, 241, 441  
**Abrasión** 205, 295, 375, 385f, 428  
**Absorbente** 51f, 63, 68, 72, 171, 440, 462, 507f  
**Accionamiento a bicicleta** 483  
**Accionamiento a pedal** 71, 77, 251, 277, 316, 341, 359, 391, 483f  
**Aceite usado** 117, 147, 169, 179, 210, 481, 517, 520  
**Aceptación** 239, 241, 400, 406, 449  
**Aceras** 171, 200  
**Activadores** 217, 229, 455  
**Actividad de la superficie** 240, 392  
**Afilado** 18, 112, 115, 118, 124, 519  
**Aflojar y soltar** 212f  
**Aglomeración selectiva** 221  
**Agua de mina** 310, 366, 490  
**Agua de uso industrial** 75, 78, 169, 194, 492  
**Agua impulsora** 183, 184  
**Aguas ácidas** 155, 386, 497  
**Air-Driver** 57  
**Almacenamiento** 100, 139, 218, 253, 429f, 492f, 505, 520  
**Almacenamiento parcial** 139  
**Almacenar** 100, 496  
**Altoparlantes** 26  
**Altura** 10, 25, 27, 41f, 45, 47, 49, 52, 59f, 63f, 71, 75, 78, 84, 87f, 114, 118, 121, 132, 135, 139, 143, 155, 173, 175, 183f, 186ff, 191ff, 199, 209, 255, 291, 295, 302, 309, 322, 327f, 331, 345, 352, 365, 371, 373, 379, 428f, 432, 443f, 449, 459, 462, 476, 480, 486, 489ff, 496, 501, 503, 509ff, 516, 518  
**Aluviones** 11f, 33  
**Amalgama** 2, 8, 180, 216f, 221, 226, 229, 231f, 236f, 256f, 263ff, 270, 272, 330f, 365f, 383ff, 399, 401ff, 415, 418, 420, 422, 426, 429, 435  
**Análisis completos** 12  
**Análisis con soplete** 17ff  
**Index** 128  
**Aparatos de protección contra el gas** 50  
**Apoyo** 63, 111ff, 121f, 158, 161, 192, 199f, 203f, 212, 244, 252f, 284, 370, 383, 473, 497, 502, 519  
**Arenas de circón** 12, 380  
**Ariete hidráulico** 184ff  
**Arranque** 33f, 39f, 46f, 50, 53, 58, 63, 90, 92, 96, 112, 118f, 121, 123f, 129, 134, 139, 155, 167, 169, 171, 199f, 202ff, 244, 263f, 396, 473, 479, 491, 496, 510f, 520  
**Arsénico** 12, 19, 22, 27f, 385f, 406, 426, 437f  
**Arsenopirita** 12f, 15, 26, 330, 386, 415  
**Ascensor rosario en vivén** 165f  
**Asegurar el techo** 90, 104  
**Atmósfera explosiva** 47, 49, 107f  
**Atrionador** 299f, 495  
**Avance en la perforación** 111f, 117

**Barco con rueda hidráulica** 198  
**Barreno** 42, 50, 103, 111ff, 115, 117f, 121ff, 28f, 519  
**Bastón para cargar** 127f  
**Batea** 180, 217, 223, 229f, 232f, 238f, 255ff, 301, 338, 346, 356, 360, 384, 391, 395, 417ff, 432, 455, 473  
**Batería de pisones** 255ff, 495, 498  
**Beneficio asalariado** 216  
**Beneficio de diamantes** 2, 226f  
**Beneficio de los granos de tamaño fino** 215, 221  
**Beneficio gravimétrico** 180, 217, 230, 241, 352, 372, 456, 473  
**Beneficio mecánico húmedo** 223, 310  
**Bismuto** 4f, 15, 22, 235f, 386  
**Bocarte** 217, 219, 226, 229f, 232f, 238, 243, 255ff, 367, 386ff, 391, 402  
**Bomba con flotador** 75f  
**Bomba con llanta como membrana** 191f, 495  
**Bomba de cangilones** 83, 485  
**Bomba de grava** 199ff, 205, 474  
**Bomba de mecate** 77f, 84, 495  
**Bomba de succión** 180  
**Bomba inyectora** 59, 127  
**Bomba neumática de expulsión** 75  
**Bomba rosario** 83  
**Bórax** 18, 20, 229f, 241, 427, 431, 433

**Botas de oro para desagüe** 485  
**Buddle** 217, 220ff, 274, 283, 287, 296, 305, 337f, 345ff, 359f, 363, 366, 372, 379, 455, 473  
**Bulón** 103ff  
**Bulones de madera con ranura** 104  
**Bulones mecánicos** 104, 106  
**Buzamiento** 11, 41f, 44  
**Buzones** 36, 104, 134f, 139f, 213  
**Caballos** 156, 485  
**Cabezal** 89, 93, 95, 99f, 160, 256, 272  
**Cable de extracción** 143, 147f  
**Cable de tracción** 79, 134, 150, 153, 156f, 160, 174  
**Cabrestante** 79, 133f, 145, 175  
**Caja escogida** 37  
**Cajón para cargar** 142  
**Callapo** 48, 139  
**Calota** 278, 427, 447  
**Camá** 117, 227f, 234, 240, 291, 363, 402, 421ff, 492  
**Cámara de combustión** 108, 444  
**Cámaras** 38, 40ff, 45f, 100, 104, 287, 291f, 443ff, 450, 467  
**Cambivia coligante** 155ff  
**Cambivia vertical** 156  
**Camilla** 50  
**Caminos de transporte** 46  
**Canal de ventilación embovedado** 51f  
**Canaleta** 10, 83, 157, 174, 179ff, 188, 200, 202f, 205, 211, 213, 217, 221f, 226, 228ff, 233f, 238, 240, 270, 273f, 285, 287, 305ff, 315, 329ff, 348f, 351, 353ff, 359, 362, 364ff, 370, 372, 375f, 379ff, 385, 391, 395ff, 399ff, 414, 416, 418, 421f, 436, 455, 465ff, 470, 472f, 497, 499, 501, 508, 525  
**Cangilones** 83ff, 187, 316, 325, 501, 510  
**Canteras de mármol** 119  
**Cantidad mínima de aire** 47  
**Cantidades** 4, 11, 23, 38, 52, 57, 63, 69, 75ff, 79f, 83f, 87, 89, 101, 111, 131, 169, 173f, 184, 191ff, 199, 221f, 224, 228, 238, 240f, 270, 274, 308, 317, 331, 335, 363, 373, 385, 399, 405f, 415, 422, 425, 429, 437f, 441, 445, 450, 455, 466, 489, 496, 510, 520  
**Capacidad abrasiva** 209  
**Capacidad crediticia** 39  
**Carbón activado** 230, 425, 427f, 435  
**Carbonera de fusión** 444  
**Cargador sobre ruedas** 167  
**Cargar** 36, 108, 127, 129ff, 139, 462, 506  
**Carro aguatero** 80  
**Cartografía del techo** 11  
**Cascado** 171, 213, 296  
**Casco** 48f, 107f, 262  
**Casquillo** 104ff, 115, 126, 192  
**Cavitación** 205  
**Centralización** 36, 46, 241  
**Centrífuga Knelson** 241, 415  
**Centrífuga Knudson** 414f  
**Centrifugas de lecho** 240, 415  
**Chua** 173, 217, 238, 306, 417  
**Cianuro** 8, 12, 22, 218, 226, 229ff, 241, 385ff, 391, 418, 425ff, 433, 438, 455  
**Clicón CBC** 221, 229  
**Clicón de medio denso** 220f  
**Clasificación** 2, 9, 215, 218ff, 226, 273ff, 310, 316, 322, 338, 342, 346, 349, 371, 385, 395ff, 413, 449, 453, 468  
**Clasificador a rastrillos** 220f  
**Clasificador hidráulico** 221, 291ff, 372  
**Clavos de huella** 157  
**Cobalto** 4, 21f, 28  
**Cobra** 117f, 218, 224  
**Cobre** 4f, 14, 21f, 28, 89f, 97, 236, 257, 264, 266, 366, 385ff, 390, 406f, 426f, 447f, 455, 458, 492, 508  
**Colas** 8f, 12, 168, 199, 202, 204, 224, 226, 230, 335f, 346, 352, 372, 399, 426, 428f, 435f, 447, 453, 455, 465f, 468  
**Colector plano** 507f  
**Colectores** 64, 217, 226, 431, 445f, 454f, 462, 507f  
**Coloración de la llama** 18, 21  
**Componentes educativos** 39  
**Composición de sus productos** 9  
**Compresor pequeño** 17, 59

**Compresores** 53f, 59f, 474, 476, 493, 509ff, 517, 519f  
**Comprimir** 212, 472  
**Concentración de grano de tamaño finísimo** 353  
**Concentración de grano de tamaño fino** 347, 373  
**Concentración electrostática** 221, 451  
**Concentración en medios densos** 296  
**Concentración gravimétrica manual en cribas pequeñas** 508  
**Concentración húmeda** 223, 322  
**Concentración posterior** 309  
**Concentradores a aire** 221, 341f  
**Condensador de metales preciosos** 26  
**Condensador de agua** 116, 521, 524  
**Condiciones de trabajo** 35, 169, 391  
**Conexión de corriente continua** 108  
**Conexión en paralelo** 72, 221, 352  
**Consumo de aceite** 121, 209  
**Consumo de madera** 46, 255  
**Contaminación de ríos** 169  
**Contaminación del agua** 47, 75, 226  
**Contaminación del aire** 47, 226  
**Contaminación del mineral** 46  
**Contaminación por gases de escape** 169  
**Contaminación por ruido** 211  
**Contenido de metal** 10f, 432  
**Contenido de sólido** 200, 375  
**Cooperativa** 34, 36, 39, 168, 198, 248, 292, 306  
**Cordones** 171  
**Corrosión** 104, 148, 166, 205, 208, 292, 296, 310, 508, 521  
**Costos de combustible** 63, 107, 117, 147, 179, 405, 445, 459, 475, 518  
**Costos de explotación** 35, 46, 168, 215, 228  
**Costos de transporte** 7, 89, 170, 217, 459  
**Criba húmeda** 221  
**Criba pequeña para concentración** 307, 313  
**Criba vibradora** 213, 277ff, 495, 509  
**Cuadrilla** 34, 36, 39, 216  
**Cuchara de arrastre** 42, 133f  
**Cuña martinete** 119f  
**Cut-off** 35, 228

**Daño en la vegetación** 89  
**Declive** 155, 157, 183, 335  
**Densidad** 11, 14ff, 23f, 52, 64, 76, 100, 103, 200, 217, 220, 223, 225, 227f, 235f, 296, 301, 307, 309, 315f, 321, 327, 329, 331, 335, 337, 341f, 345f, 351, 355f, 360, 363, 365ff, 372f, 375, 379f, 385f, 392, 414, 417, 440, 450, 453f, 462, 465, 471, 507  
**Deposiciones** 167, 235, 237, 497  
**Depresor** 229, 454f  
**Denurme** 41, 47, 49  
**Desagüe** 33, 46, 75ff, 157, 167, 193ff, 211, 213, 300, 331, 355f, 460, 471, 486, 492, 497, 501, 524  
**Descubrimiento del yacimiento** 33  
**Desgaste** 77f, 112, 115, 123, 133, 148, 150, 175, 183, 200, 203, 205f, 210, 243f, 247f, 251, 253, 256, 269f, 273, 282, 284, 296, 302, 310, 338f, 351, 455, 511  
**Desintegración** 204, 226f, 237  
**Desmontes** 10f, 167f, 215, 223, 305f, 335  
**Destilación** 217, 226, 229, 232ff, 383f, 387, 391, 405ff, 411, 425, 474  
**Dificultades organizativas** 34  
**Dique de sedimentación** 305, 435, 467  
**Diques de lama** 167f, 226, 425, 465f  
**Disminución de costos** 39, 188  
**Distribución del trabajo** 34, 36, 39  
**Doblador de rieles** 155  
**Dragalina de succión** 181f  
**Dureza abrasiva** 112, 199, 263, 337

**Efecto pepita** 11  
**Elemento** 1, 7, 10f, 17, 20, 48ff, 75, 90, 95ff, 99f, 105, 128, 155, 184, 205f, 209, 212f, 237, 251ff, 372, 392, 416, 422, 427, 438, 455, 471f, 489, 512  
**Elevadores de agua** 489f  
**Elusión de la sobremolienda** 219  
**Emanaciones de metano** 127  
**Empalme** 89, 93  
**Empuje manual** 156  
**Enrollado** 143f, 148, 209

- Entibación 8, 37, 40, 89ff, 155, 160, 479  
Equipo para ventilación del Harz 485, 495, 503  
Erosión 167, 170, 173, 227, 235  
Escaleras 113, 166  
Escogido a mano 222, 225, 227, 229f, 305, 418, 426, 431  
Escogido fotométrico 227  
Escogido radiométrico 227  
Espesador 202, 220f, 231, 251, 315, 321, 359, 402, 413, 427, 435, 465ff  
Espesor 11, 29, 96, 100, 129, 199f, 206, 366, 422, 439, 441, 446, 462  
Espiral de Reichert 379f, 382  
Espiral para desagüe 193, 195  
Espumantes 226, 454f  
Estaño 4f, 9, 14, 20ff, 28, 38, 52, 84, 114, 124, 140, 144, 167f, 199, 203f, 222ff, 256, 270, 272, 285, 296, 311, 318, 324, 328f, 331, 334, 346, 347, 352ff, 356, 364, 366, 371ff, 375, 378, 380, 422, 460, 473, 475  
Estempe a fricción 95  
Estempe de avance 95  
Estempe de nonio 95, 97  
Estempe individual 95, 479  
Estratificación 38, 44, 92f, 104, 134, 139, 140ff, 160, 170  
Estrías 112, 284, 330, 366, 371ff  
Evacuación 124, 252f, 256f, 259f, 268, 275, 283, 293, 306, 323, 356, 362, 367, 365, 422, 443f, 453, 456, 470, 472, 499  
Evacuadores 322, 324, 375  
Exactitud 9, 11f, 17, 23ff, 27, 30, 42  
Exhalaciones de CO<sub>2</sub> 47  
Exploración 6, 9, 13, 18, 33, 39, 46f, 308, 418  
Explotación 1f, 33ff, 52f, 57, 59, 63, 67, 77, 83, 99f, 103, 111ff, 133f, 139f, 147, 157, 160, 167ff, 175ff, 187, 193ff, 216, 223, 226f, 234, 329ff, 396, 400, 439ff, 445, 473, 478f  
Exterminación de la vegetación 169f  
Extracción 2f, 6, 35ff, 43, 48, 77, 81, 101, 118, 124, 139, 143, 147ff, 154, 157, 166, 172, 211, 215, 227, 273, 277, 288, 291, 307ff, 316f, 322, 331, 345f, 349, 356, 359, 363ff, 373, 375ff, 380f, 399ff, 416, 418, 423, 426, 441, 444, 456, 464f, 471f, 483, 485, 489  
Extraer 37, 52, 112, 292, 415, 454, 476
- Factor de enriquecimiento** 215  
Factores de corrección 11  
Fallas geológicas 99  
Ferrosilicio 227, 296  
Fichas de ingreso 50  
Filonos pegmatíticos 33  
Filtro salvavida 49  
Floors 227  
Flotación 6, 8, 33, 205, 216f, 221, 226, 229, 256f, 329f, 332, 338, 345ff, 355, 387, 391, 418, 440, 445f, 453ff, 472, 474  
Floured mercury 240f, 264, 391f, 418  
Fluorescencia 11  
Fomento 6ff, 12  
Forma continua de trabajo 39, 218, 221, 288  
Forma discontinua de trabajo 367  
Fotovoltaica 505  
Frecuencias de vibración 211  
Freno 144f, 147, 152, 157, 173, 489, 499  
Fricción 52, 70f, 78, 83, 90, 95ff, 104, 106, 113, 119f, 143f, 155, 157, 166, 212, 257, 375, 379, 476, 489, 521  
Frío por evaporación 68  
Fuelle 50, 53, 59, 64, 71ff, 341, 422, 424  
Fuerza centrífuga 211ff, 375, 379, 450  
Fuerza de tracción 103, 133, 144, 153, 489
- Ganchos de retención** 157  
Gas de mina 49f, 108  
Gases de Radón 47  
Gases nitrosos 47  
Gasto en la perforación 39  
Generador eólico 491, 493  
Golpes de agua 113, 521  
Grado de corte 213, 221ff, 227  
Gravedad 36, 42, 69, 123, 139, 140, 155, 173f, 270, 375, 462, 465, 471, 507  
Guantes 49  
Günche 36, 143ff, 155, 495, 519f
- Habitaciones** 171  
Hamear 273f  
Heterogeneidad 216  
Hidroción 220f, 295ff
- Hidrocompresor 59f  
Hidrofobia 227, 435, 455  
Hidrófobos 217  
Homogeneidad 11, 219, 222, 317, 360, 425  
Homogeneización 222, 274, 331, 338, 346, 354, 358, 361ff  
Homogeneizar 11  
Horno de secar 459f  
Horno de ventilación 63ff  
Huayrachina 51ff, 57, 63, 67, 71  
Humedad del aire 64, 439, 450, 521  
Humedad residual 9, 440
- Iluminación para interior mina** 107  
Imán permanente 25, 338  
Impulsor de agua 183  
Inclinación 136, 157, 166, 193, 200, 274, 277, 281, 284, 288, 299ff, 305, 329, 331, 335, 338, 341f, 346, 360, 362, 366, 371f, 376, 380, 385f, 391, 395f, 417, 465, 467, 489  
Inclinado 40, 45, 80, 83, 112, 117, 147ff, 156f, 165, 199, 273, 284, 322, 324, 341, 443, 486  
Indicador de profundidad 147, 152  
Inducción magnética 221  
Instalación de tamicos escalonados 273  
Instalaciones 6f, 34, 48, 70, 78, 80, 83, 84, 100, 156, 173f, 183ff, 207ff, 217, 220, 238ff, 256, 274, 278, 292, 342, 356, 372, 387, 425f, 429, 435, 438ff, 444, 446, 450, 453, 477, 491, 502, 508, 511f, 516, 522f
- Jig** 200, 203, 217, 220ff, 224, 227, 229, 234, 240, 277, 283, 307, 309f, 315ff, 321ff, 337, 348, 379, 402, 421ff, 428, 473f, 483, 495, 501, 509
- Labores de carga** 136  
Laminador 247  
Lámpara 11, 18, 49f, 107ff, 405, 407, 409, 474f, 493, 505f, 510, 519  
Lecho 167, 169, 180, 221, 228, 291, 308, 311f, 317, 324, 327, 331, 341ff, 366, 414ff, 427, 450  
Lentes de protección 49  
Leyes del concentrado 215, 345, 346  
Leyes del mineral en bruto 13  
Liberación 215, 219, 224, 238, 240f, 248, 252, 336, 392, 426, 428, 437f, 443  
Limpieza posterior de los concentrados 26, 216  
Líquido hidráulico 88, 99f, 102  
Lixiviación 6, 8, 61, 215f, 218, 221, 226, 229ff, 241, 380, 402f, 415, 418, 425ff, 435, 438, 447, 468  
Locomotora 136, 155f  
Lubricador 116, 519, 521  
Lugares de trabajo 49, 51  
Luminiscencia del mineral 11
- Machina anemica** 671  
Malacate 71, 77, 79, 83, 143, 147, 193f, 485ff, 495  
Mampostería de bóvedas 90  
Manga 4f, 21, 26, 53ff, 57ff, 63, 67, 69, 71, 171, 296, 426, 429, 432, 440  
Maritate a pedal con diafragma 315  
Maritate de embolo 315ff, 320, 322  
Masas de roca mineralizadas derrumbadas 168  
Máscara para respirar 49  
Material en suspensión 194, 338, 427, 468  
Materias primas fosfatadas 450  
Mecanismo 53f, 68, 122, 137, 144, 156f, 187, 189, 330, 366, 373, 394, 426, 456, 467f, 471f, 499  
Medio ambiente 1, 3, 5f, 9, 12, 27f, 47, 99, 118, 169f, 330, 367, 407, 418, 428f, 435, 462, 465, 468, 477, 480f  
Mercurio 4f, 8f, 12, 19, 89, 108, 330f, 363ff, 390ff, 401f, 404ff, 409, 418, 437f  
Mesa vibrador 371, 374  
Mesa centrífuga 380  
Mesa cónica 495  
Mesa de concentración con paño 367f  
Metales no deseados 12  
Minas de sal 47  
Minas de Uranio 47  
Minerales abrasivos y de pulimento 171  
Minerales de metales livianos 171  
Minerales fertilizantes 171  
Minerales fundentes 171  
Minerales graficadores 171
- Minerales lubricantes 171  
Minerales ópticos 171  
Minerales para aislamiento eléctrico y calórico 171  
Minerales pesados 26, 168, 296, 329, 331, 337, 339, 346, 360, 364, 366, 373, 379, 380, 396, 415, 431, 450  
Minerales refractarios 171, 428  
Minerales textiles 171  
Minería de la sal 439ff  
Molibdeno 4, 21f, 28  
Molino a bolas 392, 495  
Monitores 169  
Monumentos 171  
Mortero 27, 104, 106, 431  
Motoperforadora 117f  
Motor a combustión 117, 147, 179, 301, 321, 324, 341, 359, 371, 391, 399, 413, 421, 475, 477, 478, 506  
Muestra del montón 10  
Muestreo 10f
- Niquel** 17, 20, 22, 28  
Nivel 3, 35f, 43, 45f, 49, 54, 77, 143, 146, 156, 161, 165f, 169, 173, 179ff, 186ff, 194, 197f, 297, 331, 336, 345ff, 400, 427f, 473, 496f, 501, 503, 510  
Noria 175, 187ff, 193  
Número de revoluciones 165, 193f, 198, 415, 455, 476, 486, 496, 501ff, 510f, 518, 520
- Orejas** 49  
Organización del trabajo 2, 7f, 35f  
Oro 2ff, 11ff, 19f, 27, 33, 39, 49, 52, 111, 113, 115f, 123f, 128, 167f, 170f, 175, 179ff, 295ff, 302, 329, 331, 333, 335f, 342, 360, 366ff, 372f, 380, 383ff, 440, 447, 449ff, 468, 473, 492, 498, 501, 505, 510, 512, 522f
- Pala** 1, 50, 97, 123, 129ff, 135ff, 143, 150, 161, 174, 191, 299f, 305, 312, 317f, 330, 345f, 348, 360, 396f, 422, 429, 432, 439, 459, 473, 483, 496, 520  
Parrilla 63, 330f  
Partículas en suspensión 466  
Partidor de muestras acanalado 30, 32  
Pérdidas 35, 52, 55, 64, 70ff, 78, 90, 113, 129, 144, 194, 310, 329ff, 388, 392, 406f, 426ff, 443, 476f, 507f, 518f, 521  
Perforación 10, 33, 39, 47f, 103, 105, 111ff, 116ff, 121ff, 127f, 136, 168, 171f, 175ff, 199, 473f  
Perforadora neumática 112, 114  
Pesos de eje 155  
Picnómetro 23f  
Piedras para joyería 171  
Piedras preciosas 1, 4f, 124, 171  
Piedras semipreciosas 171  
Pique de ventilación 51  
Pirquin 35, 39  
Pirquería 3, 35  
Piso 11, 37, 40f, 43ff, 51, 75, 91f, 95, 112, 123, 125, 128ff, 134, 155ff, 174f, 179, 301, 322, 329ff, 338, 341f, 349, 356, 363f, 366, 375, 384f, 389, 406, 421f, 424, 426ff, 439, 443, 446, 463, 471f, 497, 526  
Placeres de metales preciosos 167  
Placeres fósiles fluviales 167  
Placeres glaciales y fluvio-glaciales 167  
Planchas para techo 171  
Plata 4f, 9, 13f, 17, 22, 28, 36, 50, 52, 133ff, 137, 144, 165, 166, 194, 306, 311, 318, 345, 353, 356, 366, 372, 385f, 388, 390, 406f, 427, 455, 466  
Plomo 4f, 9, 11, 14, 22, 50, 52, 117, 136, 144, 296, 302, 306, 339, 353, 359, 372, 386, 421ff, 427, 432f, 447, 466  
Poleas 148, 153, 156, 165, 173f  
Polipasto 153f, 156, 483, 495  
Pólvora negra 172  
Polvos de roca 49  
Portada alemana 89, 93f  
Portada polaca 89, 91, 93  
Portada silesiana 89  
Portador del material valioso 12  
Posición horizontal 70, 363  
Potencia 25, 29, 39, 41f, 44f, 49, 53, 69, 71, 87f, 112f, 121, 133ff, 143, 147, 155, 165f, 166, 175, 193, 295, 299, 301, 321, 331, 351, 373, 399, 413, 421, 425, 427, 435, 439, 449, 453, 465, 467, 471f, 474ff, 483f, 489f, 493f, 496, 502, 505ff, 511, 513, 517ff

Preconcentrado 180, 296, 309f, 316, 322, 327, 331, 335f, 338, 342, 352, 366, 368, 372, 376, 378, 380, 391f, 395f, 415, 418, 422f, 426, 431, 438, 446, 450  
 Preparación 10, 18, 27f, 30, 32, 40, 46, 90, 100, 385, 415, 428, 447, 449  
 Primeros auxilios 50  
 Proceso de emplazamiento 98  
 Proceso de sedimentación 317  
 Producción 1, 3f, 23, 25f, 29f, 51, 57, 59f, 67, 71, 77, 79, 99, 103, 107, 113, 117f, 121, 123, 127, 129, 131, 133, 135, 143, 155, 165, 169, 172f, 175, 179, 183, 187, 193, 197, 295f, 299, 301f, 305, 307, 309f, 315f, 321f, 327, 329, 331, 335f, 338, 342, 345f, 351f, 355, 359f, 363, 365, 367, 371f, 375f, 378f, 383, 385, 391f, 395, 399f, 405, 413, 415, 417f, 421f, 428, 431f, 435, 437, 439f, 444f, 449f, 461, 463, 479f, 483, 485, 491f, 501f, 509f, 517, 519f  
 Prospector 399  
 Protectores de la tibia 49  
 Puestos de trabajo 71, 35

### Quimbaleta 473

### Radioactividad natural 47

Rampas 80, 83, 135f, 156f, 179, 366, 387, 401f  
 Reactivos 1, 8, 17, 27, 59, 329, 338, 385, 387, 391f, 425, 428f, 431, 433, 435, 450, 453f, 472  
 Recientes 3, 40, 167, 169, 180  
 Recipiente de sedimentación 316, 360, 366, 401, 403, 422  
 Reconcentración 329, 341, 346, 352, 360, 372, 441  
 Reconocimiento 11, 33  
 Recortes 41, 46, 129, 135, 183f, 391, 412  
 Recuperación 3, 7, 33, 40, 42, 46, 168, 176, 180, 295, 299, 301, 305, 307, 309, 315f, 321f, 327, 329, 331, 335f, 341, 345f, 351f, 355, 359, 363f, 372f, 375, 379, 383f, 391, 395f, 399f, 405, 407, 413f, 417, 422, 425, 427f, 431, 435, 437, 443f, 450f, 453, 461, 467  
 Relleno 37f, 96, 100, 106, 129, 134, 427, 455  
 Rendimiento por hombre 46  
 Representatividad 9, 11, 29  
 Reservas 3, 39, 46, 168  
 Retaqueo 128  
 Retorta 387, 405f  
 Revestimiento 90f, 94, 104, 296, 338f, 406, 427  
 Ripio 171, 183, 187  
 Roca caja 11, 13f, 16, 41f, 46f, 49, 51, 111, 123, 179, 316, 399  
 Rodar 386  
 Rodete 455, 457, 509f, 516  
 Rodilleras 49  
 Rodillos 119f, 157, 394, 449f, 485, 496  
 Rollos 8, 486, 512, 521  
 Rosca 25, 95f, 148, 412  
 Rotor Savonius 493f, 508  
 Rueda de agua 166, 198, 495f, 502, 509, 525  
 Rueda de cucharas 496, 501f

Rueda dosificadora 455  
 Rueda elevadora 187, 189, 193  
 Rueda hidráulica 69, 79f, 83f, 143, 189, 197, 199, 299, 322, 352, 361, 367, 393, 495, 525  
 Rueda para ventilación 53  
 Ruedas con posibilidad de rotación a ambos lados 497

**Sal** 1, 3f, 6, 10, 13, 16f, 19f, 34, 37f, 42, 47f, 69, 76, 80, 88f, 94, 99f, 102, 104f, 107, 110, 112, 123, 128, 131f, 135, 138, 143, 146f, 155, 157, 165f, 169, 171, 175f, 191f, 316, 330, 337, 346, 349, 370f, 380, 384, 386f, 390, 395, 402, 407, 413, 418f, 422, 433, 438f, 446, 449f, 459, 467, 469f, 480, 489, 497, 503, 510, 520  
 Secado 167, 169, 342, 345, 349, 396, 447, 449f, 459f, 472, 474, 478, 507, 519  
 Seguridad 3, 5f, 33f, 37, 39f, 42, 45, 48f, 88, 90, 107f, 118, 122, 128, 148, 160, 165f, 426, 449, 473, 477, 480f, 492, 494, 511, 520, 523  
 Selección manual 37f  
 Separación magnética 296, 331, 338, 463, 474  
 Separación por medio de corriente de aire 342  
 Separador a cilindros 450  
 Separador helicoidal 375, 379  
 Separador magnético 25f  
 Sobremolienda 428  
 Soplador 64, 69f, 406, 462  
 Soporte 49, 89, 146, 156, 175, 192, 328, 370, 384, 415, 471, 497  
 Stossbau ascendente 43f  
 Subproductos 168  
 Subproductos 9, 12, 415, 440, 451  
 Soldos 307, 429  
 Susceptibilidad de separación 25  
 Suspensión 77, 143, 180f, 184, 301, 310, 342, 366, 426, 435, 465, 467, 471f, 497, 501f, 511, 518f

### Tajo largo 100, 479

Tambor para el cable 147f, 150, 486  
 Tanque de aire comprimido 18, 127, 519, 521, 523  
 Techo 37, 39f, 47, 49f, 92, 94f, 100, 103f, 118, 124, 156, 199, 385, 441, 455, 462  
 Tenacidad 14f, 508  
 Tensado 104, 173, 462, 485  
 Tensión de emplazamiento 96f, 100  
 Terrapién 169  
 Testero 40, 41, 43f, 100  
 Tiempo de instalación 103  
 Tiempo de vida 17, 23, 25, 29, 51f, 57, 59, 63, 67, 69, 71, 75, 77f, 83, 87, 89, 95f, 99f, 103, 107, 112, 117, 119, 121f, 124, 127, 129f, 133, 135f, 139f, 143, 147f, 153, 165, 173, 175, 179, 183, 187, 191, 193, 197, 295f, 299, 301f, 305, 307, 309, 316, 321, 327, 330, 335, 337f, 341, 345, 351, 355, 359, 363, 365, 372, 375, 379, 383, 385, 392, 395, 399, 401, 405, 414, 417, 421, 426, 431, 437, 439, 443, 445, 447, 449, 453, 459, 461f, 465, 467, 471, 478, 483, 485, 489, 491, 493, 495, 501, 503, 505, 507, 509, 517f, 520f

Tina de levante 355  
 Tobera lavaj 57  
 Tobera Venturi 127  
 Tojeadora 50  
 Tolva de buzón 140f  
 Tonel de agua 59f  
 Tornillo 98, 124, 156, 161, 192f, 410, 476, 510, 519f  
 Torno 4, 103, 119, 134, 143, 148, 153, 155, 173f, 345, 347, 351, 422, 459, 472, 489, 503  
 Toxicidad 47  
 Trabajo por niños 35f  
 Tracción animal 72, 79f, 153, 196, 477, 486  
 Trailla manual 134  
 Transbordos 36, 140  
 Transportar 84, 87, 127, 133, 134, 139, 153, 156, 169, 173, 190, 193, 489  
 Transporte 6, 8, 33f, 36, 39, 46, 48, 52, 77, 79f, 83f, 87f, 103f, 119, 127f, 131, 133f, 139f, 143f, 169f, 172f, 180f, 184, 189f, 194, 200, 336, 360, 379, 396, 440, 445f, 472f, 480, 483, 486f, 492, 495, 497, 507, 511, 518f, 527  
 Trapiche 386, 391, 485, 492, 495, 502, 509  
 Trineos de arrastre 157  
 Trituración 2, 6, 18, 39, 104, 119, 124, 167, 296, 306, 396, 399, 474  
 Trituradora de mandíbulas 513  
 Trómel clasificador 399f, 495, 509  
 Tubería de presión 509f  
 Tubería para aire comprimido 87, 519, 521  
 Tubos 50, 53, 57, 59, 63, 67, 71f, 75, 77f, 87, 99, 175, 183f, 330, 391, 405f, 412, 472, 507, 509, 511, 519, 521, 524  
 Turbina a cable 495, 503f  
 Turbina de impulsión radial y parcial 493, 509, 513f, 516  
 Turbina Francis 500, 509f, 512  
 Turbina Kaplan 500, 509f  
 Turbina Pelton 509f, 514f  
 Turbo ventilador 57

### Ultrasonido 331

**Valor pH** 28  
 Vanilla de prueba 27  
 Vasos comunicantes 79  
 Vela de viento 67  
 Vendas 49f  
 Ventilación 6, 33f, 37, 39, 46f, 49, 51f, 90, 103, 105, 117f, 176, 444, 462, 483, 486, 514, 527  
 Ventilador 51f, 63, 71, 461f, 474, 483, 493, 519  
 Vibrador 329, 331, 341, 344, 356, 359f, 365, 371f, 399f, 427, 467f, 474, 477, 501, 505f, 510, 527

**Yacimientos aluviales** 9, 168  
 Yacimientos antropogénicos 168  
 Yacimientos filonianos 9, 29, 33, 47, 112, 139, 346

**Zinc** 11, 13f, 21f, 28, 89, 136, 296, 302, 339, 427, 429f, 455, 464, 503



El manual se presenta como fuente de información para planificadores, técnicos, ingenieros y asesores para la pequeña minería en países en vía de desarrollo. Se trata de maquinaria y procesos históricos de la minería, equipamientos mineros modernos para minería en pequeña escala y también técnicas tradicionales, cual fusión hoy día llega a una posibilidad de solucionar problemas actuales. En el manual se conjugan técnicas de los diferentes tareas mineras. Especialmente en el parte técnica se toma en cuenta la fabricación local de la maquinaria mencionada y tecnologías que sirven a la protección del medio ambiente y al contexto social y cultural de los mineros.

Un compendio del contenido del mencionado manual con más que de 500 paginas:

*Análisis:* Alcances del problema y indicaciones para toma de muestras, reconocimiento y exámenes necesarias, descripción de técnicas en el campo del análisis.

*Minería subterránea:* Propuestas para la organización del trabajo, aspectos para el medio ambiente y la salud de los mineros, descripción de técnicas de los diferentes tareas de la minería subterránea como técnicas de seguridad, ventilación, desagüe, entibación, iluminación, explotación, carga y transporte.

*Minería a cielo abierto:* Indicaciones para aspectos del medio ambiente y la salud, minería de rocas y suelos y técnicas para máquinas para minería a cielo abierto como también técnicas especiales.

*Beneficio:* Propuestas para la organización del trabajo, aspectos del medio ambiente y de la salud, indicaciones para el beneficio de diamantes, del oro y de materias primas fosfatadas para abonos de fósforo. Además se encuentra más que cincuenta técnicas para trituración, clasificación, separación gravimétrica, beneficio del oro, técnicas especiales de beneficio, secado y clarificación.

*Mecanización y suministro de energía:* Con capítulos sobre transformación de energía, distribución de energía, aspectos de la mecanización, del medio ambiente y de la salud y las diferentes técnicas del suministro de energía.

Además se encuentra una lista de productores, una bibliografía voluminosa y un índice.



Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien