



Guía técnica N°1:

CLASIFICACIÓN, TRITURACIÓN, MOLIENDA Y CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA EN EL PROCESAMIENTO DEL ORO

Con el apoyo de:



Apoyado por



Implementado por:



ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS
PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL

Ejecutado por:



En Alianza con:



PRESENTACIÓN

Producto del Convenio interinstitucional entre planetGOLD Bolivia y el Instituto Tecnológico ESCUELA INDUSTRIAL SUPERIOR “PEDRO DOMINGO MURILLO” (EISPD) y en el marco de los objetivos de ambas instituciones, se ha determinado fortalecer de manera conjunta las capacidades y competencias de trabajadores de las cooperativas mineras auríferas. En este entendido, de manera colaborativa y coordinada, a través de la carrera de Metalurgia, Siderurgia y Fundición (EISPD) se vienen ejecutando Cursos de Capacitación orientados a las operaciones más importantes del proceso de recuperación del oro, como son la clasificación, trituración, molienda y concentración gravimétrica.

Para este efecto, y como parte del material de apoyo a dichas capacitaciones, la presente cartilla fue elaborada con la finalidad de transmitir al lector los principales conceptos, características y recomendaciones acerca de los métodos, técnicas y equipos para el procesamiento adecuado y responsable del mineral para la recuperación del oro.

CONTENIDO

1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

- 1.1 ¿Cómo se determina la granulometría?
- 1.2 ¿De qué manera se realiza un análisis?

2. PRUEBAS MERALÚRGICAS

- 2.1 ¿Dónde inicia la prueba metalúrgica?
- 2.2 ¿Qué es el muestreo?
- 2.3 ¿Qué es Dureza del mineral?

3. CLASIFICACIÓN

- 3.1 ¿Qué es la clasificación?
- 3.2 ¿Por qué es importante la clasificación?
- 3.3 ¿Qué tipos de clasificación se conoce?

4. PROCESO DE CONMINUCIÓN

4.1 Trituración

- 4.1.1 ¿Cómo se produce la trituración?
- 4.1.2 ¿Qué fuerzas se realiza en la trituradora para producir la fragmentación?
- 4.1.3 ¿Qué factores son importantes controlar en la trituración?
- 4.1.4 Clases de las trituradoras
- 4.1.5 ¿Cómo determinar la capacidad de una trituradora de mandíbulas?

4.2 Molienda

- 4.2.1 Factores influyen en la molienda
- 4.2.2 Principales partes del molino
- 4.2.3 ¿Cómo debe de ser el movimiento de lo molturadores en el molino?
- 4.2.4 Cargado de Molturadores (bolas de acero)
- 4.2.5 Cálculo de cantidad de agua en un molino
- 4.2.6 Determinación de la capacidad de un molino
- 4.2.7 Bolas de acero para molinos
- 4.2.8 Molienda en circuito cerrado

CONTENIDO

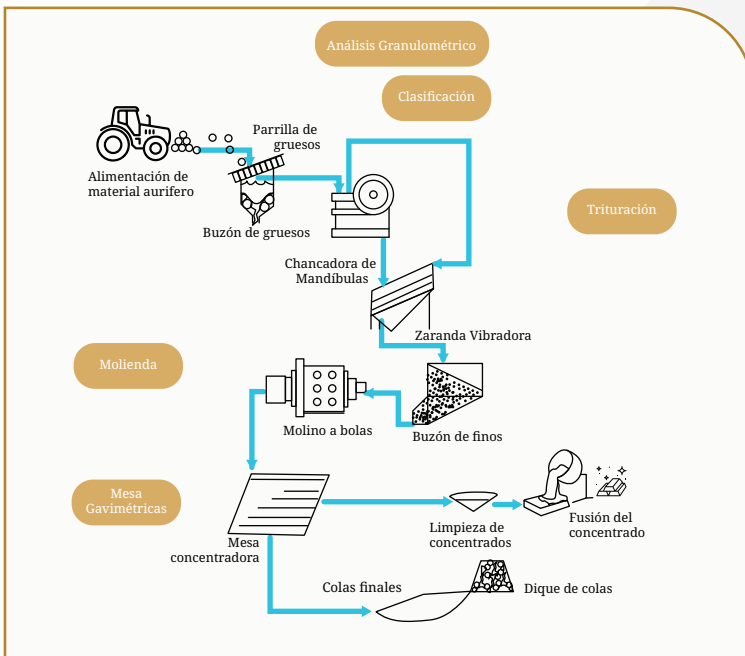
5. CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

- 5.1 ¿Qué es el criterio de concentración (CC) o Taggart?
- 5.2 ¿Qué equipos de concentración gravimetría se conocen?
- 5.3 ¿Cómo trabaja una canaleta o lavaderos?
- 5.4 ¿Cómo trabaja una mesa concentradora?
- 5.5 Tipos de mesas concentradoras
- 5.6 ¿Que factores de trabajo se debe tener en cuenta en una mesa concentradora?
- 5.7 Ventajas y desventajas de una mesa concentradora
- 5.8 ¿Cuales son las principales variables del diseño de la mesa de concentración?
- 5.9 ¿Cuales son los principales controles de operación a realizarse?
- 5.10 Separacion de minerales en un Jig de pulsación
- 5.11 Separacion de minerales en una Chua o Plato lavador

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CLASIFICACIÓN, TRITURACIÓN, MOLIENDA Y CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

El procesamiento del mineral para la recuperación del oro, se ilustra en el siguiente diagrama.



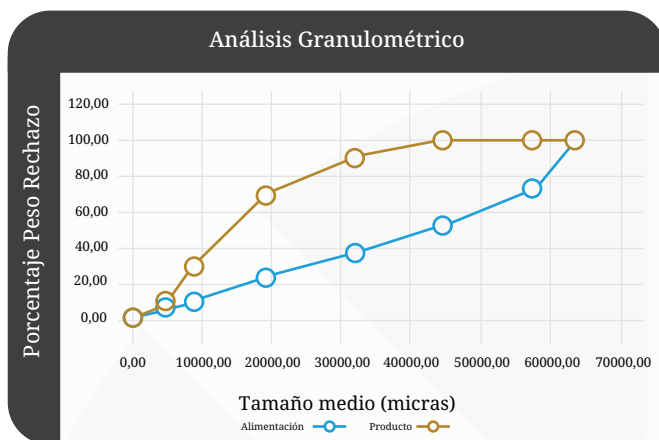
1. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Para un proceso eficiente de recuperación del oro, es necesario realizar un análisis granulométrico del mineral, que consiste en determinar el tamaño o fracción del mismo en el que se encuentra el mayor porcentaje de oro liberado.

1.1 ¿Cómo se determina la granulometría?

Mediante un procedimiento manual o mecánico, a través de un sistema de tamices que permite separar las partículas constitutivas del mineral según su tamaño, posteriormente, se toma una muestra de cada tamiz para su posterior análisis químico, determinándose en qué tamiz (o en qué tamaño de partícula del mineral) se encuentra en mayor porcentaje de oro.

Malla		Alimentación			Producto		
Fracción	Micras	Kg	%Peso	%Peso rechazo	Kg	%Peso	%Peso rechazo
2 ½"	63500.00		0.00	100.00		0.00	100.00
	57150.00	47.13	27.40	72.60		0.00	100.00
1 ½"	44450.00	35.60	20.70	51.90		0.00	100.00
	31750.00	27.01	15.70	36.20	17.20	10.00	90.00
4#	19050.00	23.56	13.70	22.50	36.81	21.40	68.60
	8730.00	23.22	13.50	9.00	67.77	39.40	29.20
16#	4865.00	8.94	5.20	3.80	34.92	20.30	8.90
	100.00	6.54	3.80	0.00	15.30	8.90	0.00
		172.00	100.00		172.00	100.00	



1.2 ¿De qué manera se realiza un análisis granulométrico?

Se realiza en un equipo denominado Ro-Tap que consiste en una columna de tamices las mismas que se someten a vibración y/o movimientos rotatorios. El tamizado puede realizarse por vía seca (como referencia, podría determinarse la granulometría de 2 kg de mineral en un tiempo aproximado de 20 minutos), y por vía húmeda para el caso de minerales finos.



Cada malla o tamiz es representado por un número que indica la cantidad de hilos cruzados por cada pulgada cuadrada.

Tabla de la serie Tyler y ASTM

Malla Tyler	Malla ASTM	Apertura \varnothing μ m	Apertura \varnothing mm
3	3	6680	6,68
16	18	1000	1,00
24	25	710	0,710
32	35	500	0,500
48	50	300	0,300
65	70	212	0,212
100	100	149	0,149
150	140	106	0,106

2. PRUEBAS METALÚRGICAS

Los principales objetivos de las pruebas metalúrgicas son:

- Caracterizar el mineral
- Mejorar los resultados metalúrgicos
- Definir el diagrama de flujo del proceso metalúrgico
- Definir las características de los equipos metalúrgicos
- Facilitar el establecimiento del esquema de la planta
- Disminuir costos de tratamiento

2.1 ¿Dónde inicia la prueba metalúrgica?

Inicia con el muestreo, considerando que la muestra sea representativa, y que la preparación y tratamiento de la muestra sea el adecuado.

2.2 ¿Qué es el muestreo?

Es la selección de una pequeña muestra representativa de un lote (de mineral) para inferir sus características. El muestreo puede ser realizado por método de cuarteo mecánico o manual.



Todo el muestreo o trabajo de sacar muestra puede resultar inútil, si la muestra empleada **NO ES REPRESENTATIVA**

2.3 ¿Qué es Dureza del mineral?

Es la resistencia ofrecida por el mineral a la abrasión o al raspado, por tanto, de la dureza dependerá la facilidad o dificultad de su conminución (trituración y molienda). La dureza se mide en la escala de Mohs que clasifica a los minerales en una escala del 1 al 10, donde 1 es el mineral más blando y 10 es el más duro (diamante)

ESCALA DE MOHS		
DUREZA	MINERAL	DESCRIPCIÓN PARA IDENTIFICAR
1	TALCO	Se deforma con la yema del dedo
2	YESO	Se raya con la uña
3	CALCITA	Se raya con una moneda de cobre
4	FLUORITA	Se raya con un clavo o acero
5	APATITO	Se raya con vidrio
6	ORTOSA	Se raya con cortaplumas
7	CUARZO	Es el que raya al vidrio
8	TOPACIO	Se raya con un esmeril
9	CORINDÓN	Raya todos los anteriores
10	DIAMANTÉ	Corta el vidrio

3. CLASIFICACIÓN

3.1 ¿Qué es la clasificación?

Mediante un procedimiento manual o mecánico, a través de un sistema de tamices que permite separar las partículas constitutivas del mineral según su tamaño, posteriormente, se toma una muestra de cada tamiz para su posterior análisis químico, determinándose en qué tamiz (o en qué tamaño de partícula del mineral) se encuentra en mayor porcentaje de oro.

3.2 ¿Por qué es importante la clasificación?

Esta operación es imprescindible para otorgar eficiencia en la trituración. El material de alimentación para la trituración debe ser aproximadamente 80% homogéneo, evitando el ingreso de material fino ya que genera aglomeración de este material tanto en la trituración como en la molienda.

3.3 ¿Qué tipos de clasificación se conoce?

Para la clasificación por tamaños, se tiene dos sistemas importantes, ellos son el cribado y tamizado, los equipos utilizados para estos objetivos son los siguientes:

Parrilla fija o Grizzly	
Criba Vibratoria	
Tommel	
Clasificador Akins	
Hidrociación	
Clasificador	<p>a) Diseño clásico: (1) Boquilla de entrada; (2) boquilla de descarga (apex); (3) boquilla de salida (vórtice) b) Centres d treball en una Hidrociación. A: acometida; K₁: producte gros; K₂: producte fiu.</p>

Cuanto mejor se realice la clasificación mejor será el proceso de concentración.

4. PROCESO DE CONMINUCIÓN

La conminución o fragmentación es la reducción de tamaño del mineral, incluye a la trituración y la molienda.

4.1 Trituración

Es la reducción de tamaño de partícula del mineral cuando esta tiene un tamaño de 5 pulgadas o más, reduciéndolas hasta un máximo de $\frac{1}{2}$ o $\frac{1}{4}$ de pulgada.

Su importancia radica en que permite una mejor molienda y reduce el consumo de energía en esta etapa.

4.1.1 ¿Cómo se produce la trituración?

La trituración, denominada también chancado, se realiza mediante una muela fija vertical y otra muela móvil de forma diagonal que se mueve hacia adelante y hacia atrás, el cual trabaja con movimiento excéntricos para fragmentar los minerales.

4.1.2 ¿Qué fuerzas se realiza en la trituradora para producir la fragmentación?

Dependiendo del tipo de trituradora, se produce las siguientes fuerzas: compresión, impacto o choque, rozamiento y por corte.

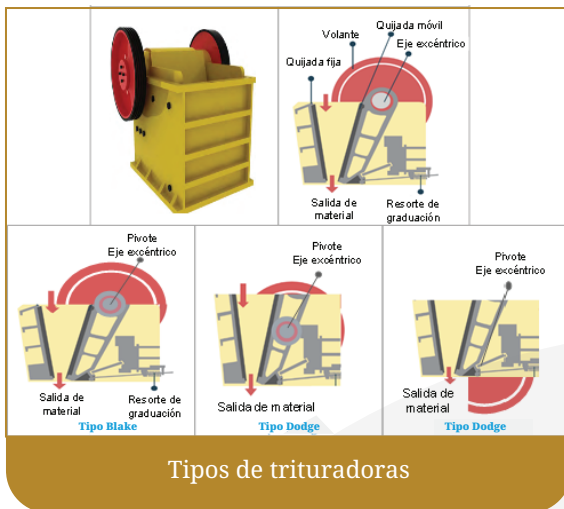
4.1.3 ¿Qué factores son importantes controlar en la trituración?

● **La humedad;** si el mineral tiene un rango de humedad de 2 a 4 %, la fragmentación es efectiva, si excede ese rango de humedad podría perjudicar la operación (lo que comúnmente se llama apelmazamiento).

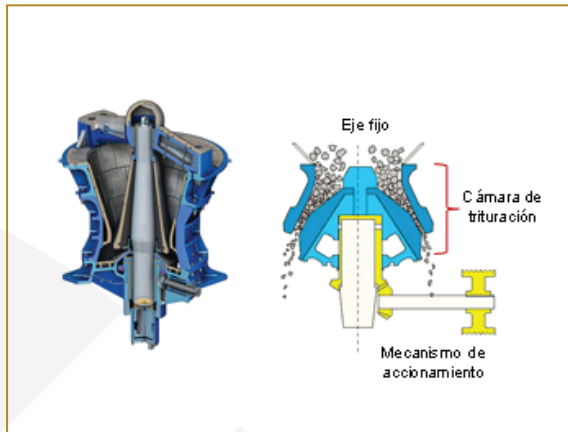
- **Forma de la partícula del mineral;** si son de formas redondeadas o triangulares, la fragmentación se realiza con facilidad, lo que no ocurre con las formas planas ya que pueden ser capaces a pasar libremente entre las mandíbulas.

4.1.4 Clases de las trituradoras

a) **Trituradora de Quijadas,** existen tres tipos de trituradoras de quijadas, que se clasifican de acuerdo al movimiento de la quijada móvil. En la trituradora tipo Blake, la quijada móvil es pivotada (o eje excéntrico) en la parte superior puede variar la abertura de salida; tipo Dodge es pivotada (o eje excéntrico) en la parte inferior y puede variar la abertura de entrada; la trituradora de tipo universal es pivotada (o eje excéntrico) en el medio de la quijada móvil y pueden variar tanto las aberturas de entrada como de salida.

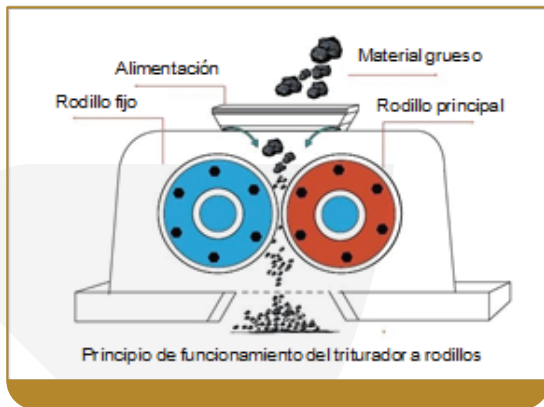


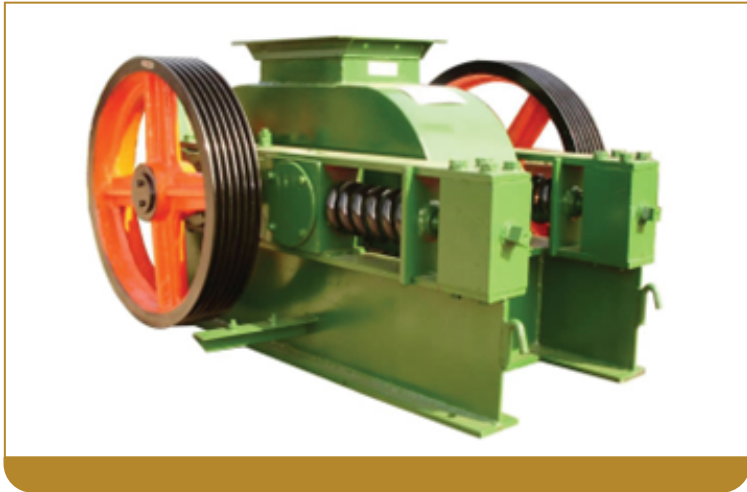
b) **Trituradoras Giratorias y Cónicas,** en este tipo de trituradora la mandíbula móvil esta simétricamente fija alrededor de un eje giratorio vertical con la mandíbula fija circundándolo como un anillo; la fragmentación es por aplastamiento o compresión entre una pared circular fija y un cuerpo tronco cónico, montado sobre un eje vertical, movido en su base por excéntrico. Existen dos tipos, "Gates" y "Symons".



Trituradora cónica

c) **Trituradora de Rodillos**, se compone de dos cilindros montados sobre dos ejes motores, horizontales que giran en sentido inverso los cilindros van provistos de una camisa lisa, acanaladas, dentadas, construidas en acero muy duro.





4.1.5 ¿Cómo determinar la capacidad de una trituradora de mandíbulas?

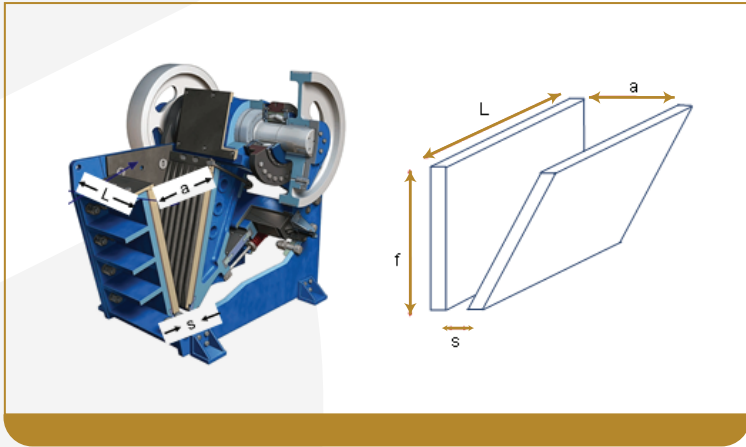
El cálculo de capacidad de la chancadora o trituradora de mandíbulas se la realiza con la siguiente formula donde se mide la longitud de abertura de alimentación el ancho de la boca de alimentación y la parte de la boca de salida de lo fragmentado.

$$T = 0,6 * L_r * S_o$$

T = Capacidad (t/h.)

L_r = Longitud de la abertura de recepción (plg.)

S_o = Abertura de descarga, posición abierta (plg.)



TRITURADORAS A MANDÍBULAS DENVER CAPACIDADES MÉTRICAS POR HORA EN VARIOS AJUSTES DE LA TRITURADORA

TAMAÑO	¼"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 ½"	2	2 ½"	3"	4"	5"
5" x 6"	0.3	0.5	0.7	0.9	1.4	2.3	3.6	4.5			
8" x 10"			1.2	1.6	3.6	6	7	9	11		
10" x 16"			3	5-6	6-8	9-14	15-18	18-23	27-32		
10" x 24"			5	6-9	8-14	11-18	23-29	27-41	32-47		
15" x 24"						18-30	27-41	36-50	50-73	59-82	68-86

ESPECIFICACIONES

TAMAÑO	MOTOR HP	TRITUR. RPM	PROF. MAND MÓVIL	PROF. MAND FIJA	VOLANTE DIAM x CARA	PESO APROX KG
10" x 16"	20	250-300	23 1/2"	21"	30 x 8 ¾"	2336
10" x 24"	25-30	255-275	24 7/8"	23"	30" x 9"	2630
15" x 24"	40-50	225-275	39"	34 ¾"	37 ½" x 10"	4535

Para el cálculo de la capacidad practica de una trituradora de mandíbulas, se consideran el peso de la carga a triturar y el tiempo de operación en la trituradora, con una alimentación continua y constante. A continuación, se muestra un ejemplo:

Datos: Trituradora 8"x10" $M = 3,25Kg$ $T = 10,0 Seg$

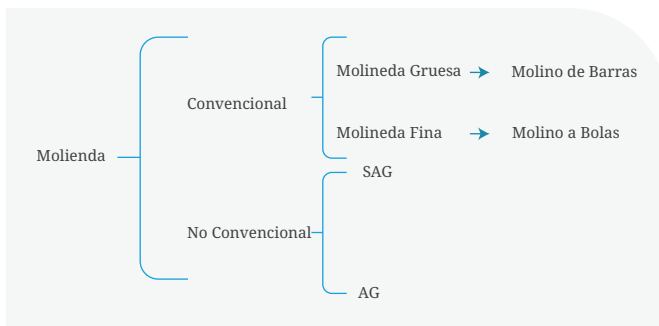
$$Qp \frac{M}{T} = \frac{3,25 Kg}{10,0 Seg} * \frac{1 Ton}{1000,0Kg} * \frac{36000 Seg}{1,0 Hora} = 1,17 \frac{Ton}{Hora}$$

4.2 Molienda

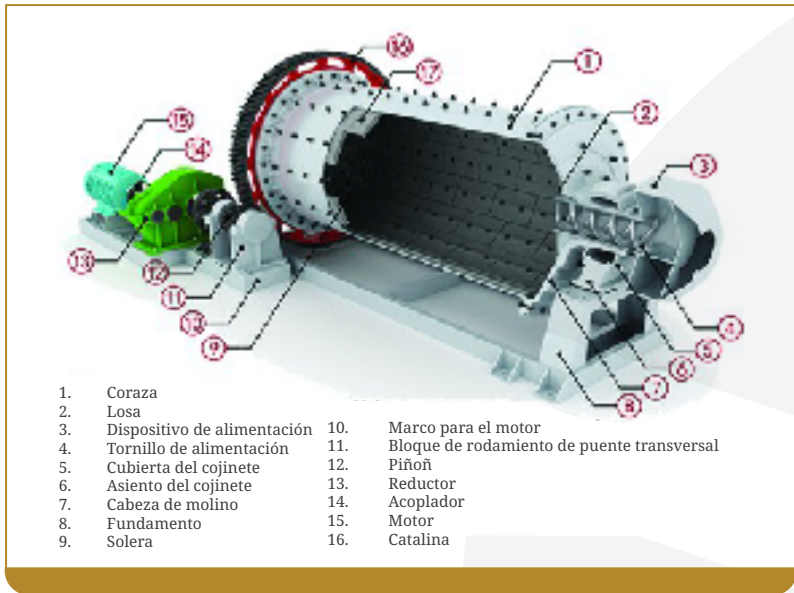
La molienda consiste en reducir de tamaño partículas del mineral procedentes de la trituración media o fina (con fragmentos menores a ½ plg.), hasta llegar y reducir a un tamaño de finos en el rango de 28 a 200 mallas Tyler en la molienda gruesa, y menores de 325 mallas Tyler en la molienda fina. La molienda suele constituirse en la operación que representa el mayor consumo energético y otros elementos como revestimientos y medios molturadores o moledores (bolas de acero o barras).

4.2.1 Factores influyen en la molienda

Principalmente la dureza del mineral, el grado de liberación del metal requerido (en este caso el oro). Es importante el control del tamaño del material de alimentación y de salida del molino, en este último caso, se utiliza un clasificador para optimizarla molienda.

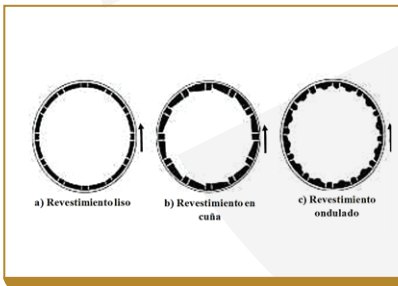
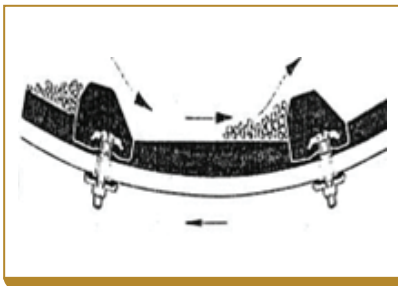


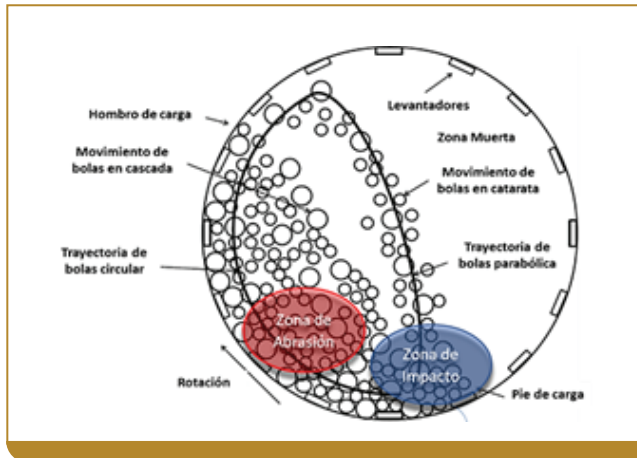
4.2.2 Principales partes del molino



a) Revestimiento interior (Soleras)

Constituidas por revestimiento de tambor (coraza) y tapas, conocidas como soleras del tambor y tapas. Los molinos deben estar revestidos internamente para evitar desgaste de la coraza y tapas.





b) Velocidad de trabajo del molino de bolas

La velocidad de trabajo se calcula con la siguiente formula

$$V_t = 0,75 * V_c$$

V_t = Velocidad de Trabajo

V_c = Velocidad Critica

0,75 = Constante de trabajo a la necesidad del 75%

Donde la velocidad crítica V_c esta dada por:



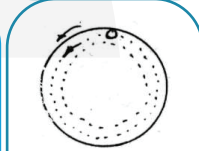
$$V_c = \frac{76,60}{\sqrt{D \text{ (pies)}}$$

$$V_c = \frac{42,30}{\sqrt{D \text{ (metros)}}$$

D: Diámetro del molino

4.2.3 ¿Cómo debe de ser el movimiento de lo molturadores en el molino?

A continuación veremos tres posiciones:

a)	b)	c)	d)
<p>Velocidad de giro es relativamente baja respecto a V_c, la molienda se realiza por caída en cascada (molienda deficiente).</p>	<p>Cuando las cargas molturadoras alcanzan el punto apropiado, para caer libremente sobre la mena) molienda por caída en catarata (molienda efectiva).</p>	<p>Fragmentación no se realiza por impacto (caída libre) ni por resbalamiento (fricción), pues, cuando V_t es mayor o igual a la V_c, las bolas giran apegadas a la pared del molino (molienda deficiente).</p>	<p>Con la determinación de la velocidad crítica y de trabajo del molino de bolas, se pretende llegar al efecto catarata donde la molienda es por impacto (b), y no la molienda en cascada (a) donde la molienda es por fricción o rozamiento.</p>
 <p>a)</p>	 <p>b)</p>	 <p>c)</p>	

4.2.4 Cargado de Molturadores (bolas de acero)

Se recomienda que el volumen de carga de elementos molturadores (bolas) sea del 33% o 40 % del diámetro interior del molino

Se recomienda que la molienda sea húmeda, a fin de proteger las soleras y el desgaste de las bolas de acero.

4.2.5 Cálculo de cantidad de agua en un molino

A través de un ejemplo, se calcula la cantidad de agua suficiente para un molino que tiene capacidad de 10 TM en un tamaño de 48 mallas al 65% en sólidos.

Datos:

Capacidad	= 10 TM	= 10000kg
% solidos	= 65%	
N° Malla	= 48 Mallas Tyler	
Litros Agua	= ¿?	
Densidad Agua	= 1 kg/litro	
65%min + 35%agua	= 100%	

10000 Kg Min → 65 % Solidos

X Cantidad Agua → 35 %

$$X \text{ agua} = \frac{(10000 \text{ kg} * 35\%)}{(65\%)} = 5385,6 \text{ [kg]} = \text{[litros]}$$

4.2.6 Determinación de la capacidad de un molino

La siguiente tabla muestra la capacidad y otros valores fundamentales de los molinos, los mismos que deberán ser evaluados de acuerdo a su rendimiento de operación y costos.

**CAPACIDAD DE MOLINOS DE BOLAS/BARRAS "DENVER" TONELADAS
MÉTRICAS POR 24 HORAS - MINERAL DE DUREZA MEDIA**

TAMAÑO Diam x long.	CAPACIDAD					R.P.M.		HP	PESO Emb Kg
	2" a 35"	1" a 48"	1/2" a 65"	1/2" a 100"	1/2" a 200"	Mol. Bolas	Mol. Barras		
30" x 18"	5	5	4	3		37	32	5	2000
30" x 36"	11	10	9	6	4	37	32	7.5	2540
30" x 54"	16	15	14	9	5	37	32	10	3040
30" x 72"	23	20	18	12	6	37	32	15	3580
3' x 2'	14	10	8	5		33		10	3310
3' x 3'	18	15	13	8		33		15	3760
3' x 4'	23	19	17	11	6	33		15	4060
3' x 5'	27	24	22	14	7	33	28	15	4400
3' x 6'	32	28	26	16	8	33	28	20	4760
3' x 8'	41	37	35	22	10	33	28	25	5580
3' x 9'	45	42	40	24	12	33	28	25	5940
4' x 3'	378	31	27	20	11	28		20	6760
4' x 4'	47	40	36	23	13	28		25	7530
4' x 5'	57	50	45	28	15	28		30	8370
4' x 6'	67	60	55	34	16	28	23	40	9300
4' x 8'	86	79	74	45	20	28	23	50	10820
4' x 10'	105	98	93	56	24	28	23	50	12790
5' x 3'	70	57	50	36	20	26		40	8780
5' x 4'	85	73	65	41	23	26		50	10350
5' x 5'	102	89	82	51	26	26		50	11770
5' x 6'	118	105	100	61	30	26		60	14150
5' x 8'	154	141	134	82	36	26	20	75	16330
5' x 10'	190	178	169	102	43	26	20	100	19050
5' x 12'	227	214	203	125	49	26	20	125	21680
6' x 4'	157	136	127	75	36	22		75	19140
6' x 5'	190	163	154	91	44	22		100	21090
6' x 6'	236	204	190	113	54	22		125	22360
6' x 8'	295	149	236	138	68	22	18	150	25530
6' x 8'	354	308	290	168	82	22	18	175	28250
6' x 10'	422	354	340	200	97	22	18	200	31520

4.2.7 Bolas de acero para molinos

Los molidores o bolas que son forjadas de acero al manganeso de alto contenido de carbono, tienen una mayor vida operativa y su elección estará de acuerdo a los costos y rendimiento de la operación. En la siguiente tabla se muestra información sobre la carga de bolas a molinos de distintos diámetros.

Tamaño	Peso de bola Libras	Área pulg2	N° por Ton	Pulg2 por Ton
1"	0.15	3.14	13300	41800
1 1/2"	0.5	7.07	4000	28351
2"	1.2	12.57	1665	20950
2 1/2"	2.3	19.64	869	17050
3"	4	28.27	500	14276
3 1/2"	6.3	38.48	315	12121
4"	9.5	50.26	211	10605
4 1/2"	13.5	63.62	148	9416
5"	18.5	78.54	108	8482

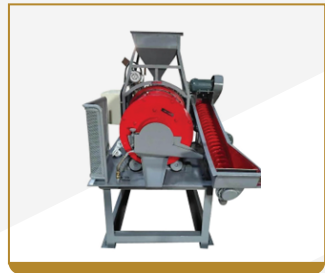
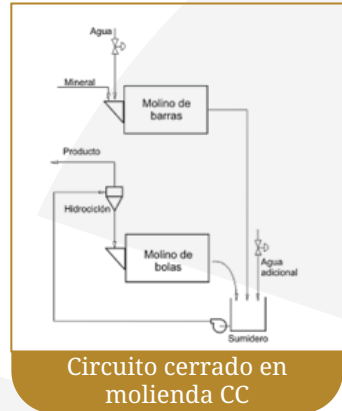
Molino a bolas D x L	Carga Total Libras	CARGA DE BOLAS EN LIBRAS							
		MOLIENDA GRUESA Diámetro de bola				MOLIENDA FINA Diámetro de bola			
		2"	3"	4"	5"	1"	1 1/2"	2"	3"
3' X 2'	1600	500	500	600		500	500	600	
3' X 2'	2500	800	800	900		800	800	900	
3' X 2'	3400	1100	1100	1200		1100	1100	1200	
3' X 2'	4300	1400	1400	1500		1400	1400	1500	
3' X 2'	5200	1700	1700	1800		1700	1700	1800	
3' X 2'	7000	2300	2300	2400		2300	2300	2400	
3' X 2'	7900	2600	2600	2700		2600	2600	2700	
4' X 3'	4300	1400	1400	1500		1400	1400	1500	
4' X 3'	5900	1900	1900	2000		1900	1900	2000	
4' X 3'	7500	2500	2500	2500		2500	2500	2500	
4' X 3'	9100	3000	3000	3100		3000	3000	3100	
4' X 3'	12300	4100	4100	4100		4100	4100	4100	
4' X 3'	15600	5200	5200	5200		5200	5200	5200	
5' X 3'	6700		2200	2200	2300		2200	2200	2300
5' X 3'	9200		3000	3100	3100		3000	3100	3100
5' X 3'	11700		3900	3900	3900		3900	3900	3900
5' X 3'	14300		4700	4800	4800		4700	4700	4900
5' X 3'	19300		6400	6500	6500		6400	6400	6500
5' X 3'	24300		8100	8100	8100		8100	8100	8100
5' X 3'	29300		9700	9800	9800		9700	9800	9800
6' X 3'	13100		4300	4400	4400		4300	4400	4400
6' X 3'	16800		5600	5600	5600		5600	5600	5600
6' X 3'	20500		6800	6800	6800		6800	6800	6900
6' X 3'	28000		9300	9300	9300		9300	9300	9400
6' X 3'	35500		11800	11800	11800		11800	11800	11900
6' X 3'	43000		14300	14300	14300		14300	14300	14400

4.2.8 Molienda en circuito cerrado

La característica esencial de circuitos cerrados (CC) es la existencia de un flujo de material entre el clasificador y la conminución (trititación o molienda), que circula a través de ellos en un circuito de salida y retorno, un sistema de circulación interno cerrado, produciendo una carga circulante entre ambos equipos.

Los clasificadores pueden ser cribas, rastrillos, Akins, hidrociclones, y en general son los equipos que realizan un corte por tamaño como las trituradoras de mandíbulas, molinos a bolas o barras. Por ejemplo en la molienda, se puede decir que el producto resultante del molino de bolas alimenta un clasificador (Akins o hidrociclón). La salida del clasificador, (grueso) vuelve al molino mezclado con la alimentación, y el pasante, (o sea el fino), forma el producto de salida del circuito.

Los hidrociclones se suelen usar para tamaños de corte inferiores a $149\mu\text{m}$ y $74\mu\text{m}$ (100 y 200 mallas), mientras que cuando se utiliza un clasificador Akins o de rastras, el tamaño de corte son inferiores a (0,500 y 0,300) mm (32 y 48 mallas Tyler).



5. CONCENTRACIÓN GRAVIMÉTRICA

Los métodos de concentración gravimétrica se utilizan para la separación de minerales de diferentes densidades utilizando la fuerza de gravedad; asimismo, las tecnologías modernas aprovechan también la fuerza centrífuga para la separación de los minerales. En este tipo de separación se generan dos o tres productos: el concentrado, las colas, y en algunos casos, un producto medio (“middling”). Para una separación efectiva en este tipo de concentración es fundamental que exista una marcada diferencia de densidad entre el mineral y la ganga. La concentración gravimétrica es factible y adecuada para minerales oxidados, especialmente par estaño, wólfram y oro.

5.1 ¿Qué es el criterio de concentración (CC) o Taggart?

Para determinar la aplicabilidad del proceso de concentración gravimétrica a un mineral en particular, se hace uso del Criterio de Concentración (CC) o Criterio de Taggart. Éste puede definirse como una razón de densidades de un par de minerales para conocer su factibilidad de separarse mediante algún método gravimétrico.

D_p = Densidad del mineral pesado

D_l = Densidad del mineral liviano

D_f = Densidad del fluido o agua

$$CC = \frac{(D_p - D_f)}{(D_l - D_f)}$$

Si CC es $>$ a 2,5 la concentración por gravimetría es relativamente sencilla.

Si CC es $<$ a 2,5 y $>$ a 1,25 la eficiencia de la separación disminuye.

Si CC es $<$ a 1,25 la concentración gravimétrica no es posible comercialmente.

$$D_p = 19,3 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} \text{ (Oro Au)}$$

$$D_l = 2,65 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} \text{ (Cuarzo SiO}_2\text{)}$$

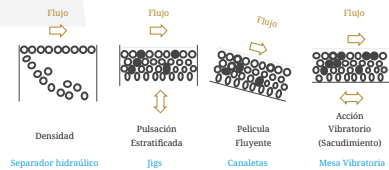
$$D_f = 1,0 \frac{\text{gr}}{\text{cc}} \text{ (Agua H}_2\text{O)}$$

$$CC = \frac{(D_p - D_f)}{(D_l - D_f)} = \frac{(19,3 - 1,0)}{(2,65 - 1,0)} = 11,09 \Rightarrow CC = 11,09$$

5.2 ¿Qué equipos de concentración gravimetría se conocen?

Como equipos de concentración se conocen a los siguientes:

- Canaletas o lavaderos
- Mesa vibratoria
- Jigs de Pulsación
- Chuas o platos lavadores
- Centrifugadores
- Espirales
- Hidrociclones



Los equipos mencionados trabajan según diferentes principios de separación, estos pueden ser: por la densidad del mineral (o también denominado peso específico), por pulsación estratificada, por película fluyente y por acción de vibración

Los equipos de concentración por gravedad se dividen en cuatro tipos y cada tipo utiliza principios de separación diferentes y son:

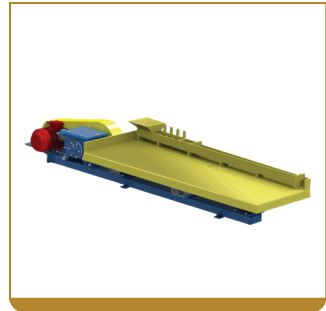
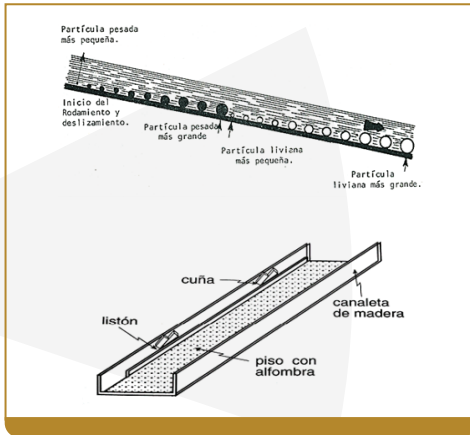
En el cuadro siguiente se observa los equipos gravimétricos en función del tamaño de grano de la partícula a procesarse.

EQUIPOS	GRANULOMETRÍA DE SEPARACIÓN
Canaletas	100# (0.149 mm)
Jigs	3# a 24# (6.6 mm a 0.710 mm)
Mesas	24# a 200# (0.71 mm a 0.075 mm)
Espirales	6# a 200# (2 mm a 0.075 mm)
Conos	6# a 200# (2 mm a 0.075 mm)
Concentradores centrífugos	65# a 400# (0.212 mm a 0.037 mm)

5.3 ¿Cómo trabaja una canaleta o lavaderos?

Las canaletas son muy usadas, principalmente en las operaciones pequeñas de minería aurífera aluvial y en la concentración de mineral primario molido. Se aprovecha que los flujos de películas líquidas de carácter laminar, pueden ser fácilmente adaptadas para concentrar minerales en base a sus densidades y en una superficie inclinada, lo cual va a caracterizar a los equipos concentradores, la selección de las condiciones más ventajosas para la concentración por corrientes o películas laminares requiere del:

- — Ajuste de la pendiente. (2 a 4% sobre la horizontal, depende del tamaño de grano)
- — Espesor de la película o corriente.
- — Velocidad de flujo. (adecuada a un flujo laminar)
- — Densidad de la partícula valiosa y de sus acompañantes.
- — Tamaño y forma de la partícula.
- — Definición de largo y ancho de la canaleta.(se recomienda 1 m x6m)
- — El uso de diferentes alfombras para oro grueso y fino combinados con rifles de madera o metálicos.

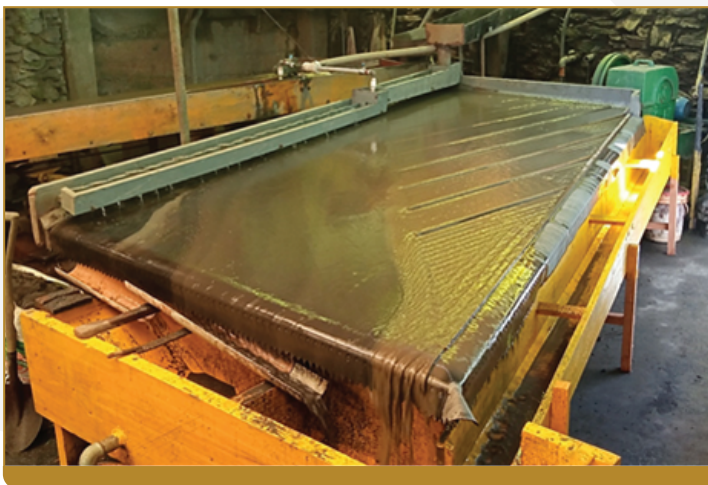


5.4 ¿Cómo trabaja una mesa concentradora?

Las mesas concentradoras son equipos de concentración gravimétrica con flujo laminar sobre una superficie inclinada, con movimiento (horizontal) longitudinal vibratorio, donde las partículas de mineral se diferencian formando bandas en abanico (cejas), según su peso específico y la granulometría de la partícula.

5.4.1 Tipos de mesas concentradoras

En la concentración gravimétrica aurífera se usan especialmente los tipos Wilfley, Deister, O'Plat, Rusas, Chinas. Las más utilizadas en Bolivia son las del tipo Deister y en algunos casos las rusas. La diferencia entre ellas es el mecanismo de acción que provoca el cabezal o la forma del tablero. Las mesas de concentración pueden ser lamerás o granceras, dependiendo del tamaño de grano.



5.4.2 ¿Que factores de trabajo se debe tener en cuenta en una mesa concentradora?

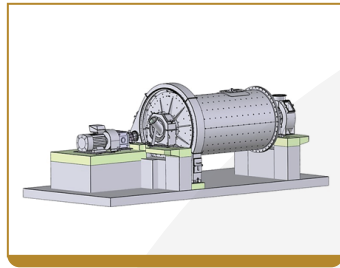
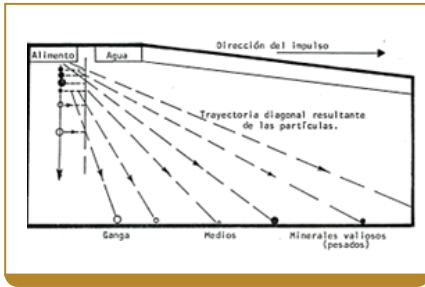
Movimiento vibrante horizontal: Carrera lenta hacia adelante y carrera rápida hacia atrás, 250 – 300 golpes por minuto, Longitud de recorrido de 10 a 25mm.

Flujo de agua: 75% agua de la alimentación, 25% de agua de lavado.

Pendiente de la mesa: La mesa esta inclinada ligeramente hacia la zona de rechazo. La mesa esta ligeramente elevada a lo largo de la línea de movimiento, desde el extremo de la alimentación hasta el extremo del concentrado. Lo mas necesaria para provocar una ceja aceptable.

Rifles: Su altura y espaciado son variables importantes. Obstaculizan el avance de las partículas pesadas.

Se debe de tener mucho cuidado al operar la mesa de concentración, **no se debe de tocar la superficie engomada con la mano** puesto que se llega a engrasar y desvia el agua de lavado.



5.4.3 Ventajas y desventajas de una mesa concentradora

a) Ventajas

Descarga continua de productos.

Comportamiento visible del material sobre el tablero.

Gran flexibilidad.

Manejo y supervisión relativamente simple (t/h)

Posibilidad de recuperar otros minerales valiosos acompañantes.

Alta seguridad en las condiciones de trabajo.

Buena recuperación y un alto índice de enriquecimiento, poco uso de agua y energía.

b) Desventajas

Requiere alimentación constante (si no, las posiciones de las cejas varían demasiado sobre el tablero).

Requiere supervisión continua.

5.4.4 ¿Cuales son las principales variables del diseño de la mesa de concentración?

- Geometría de la mesa.
- Material de la superficie de la mesa.
- Láminas separadoras (forma y distribución).
- Aceleración de las sacudidas.
- Velocidad del motor

5.4.5 ¿Cuáles son los principales controles de operación a realizarse?

- Inclinación de la mesa.
- Densidad de la pulpa alimentada.
- Caudal del agua de lavado.
- Ubicación del punto de alimentación
- Amplitud y frecuencia de golpe

5.5 Separación de minerales en un Jig de pulsación

Es normalmente usado para concentrar material relativamente grueso y, si el material de alimentación es relativamente uniforme, entre 3 – 10 mm, no es difícil lograr una buena separación de minerales con un rango de pesos específicos estrecho en la alimentación; y si la diferencia de pesos específicos es mayor, la separación es mejor.

La separación ocurre por pulsación y estratificación de las partículas componentes de la mena, por la acción del diafragma o embolo.

Las variables más importantes que se consideran en la operación son:

- — Abertura de la malla o tamiz.
- — Longitud y velocidad de la vibración
- — Cantidad de agua.
- — Profundidad de la cama
- — Velocidad de alimentación
- — Granulometría de la alimentación.

Los equipos de pulsación mas utilizados son:

a) JIG DE HARZ

b) JIG DENVER

c) JIG PAN AMERICAN

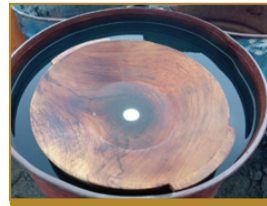
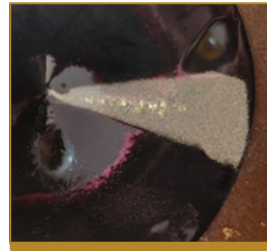


5.6 Separación de minerales en una Chua o Plato lavador

La batea o plato lavador es un plato de forma circular de hierro o madera de forma cónica, de diámetros que oscilan entre 25 y 30 cm, con profundidades de 6,5 a 7,5 cm. Se usa cuando el oro se encuentra en un tamaño de grano de 1 mm de espesor, el cual queda junto a las arenas negras o arenas pesadas.



Es un plato de metal o madera de fondo plano o ligeramente cónico, usado para lavar grava y arena o muestras de roca que han sido molidas a partículas pequeñas, para separar oro u otros minerales valiosos. El fundamento de la concentración gravimétrica es la diferencia de densidades entre los minerales a separar. En general, mientras mayor es la diferencia de densidad entre dos minerales, más efectiva es su separación; por ello el oro con elevada densidad, es fácilmente separable del cuarzo de baja densidad. Si parte de la ganga está aún ligada a las partículas de oro, disminuye su densidad específica, y por lo tanto pierde eficiencia la concentración.



6. BIBLIOGRAFÍA

A.F. Taggart, "Principios de Concentración de Minerales", Ed. Interciencia, Madrid - España, 1967.

L.G. Austin y F. Concha, "Diseño y Simulación de circuitos de molienda" Universidad de Concepción, 1987.

R. Bott y F. Concha, "Técnicas modernas de separación sólido - fluido en la Industria minera" Seminario Internacional, Concepción, 1991.

J.Magne y W.Valderrama, "Técnicas de Evaluación y Mejoramiento de Procesos de Molienda", CYTED, 1995.

R. Padilla, "Operaciones Mecánicas", Universidad de Concepción. Concepción – Chile. 1992.

F, Aro, Diseño diagrama de flujo para la flotación de cloruro de potasio partir de cristales de silvinita procedentes del salar de Uyuni, Universidad Mayor de San Adres, La Paz-Bolivia. 2005.

J. Vargas CONCENTRACION DE MINERALES POR FLOTACION, publicaciones UATF 1957

R, Paredes, ELEMENTOS PARA LA ELABORACION Y EVALUACION DE PROYECTOS. Edición 1994.

Denver Equipment Company, MINERAL PROCESSING FLOWSHEETS. Denver, Colorado

Wenqian, W. and Poling, G. W. 1983.Methods for Recovering Fine Placer Gold. IM- Canadian Inst. Mining and Metallurgy. Bulletin, V 76, N. 860, p. 47 – 56.

Velasquez, P.C., et al. 2010. Mercury, Balance in Amalgamation in Artisanal and, Smallscale Gold Mining: Finding Ways to, Reduce Environmental Pollution in ortovelo-Zaruma, Ecuador. J. Cleaner Production,18:3, p.226–232.

El proyecto planetGOLD Bolivia cuenta con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF por sus siglas en inglés), ejecutado por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI) , en alianza con el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, el Ministerio de Minería y Metalurgia y el Ministerio de Salud y Deportes Bolivia.

Piso 2, Ed. Tango, esquina Sanchez Lima y Pinilla. La Paz
2430850 - 2430853 - 2430854 Interno: 203

MÁS INFORMACIÓN:



<https://www.planetgold.org/bolivia>



planetGOLD



Planet-GOLD Latam