

## **Recuperación de la fracción – 20 mesh (0.84 mm) en el rechazo de la planta de preparación de pulpa de la empresa Moanickel S.A. Pedro Sotto Alba**

### **Recovery of the fraction - 20 mesh (0.84 mm) in rejecting of the pulp preparation plant of Moanickel Company S.A. Pedro Sotto Alba.**

Ing. Daniel Sánchez-Jacas, Ing. Carlos Iglesias-Fernández, Ing. Alfredo Calzada-Liens  
**Empresa Moanickel S.A. Pedro Sotto Alba, Moa, Holguín, Cuba**

*El trabajo muestra los resultados alcanzados en la reducción del impacto ambiental causado por la corriente tecnológica denominada Rechazo de la planta de Preparación de Pulpa, que se obtiene a partir del mineral limonítico extraído del yacimiento laterítico del municipio Moa, de la provincia de Holguín Cuba, después de instalado un circuito de Rechazo para el tratamiento de esa corriente. Con la instalación de este circuito de rechazo, para lo cual fue solicitada y aprobada su Licencia Ambiental, la eficiencia de recuperación de partículas de mineral útil de dimensión -20 mesh (0,84 mm) asciende desde un valor de 85,27 % obtenido en el periodo anterior al montaje del Circuito, hasta valores de 97,38 %, obtenido después del montaje de este equipamiento. La instalación del circuito de rechazo eliminó totalmente el vertimiento de la corriente de rechazo al río Cabañas y permitió además reutilizar el material de rechazo limpio en la construcción de caminos mineros, con lo cual se devuelve al medio ambiente gran parte de lo extraído de este, reduciendo prácticamente a cero el impacto ambiental que anteriormente a su instalación se causaba.*

**Palabras clave:** *circuito de rechazo; impacto ambiental; mineral útil; licencia ambiental.*

*This work shows the results reached in the environmental impact reduction caused by the technological stream called Slurry Preparation Plant Reject that is obtained from the limonitic mineral extracted from the lateritic orebody in Moa, Holguín, Cuba, after the installation of the Reject Circuit for the treatment of that stream. With the installation of this Reject Circuit, for which its environmental license was requested and approved, the Recovery Efficiency of useful ore particles of -20 mesh (0,84 mm) increases from a value of 85,27 % obtained in the period before the circuit installation to values of 97,38% obtained after the circuit installation.*

*The Reject Circuit installation eliminated completely the reject stream spillage to Cabañas River and allowed also to reuse the clean reject material in the mining roads construction, with which a great part of that extracted from the environment is returned to it, thus reducing practically to zero the environmental impact caused prior to its installation.*

**Key words:** *reject circuit; environmental impact; useful ore; environmental license.*

## **Introducción**

La explotación de la corteza terrestre con el objetivo de extraer de la misma sus componentes útiles para la humanidad, se desarrolló hasta el pasado siglo con el objetivo de obtener determinado metal o mineral, sin considerar los impactos negativos que ello condiciona en la naturaleza, tanto por la explotación minera, como por los efectos de los residuales del procesamiento. Por otra parte, solo se consideraba la evaluación económica, que reconocía gastos de inversión de la producción minero metalúrgica, los insumos requeridos por la misma y no así los daños ecológicos ocasionados.

Esta situación se hace más crítica, cuando se conoce que en la minería metálica se aprovechaba en general menos del 16 % de la masa extraída y en muchos casos menos de 1 %. Aún en el caso de la industria de materiales de la construcción, con un mayor aprovechamiento de la masa extraída, la misma adoleció del no aprovechamiento de materiales estériles de las otras producciones. Resulta por tanto imprescindible, reducir las extracciones mineras de la superficie terrestre y tener un mejor aprovechamiento de cada tonelada extraída.

Los sistemáticos incrementos de producción ocurridos a partir del año 1995, año en que fue creada la empresa mixta Moanickel S.A. Pedro

Sotto Alba, condujeron a un incremento de los niveles de procesamiento de la fábrica y por consiguiente, de la extracción minera alimentada a la planta de Preparación de Pulpa, situándola muy por encima de su capacidad de diseño. Debido a esto y a las limitaciones tecnológicas de esta planta, dadas por su prolongado tiempo de explotación, disminuyó su eficiencia de recuperación de mineral útil y se produjeron incrementos sistemáticos y sostenidos de sus pérdidas, (partículas de tamaño -20 mesh o 0,84 mm), en la corriente denominada rechazo, desde valores de 12 % promedio mensual en que ya venía comportándose, hasta valores promedios de 30 % promedio mensual.

Por otra parte, durante muchos años esta corriente de rechazo fue depositada en una presa construida entre montañas y en el cause del río Cabañas, que corre muy cercano a la planta, provocando la contaminación de las aguas de este acuífero con los residuos de mineral útil que escapan en esta corriente.

Una vía para reducir los impactos de la industria productora de metales y minerales, lo constituye sin lugar a dudas la reutilización y reciclaje de los productos que los contienen con lo cual se alarga su ciclo de vida; así como la sustitución por nuevos materiales. Sin embargo, la demanda creciente de la sociedad y el insuficiente desarrollo tecnológico para la transformación de algunos productos, hace necesario mantener determinados niveles extractivos, por lo que hay que incrementar la racionalidad en la explotación que se traduce en:

- Incremento de la eficiencia en la extracción de los componentes valiosos presentes en la masa mineral.
- Máximo aprovechamiento de los componentes acompañantes del mineral principal explotado.
- Reducción de las cantidades de colas y desechos del procesamiento minero metalúrgico con impactos negativos sobre el medioambiente
- Elección de los yacimientos a ser explotados bajo la óptica del desarrollo sostenible.

En el presente trabajo se consideran las posibilidades que brinda el beneficio o procesamiento de minerales en el aprovechamiento racional de los mismos y por tanto, como puede resultar su contribución a los aspectos mencionados anteriormente. En general, son consideradas las

bases y conceptos del beneficio de minerales, reducción y clasificación de tamaño de la masa mineral extraída, la capacidad de beneficio de los diferentes componentes útiles presentes en la masa mineral y algunas consideraciones sobre el procesamiento de sus residuales.

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente explicado, el objetivo fundamental del presente trabajo consistió en proponer un sistema de recuperación mediante la instalación de un circuito procesador de este rechazo para elevar la eficiencia de la planta de preparación de pulpa /1/.

Teniendo en cuenta resultados positivos obtenidos a escala rústica de banco fue adquirido e instalado en áreas cercanas a la planta de Preparación de Pulpa, un circuito con Cilindro Lavador Piloto con el cual se realizaron pruebas de eficiencia de recuperación, se demostró la posibilidad de obtener un 85,99 % de recuperación de aglomerados formados por partículas menores a 20 mesh (0,84 mm) utilizables por su contenido de níquel y cobalto adecuados para el proceso industrial, rechazadas por ineficiencias y sobrecargas de las lavadoras de paletas y el sistema de cribado existentes. (figura 1).



**Fig. 1 Labrador cilíndrico piloto.**

Los resultados alcanzados confirmaron los datos preliminares obtenidos en pruebas a escala de banco y revelaron las posibilidades de alcanzar incrementos importantes de la eficiencia de recuperación de la planta de Preparación de Pulpa y por tanto de la factibilidad de eliminar totalmente el impacto ambiental causado por la corriente de rechazo de esa planta del proceso industrial, al río Cabañas /5, 7/.

## **Fundamentación teórica**

Una tecnología limpia tiene que evitar al mínimo los impactos negativos que introduce sobre el medio ambiente. En el caso del beneficio de

minerales parte de ello se resuelve cuando en la reducción de tamaño se trata de disminuir el contenido de partículas muy finas, que propician incremento de contaminación del agua y el aire (lamas, contaminantes primarios del aire), y en el beneficio, cuando se trata de separar y utilizar toda la masa mineral extraída de los yacimientos. Sin embargo, es inevitable que se produzcan residuales que requieran de posterior tratamiento.

La cola o residuo sólido resulta el más significativo, en la mayoría de los casos y su tratamiento requiere de un análisis particular. Donde se presentan componentes que pueden ser utilizados con relativa brevedad, pueden estos clasificarse, almacenarse y protegerse para su nuevo uso. En estos casos, para la determinación de los procesos de clasificación a utilizar pueden emplearse las mismas herramientas descritas en el epígrafe anterior.

La utilización de las colas para relleno de excavaciones minera o como materiales para la construcción, resulta una solución conveniente allí donde ello resulte posible. Los procesos más utilizados en el beneficio de minerales se desarrollan por vía húmeda y por tanto, la máxima recuperación y reutilización del agua es necesario.

Los cilindros lavadores son equipos destinados al lavado enérgico de rocas, gravas y minerales de granulometría gruesa, así como a la preparación, disgregación y homogeneización de productos que posteriormente sean tratados por vía húmeda, destacando los siguientes casos /3, 6/:

- Lavado de áridos, que por su mala calidad no puedan ser tratados mediante sistemas convencionales.
- Disolución y preparación en pulpa de arcillas aglomeradas o procesos similares.

El diámetro interior, la velocidad de rotación y la longitud son parámetros de suma importancia para conocer el tiempo de retención que tendrá el material alimentado con el agua. Para la trituración de impacto y la molienda, así como para los productos particulados naturales de los yacimientos secundarios se hace necesario disponer de una función continua, que represente la característica granulométrica del conjunto. Con ello conocida el tamaño de una partícula, como

puede ser la de tamaño máximo o la cribada en un orificio definido, puede determinarse la composición de cualquiera de las clases de tamaño que la conforman.

Una expresión general al respecto fue propuesta por Fagerholt y resulta:

$$W(x)dx = ax^m e^{-bx^n} dx$$

A partir de esta expresión se pueden hallar ecuaciones para la determinar la distribución granulométrica como:

$$Y = 1 - \exp\left[-(\gamma x) - (\gamma_s x)^2 - (\lambda_v x^3)\right] \quad \text{Gilvarry}$$

$$Y = 1 - \exp(-bx^m) \quad \text{Rozim - Rammler}$$

$$Y = (x/k)^a \quad \text{Gaudin - Schumann}$$

$$Y = 1 - (1 - x/x_o)^r \quad \text{Gaudin - Meloy}$$

$$Y = ax^m \quad \text{Gaudin - Andreiev}$$

donde:

$Y = W(x)$  - masa de partículas de tamaño  $x$ ;  $a, b, m, n, k$  - parámetros (constantes) que modifican la dependencia;  $Y, Y_s, Y_v$  - parámetros que caracterizan la densidad correspondiente a las aristas, superficie y volumen de la fracturas;  $r$  - parámetro caracterizando la cantidad de fracturas;  $x_o$  - tamaño patrón.

La elección de una u otra de las ecuaciones anteriores se encontrara en correspondencia con el material caracterizado y de sus particularidades.

El Circuito de Rechazo Industrial está formado por un transportador de alimentación, el cilindro lavador que rompe los conglomerados arcillosos de limonita, la zaranda vibratoria, los transportadores de enlace, bombas de agua de lavado y control de operación automática /4/ (figura 2).



**Fig. 2** Aparato de medición de tamaño y de forma de partícula.

Sin embargo para el control granulométrico del material alimentado y de salida del cilindro lavador fue realizado con la utilización de un moderno equipo de medición de tamaño y forma de partículas, Horiba,

mediante el cual también se pudo conocer el área superficial y las gráficas de comportamiento granulométrico de las pulpas alimentadas y extraídas del cilindro lavador (figura 3).



Por otra parte y para asimilar las características del material de rechazo a lavar, fue necesario realizar los cálculos de la velocidad crítica del cilindro, el tiempo de retención del material dentro de este equipo así como el cálculo de la eficiencia de recuperación basada en el método de tamizado por vía húmeda y secado de las muestras de entrada y salida del cilindro lavador.

Ecuaciones utilizadas:

#### Velocidad crítica del cilindro lavador piloto/1/.

$$V_c = 76,6(D^{-0.5}) \quad /3-4, 8/ \quad (1)$$

donde:

V<sub>c</sub>: velocidad crítica, en RPM.

D: diámetro interior del cilindro lavador, en pie.

#### Eficiencia de Recuperación de partículas - 20 mesh (0,84 mm)

$$Ef \text{ Recup} = (100 - \% \text{ Rechazo total}) * (\% -20\text{mesh en rechazo} / \% -20\text{mesh en alimentado}) \quad (2)$$

donde:

Ef. Recup: Eficiencia de recuperación. En %.

#### Tiempo de retención

$$T_{Ret} = V \text{ útil cil} / F \text{ pulp rech} \quad (3)$$

donde:

F pulp rech = Flujo pulpa de rechazo en GPM

V útil cil = Volumen útil del cilindro en galones

## Desarrollo

### Prueba piloto del cilindro lavador para el tratamiento del rechazo de la planta de preparación de pulpa

El objetivo fundamental de la prueba piloto fue el de definir el grado de recuperación de la fracción -20 mesh (0,84 mm), que escapa en el material del rechazo de la planta industrial de preparación de pulpa, al realizar el lavado del mencionado rechazo en un cilindro lavador con clasificador y las siguientes características /8/.

Diámetro = 1,170 m

Largo = 2,100 m

Velocidad de rotación = (18 – 28) RPM

Volumen útil de operación = 0,276 m<sup>3</sup>

Volumen total = 2,258 m<sup>3</sup>

La instalación cuenta, además con un transportador de banda de alimentación al cilindro con velocidad variable y pesa instalada en esta banda. El suministro del material al transportador de banda se realiza con ayuda de un alimentador del tipo cuchara.

Cada corrida **M** consta de 3 corrientes (fracción – 127 mm. Alimentada al cilindro, fracción + 20 mesh rechazada y pulpa producto) y cada corriente la constituye un compósito de 3 incrementos tomadas en un intervalo de tiempo de 10 min.

---

Primeramente se realizaron 21 corridas (M1 – M21) para ajustar y optimizar los parámetros de proceso de la instalación así como para conocer el funcionamiento y operación de la instalación. Esta evaluación se realizó teniendo en cuenta las características físicas de la fracción + 4 mm rechazada en cada corrida, pues la malla instalada en el cilindro lavador inicialmente fue de 4 mm. De estas 21 corridas iniciales se obtuvieron los siguientes criterios:

1. Velocidad optima de rotación del cilindro = 28 RPM (71,6 %  $V_c$ )
2. Capacidad de alimentación optima = 7 ton/h (secas)
3. % sólidos de la pulpa producto = 12-13 % de sólidos
4. Relación líquido/sólidos (L/S) = 2,7.

A partir de esta evaluación previa de la operación con malla de 4 mm en la descarga, se implementó un diseño de experimento que involucra las variables fundamentales como las más influyentes en la operación y en eficiencia de recuperación, y esta vez con la malla 20 mesh instalada en la descarga del cilindro lavador.

A través de 8 pruebas tentativas iniciales con el cilindro lavador, fue posible obtener los valores máximos y mínimos de la eficiencia de recuperación de la fracción - 20 mesh (0,84 mm) utilizable, combinando las variables velocidad de rotación del cilindro con el % de sólidos de la pulpa obtenida para cada nivel de capacidad seleccionada. Dado que el parámetro capacidad optima fue confirmado en las primeras 21 pruebas

en valores alrededor de 7 Tm/h, fueron seleccionados tres niveles de capacidad: 4 Tm/h, 7 Tm/h, 11 Tm/h /7/.

Las velocidades del cilindro lavador utilizadas fueron 23 RPM (59 % de la velocidad critica ) y 28 RPM (71,6 % de la velocidad critica ). Para 18 RPM la calidad del rechazo observado fue caótico y no permitió siquiera la toma de muestras.

En este punto fue necesario determinar la velocidad crítica según la ecuación 1 /8/:

$$V_c = 76,6 (D^{-0,5})$$

donde:

$V_c$ : velocidad critica, en RPM.

$D$ : diámetro interior del cilindro lavador, en pie.

De esta forma la velocidad crítica del equipo es de 39,09 RPM para el diámetro interior del equipo (3,838 5 pie).

El % sólidos se controló variando el flujo de agua tanto a la entrada del cilindro como en la salida, donde estaba instalado el tamiz de 20 mesh (0,84 mm).

El balance de material del cilindro fue llevado a cabo de dos formas. Un balance material a partir de la medición del flujo del mineral de entrada al cilindro cuyos valores fueron obtenidos por la balanza de peso del transportador de banda de alimentación y el otro balance de material fue realizado a partir de mediciones del flujo puntual de rechazo en cada prueba. Los resultados por ambos métodos fueron bastantes coherentes, lo cual aporta un alto grado de confiabilidad de los resultados obtenidos.

Tabla 1  
Balances materiales puntuales del cilindro

Comidas	Tm /h/hum	Tm/h sec	Densidad Bulto	Agua Molino, gpm	Relación Liq/Solid	Tiempo Retención, min.	RPM Cilindro	% Sólido Alimentación	% Sólido Rechazo	% Sólido Pulpa
M22	6,2	3,6	1,934	13,6	1,5	2,64	28	58,67	71,72	23,00
M24	7,3	4,1	1,742	56,9	3,9	0,98	23	56,28	68,82	11,50
M25	7,3	4,0	1,856	58,3	4,1	0,97	28	55,64	75,55	13,76
M26	8,5	4,6	1,685	44,8	3,0	1,10	28	54,66	85,21	10,63
M27	11,7	7,0	1,749	62,9	2,7	0,80	28	59,95	83,56	12,30
M28	11,7	7,1	1,692	51,0	2,3	0,90	28	60,50	80,26	15,25
M29	11,7	7,4	1,882	49,8	2,1	0,95	28	63,07	86,96	18,18
M30	17,5	11,2	1,914	60,9	1,8	0,73	28	64,11	84,59	15,27
Prom.		6,1	1,806	49,78	2,67	1,13	27	59,11	79,58	14,99

Tabla 2  
Balances materiales puntuales del cilindro (continuación)

Comidas	Alimentación n, % +20 mesh	Rechazo, % + 20 mesh	Alimentación n, % -20 mesh	Rechazo, % - 20 mesh	Efic Recup., %
M22	15,07	53,90	84,93	46,10	84,82
M24	11,87	34,57	88,13	65,43	74,50
M25	16,34	63,06	83,66	36,94	88,56
M26	17,43	88,39	82,57	11,61	97,23
M27	23,62	82,60	76,38	17,40	93,48
M28	24,44	73,97	75,56	26,03	88,61
M29	46,00	78,10	54,00	21,90	76,11
M30	33,39	76,52	66,61	23,48	84,61
Prom.	23,52	68,89	76,48	31,11	85,99

Para el cálculo de la eficiencia de recuperación de la fracción -20 mesh (0,84 mm), fue utilizada la ecuación (2).

Según los resultados obtenidos se pudo determinar que a medida del aumento de la relación agua alimentada/material de rechazo alimentado, mejor será la recuperación, independientemente de la relación líquido/sólido dentro del cilindro. Para el caso de la capacidad óptima del cilindro de 7 Tm/h secas se logró la recuperación de 93,48 % (M27), la relación agua alimentada/material de rechazo alimentado fue de 1,22, la cual sería la

mínima cantidad de agua necesaria para garantizar eficiencias de recuperación por encima del 90 % en la instalación industrial /6/.

Por otra parte, a medida que aumenta la capacidad de procesamiento de material rechazado, el tiempo de residencia en el cilindro, disminuye y por tanto se afecta la eficiencia de recuperación. No obstante, el límite en el flujo de agua existente impidió una evaluación más adecuada de esta hipótesis, pues de haber existido abundante agua, quizás las eficiencias hubieran sido mayores que las obtenidas.

De esta forma, se demostró poder obtener una efectividad de recuperación del 85,99 % del mineral útil que se perdía y por tanto se decidió realizar el montaje del circuito industrial.

### Evaluación de los efectos de la instalación del circuito de rechazo industrial

Para realizar la evaluación de la eficiencia general de recuperación de la fracción – 20 mesh (0,84 mm) del mineral alimentado a esta planta,

fueron utilizados los resultados de las pruebas de eficiencia que semanalmente son desarrolladas y utilizadas para los cálculos de balances metalúrgicos mensuales de la empresa, así como los resultados de los costos mensuales de operación de la planta de preparación de pulpa.

En la tabla 3, se muestran los resultados promedios del tonelaje procesado y tonelaje recuperado de partículas-20 mesh (0,84 mm), de tres periodos de operación de la planta de preparación de pulpa.

Tabla 3  
Resultados generales de la eficiencia de recuperación obtenida

Periodo	Mineral seco Alimentado a Planta de Pulpa	Mineral seco enviado a Planta Espesadores	Eficiencia de Recuperación de partículas - 20mesh	Fracción de -20 mesh alimentada a Planta de Pulpa	Fracción de -20 mesh alimentada a Planta de Espesadores	Recuperación de partículas - 20 mesh
	TM	TM	%	TM	TM	TM
Ene-Jul/03	2 009 841	1 499 293	85,27	1 758 289	-	-
Ago-Dic/03	1 245 237	1 076 935	97,38	1 105 939	9 430 34	1 339 01
Ene-Dic/04	3 049 953	2 661 219	97,21	2 737 598	2 334 350	3 268 69

Los primeros resultados pertenecen al periodo enero-julio del año 2003, período en el cual se realizaba el montaje del circuito de rechazo industrial. Después son mostrados resultados promedios de dos períodos posteriores a su instalación.

La eficiencia de recuperación de partículas de mineral útil de dimensión-20 mesh. (0,84 mm) ascendió desde un valor de 85,27 % en el periodo antes del montaje del circuito de rechazo, hasta valores de 97,38 % obtenidos en los dos periodos posteriores a la instalación de este equipamiento. Esto significa que en estos dos últimos períodos fueron recuperadas 4 607 70 Tm de mineral útil al proceso metalúrgico.

Las tablas 4 y 5 muestran comparativamente los resultados de un grupo de pruebas puntuales de eficiencia de la planta de preparación de pulpa, desarrolladas en el periodo junio-julio 2003 y otro grupo de pruebas puntuales para este mismo objetivo, desarrolladas en el período Enero-Febrero 2005. Es evidente el incremento de la eficiencia de recuperación de mineral útil procesable por la industria, alcanzada y cuyo valor se incrementa desde 85,7 % obtenida en el primer período, hasta 99,30 % obtenida en el periodo comparativo. Es decir que la asimilación operacional del circuito de rechazo industrial permitió la optimización de sus resultados.

Tabla 4  
Resultados de pruebas de eficiencia planta preparación de pulpa junio-julio 2003 antes de la instalación del circuito de rechazo

Fecha	Mineral alimentado		Mineral rechazado		Capacidad de operación	Rechazo %	Eficiencia Recuperación %
	+ 20 mesh	- 20 mesh	+ 20 mesh	- 20 mesh			
04-Jun-03	9,81	90,19	36,74	63,26	675	18,11	87,3
10-Jun-03	8,58	91,42	41,09	58,91	604	29,63	80,9
18-Jun-03	7,58	92,42	55,45	44,55	573	17,53	91,55
23-Jun-03	10,49	89,51	60,25	39,75	478	22,47	90,02
25-Jun-03	12,63	87,37	41,80	58,20	573	23,19	84,55
08-Jul-03	7,58	92,42	29,10	70,90	675	25,86	80,16
14-Jul-03	5,60	94,40	41,11	58,89	355	25,32	84,2
18-Jul-03	22,52	77,48	59,84	40,16	355	25,79	86,63
Prom	10,60	88,97	45,67	54,33	536,00	23,49	85,66

Tabla 5  
Resultado de pruebas de eficiencia planta preparación de pulpa junio-julio 2003 después de la instalación del circuito de rechazo

Fecha	Mineral alimentado		Mineral rechazado		Capacidad de operación	Rechazo %	Eficiencia Recuperación %
	+ 20 mesh	- 20 mesh	+ 20 mesh	- 20 mesh			
14-Ene-05	12,21	87,79	77,38	22,62	710	3,14	99,19
19-Ene-05	7,2	92,8	90	10	710	11,24	98,79
25-Ene-05	7,29	92,71	87,81	12,19	710	10,92	98,56
07-Feb-05	9,7	90,3	98,72	1,28	484	8,45	99,88
16-Feb-05	7,48	92,52	92,89	7,11	717	6,92	99,47
21-Feb-05	10,43	89,27	95,73	4,27	637	6,67	99,68
24-Feb-05	5,48	94,52	93,63	6,37	710	7,19	99,52
Prom	8,54	91,20	90,88	9,12	668	7,79	99,30

El circuito industrial seleccionado a partir de las ofertas presentadas a la empresa por parte de varias firmas internacionales, fue instalado en la planta de preparación de pulpa en los meses de junio-julio del año 2003. A partir de ese momento

fue ejecutado un plan de pruebas y puesta en marcha con el cual quedó comprobada la alta eficiencia de dicho sistema y el logro de un incremento significativo de la eficiencia general de la planta de preparación de pulpa.

---

## Reducción del impacto ambiental

Durante más de 30 años la planta de preparación de pulpa vertió una corriente tecnológica de rechazo hacia una presa de rechazo cuyos efluentes se descargan directamente en el río Cabañas. Al no contar con una buena eficiencia de lavado en dicha planta, se perdía hasta un 30 % de la fracción fina del mineral alimentado y utilizable en la industria, convirtiéndose además en una fuente de contaminación de las aguas del mencionado acuífero. Con la puesta en marcha del circuito de rechazo se eliminó totalmente la descarga de mineral a la presa de rechazo y por tanto la fuente potencial de contaminación de las aguas que se contaminaban con grandes cantidades de mineral laterítico en suspensión. Esto constituye un beneficio ecológico para el río Cabañas. Al recuperarse hasta el 95 % de la fracción fina que antes se perdía, se hace también un mejor aprovechamiento de los recursos naturales /2, 5, 9/.

Por otra parte, los residuos rocosos estériles rechazados por el circuito de rechazo, son trasladados por su transportador de rechazo y acumulados en el área asignada para tal efecto y utilizado en la preparación de caminos mineros, lo cual evita remover otros sitios del yacimiento en búsqueda de material para dicho trabajo. De esta forma se evita otro impacto al medio ambiente.

Teniendo en cuenta los indicadores de consumo de combustible que aparecen en el Plan de minería del año 2005, para transportar 1 tonelada de mineral por medio de los camiones mineros se consume 1 litro de combustible diesel.

Por tanto el circuito industrial ha permitido ahorrar 4 607 70 t de mineral utilizable en el período comprendido entre agosto del 2003 y diciembre del 2004, eso representa que no ha sido necesario incurrir en un gasto de 4 607 70 l de diesel en dicho período por concepto de utilización del circuito de rechazo.

En la actualidad esta instalación recupera entre 30 y 50 TM de mineral utilizable como promedio diario, lo cual permite ahorrar aproximadamente 30 a 50 litros de diesel diarios que al no ser quemados por los camiones, también evitan contaminar con CO<sub>2</sub> y CO la atmósfera.

## Efecto económico

Los resultados económicos reales alcanzados por el circuito de recuperación de rechazo muestran la mejora de la recuperación general de los conglomerados arcillosos de limonita en la alimentación del mineral minado a la planta desde un nivel de 85,2 % a 97,2 %. Esto corresponde a una reducción anual de la cantidad de mineral minado requerido para lograr los niveles de producción. El costo capital del circuito de rechazo ascendió a 2,305, 937 dólares. La depreciación se realiza en 20 años, sobre la base de un 5 % anual, de forma lineal.

El beneficio económico para la empresa, de la recuperación y tratamiento de los conglomerados arcillosos de limonita es de 868 miles de dólares promedio por año, correspondiente a una tasa interna de rendimiento de 36,7 % y un valor actualizado neto (descontado al 15 %) de 22 millones de dólares en 20 años, con un plan de producción de 33000 t hasta el 2008 y 47000 t a partir de ese año.

Considerando el pago de impuestos sobre utilidades del 45 % y de dividendos, que se ingresan al Estado Cubano, el proyecto aporta 1149 miles de dólares como promedio anual, correspondiente a una TIR de 41,1 % y un VAN (al 15 %), de 30 millones de dólares en 20 años.

Esto quiere decir que el Circuito de Rechazo se ha pagado por su propio trabajo de recuperación de mineral útil en alrededor de 2,5 años. Por tanto quedó pagado en el año 2007 aproximadamente y cumplió en el 2012, cinco años de estar aportando ganancias y reduciendo los costos de la producción de sulfuros de níquel y cobalto de la empresa.

## Conclusiones

1. Ante los positivos resultados alcanzados en estos experimentos, se diseñó la instalación industrial, una inversión de más de dos millones de dólares, que procesa eficazmente todo el mineral de rechazo de la planta de preparación de pulpa, elimina totalmente el vertimiento al río Cabañas y con ello reduce casi a cero el

---

impacto al medioambiente que causaba anteriormente el proceso de esta planta.

2. El Circuito de Rechazo permite recobrar mas de 500 toneladas diarias de mineral útil y elevar la eficiencia de recuperación desde 85,27 % antes del periodo del montaje del Circuito de Rechazo, hasta valores de 97,38 % después del montaje. El efecto económico es de alrededor de un millón de dólares al año por el valor del mineral y el combustible ahorrado, este último a razón de un litro por cada tonelada dejada de transportar desde el yacimiento, situada a unos 5 k.
3. Conjuntamente con estos resultados productivos, reduce prácticamente a cero el impacto medioambiental ocasionado por los vertimientos sobre el río Cabañas, pues solo rechaza arena gravosa y piedras limpias que se utilizan en la reparación de caminos mineros y posibilita optimizar la explotación de las reservas geológicas. De esta forma se devuelve al medio ambiente gran parte del material extraído de las entrañas de la tierra.

## Bibliografía

1. Empresa Comandante Pedro Sotto Alba. "Manual de Instrucciones Tecnológicas del proceso para la obtención de Sulfuros de Níquel y Cobalto de Moa". Provincia Holguín, Cuba, 1975.
2. Estrategia Nacional Ambiental 2007 - 2010. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Editorial Academia, La Habana, 2007.
3. ERAL, Equipos y procesos, S.A. Procesos de minerales y áridos. Madrid <http://ww2.minas.upm.es/catedra-anefa/Bouso-M3/CilindrosLavadores.pdf>
4. DAVIS, J. R., "Metal Handbook", Nine Edition, Volume 15, pág. 208. Editorial Asm Intl, 1988.[http://www.buscalibros.cl/metals-handbook-davis-joseph-cp\\_3398817.htm](http://www.buscalibros.cl/metals-handbook-davis-joseph-cp_3398817.htm).
5. MANZANARES, N., "Globalización y Medio Ambiente. Una visión desde Cuba". *Revista Cuba Socialista*, págs. 44 – 54, Tercera época, N°. 40. La Habana, jul. \_ sep. 2006.
6. PÉREZ, L. "Efecto de la temperatura y de la distribución de tamaño de las partículas sobre la correlación entre las propiedades reológicas y coloidquímicas de las suspensiones lateríticas". Tesis presentada en opción al grado científico de Master en Ingeniería Química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, 2004.
7. FALCÓN HERNÁNDEZ, José., "El Beneficio de Minerales y la Separación de Fases en las Tecnologías Limpias de la Industria Minero Metalúrgica", VII CLEAN TECHNOLOGY IN THE MINING INDUSTRY (CTMI), Buzios, Río de Janeiro Brasil. Octubre 2006.
8. PERRY, R. H.; GREEN, D. W. *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 7ma. Edición. Editorial McGraw-Hill, 2001. Mineral Processing Design and Operation-AnIntroduction.[http://www.knovel.com/web/portalbasic\\_search/display?\\_EXT\\_KNOVEL\\_DISPLAY\\_bookid=48](http://www.knovel.com/web/portalbasic_search/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=48)
9. Universidad Para Todos.Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente Protección ambiental y Producción + Limpia. Parte 2., p. 2. La Habana, 2007.