

De acuerdo con los resultados obtenidos se exponen las conclusiones siguientes:

1. Con el descubrimiento de nuevas y grandes manifestaciones de cuarzo filoneo en la parte oriental de Cuba (El Palenque, Sabanalamar, y Güira de Jauco) este territorio esta región puede figurar como una nueva región cuarcífera cubana.
2. Desde el punto de vista práctico (como fuente de cuarzo filoneo) tienen la mayor importancia las vetas cuarzosas concordantes localizadas solamente en las metamorfitas de la facie de metamorfismo regional epidoto anfibolítica y en algunos lugares de esquistos glaucofánicos.

3. Por sus recursos el campo cuarcífero El Palenque puede considerarse como un yacimiento medio y el de Sabanalamar como uno pequeño, según la clasificación que se utiliza en Cuba [5].
4. Los trabajos de prospección que se ejecuten en el distrito Sierra del Convento deben caracterizarse por su complejidad ya que aquí se encuentran manifestaciones perspectivas de Cristal de Roca, talco de grano gigante, talquita, roca talco-tremolita, roca ornamental (tipo Jaspe) y materia prima cerámica (aprita y esquistos cristalinos cuarzo-feldespáticos) [3].

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. AGUEEV, B.I y otros: Informe de los trabajos de reconocimiento geológico para cuarzo en el área de La Corea, ISMM, Moa, 1987.
2. COBIELLA, J.: "Los macizos serpentínicos de Sabanilla, Mayarí Arriba, Oriente, revista Tecnológica, Vol. 12, No.4, 1975.
3. KULACHKOV, L.V. y C.A. LEYVA: Informe sobre los resultados de los trabajos de reconocimiento geológico para cuarzo filoneo en la parte oriental de Cuba en los años 1989-1990. ISMM, Moa, 1990.
4. Mapa de Yacimientos Minerales de Cuba, La Habana, 1963.
5. Mapa de Yacimientos y Manifestaciones No Metálicas y Combustibles de la República de Cuba, 1988.
6. SOMIN, M.L. y G. MILLAN: Geologia metamorficheskij Komplexoz Cubi. Ed. Nauca, Moscú, 1981, (en ruso).



**ACERO  
PARA EL DESARROLLO  
ENTRE EN CONTACTO  
CON NOSOTROS**

EMPRESA IMPORTADORA  
DE METALES, COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES

**STEEL  
FOR DEVELOPMENT  
GET IN TOUCH  
WITH US**

METAL, FUEL AND LUBRICANTS  
IMPORTING ENTERPRISE

## VALORACION MINERALOGICA ECONOMICA DEL MATERIAL DE RECHAZO DE LA PLANTA DE PREPARACION DE PULPA DEL YACIMIENTO MOA

Ing. Arturo Rojas Purón  
Ing. Alain Carballo Peña

Instituto Superior Minero Metalúrgico

**RESUMEN:** Se valora mineralógicamente el material que constituye el rechazo actual de la planta de preparación de pulpa de la industria Pedro Sotillo Alba, el cual está formado por óxidos e hidróxidos de Fe (goethita), además de silicatos de Mg (lizardita) e hidróxidos de Al (gibbsita), su granulometría es de un 60 % de partículas menores que 0,83 mm, lo que expresa que existen ciertas pérdidas durante el proceso de lavado y preparación de la pulpa limonítica.

Del análisis técnico económico se establece que para un año de trabajo, se han ocasionado pérdidas de un 12 % por ineficiencias en el proceso de lavado de la planta de preparación de pulpa, lo que representa un costo de 944 957,46 pesos por año.

**ABSTRACT:** The waste material from the pulp preparation plant of Pedro Sotillo Alba is mineralogically valorated. This material is composed of iron oxide and hydroxide (goethite), magnesium silicate (lizardite) and aluminium hydroxide (gibbsite). A 60 % of particles of less than 0,83 mm show that there is a loss during the pulp preparation process and this implies a cost of \$ 944 957,46 per year.

#### INTRODUCCION

Uno de los problemas que afecta a la industria Pedro Sotillo Alba se localiza en la etapa de preparación de muestras, en este proceso se debe garantizar el material idóneo para la posterior lixiviación ácida a presión y obtener un contenido de sulfuro de Ni y Co comerciable. Se ha detectado que en el material de rechazo de esta planta existen partículas con tamaños menores de 0,83 mm, lo que evidencia cierta ineficiencia en las operaciones con dicho material.

El trabajo trata de proporcionar nuevos datos que ayuden a esclarecer y den una solución más acabada a la problemática de la preparación de pulpa, tomando como base un enfoque mineralógico y valorando económicamente las pérdidas ocasionadas por una ineficiente preparación de pulpa, en esta dirección no se han realizado muchos trabajos, pues los estudios hechos por Hernández Gil, Montalvo Pérez y Stevenson poseen un carácter puramente metalúrgico.

#### Materiales y métodos de investigación utilizados

Para determinar las características del material de rechazo y el que se alimenta a la planta de preparación de pulpa, y teniendo en cuenta el proceso tecnológico de dicha planta se determinaron dos puntos de muestreo fundamentales:

- alimentación de las bandas transportadoras
- transportador colector de rechazo.

Esto garantiza la obtención de muestras del material alimentado y su correspondiente rechazo, válidos para

evaluar la efectividad del proceso de preparación de pulpa.

El muestreo se realizó de forma manual, en total se tomaron 38 muestras: 19 del material alimentado (AE) y 19 del rechazo (RM) descritas por [3].

Las muestras fueron estudiadas mediante:

1. Análisis Granulométrico
2. Análisis Químico
3. Análisis Mineralógico utilizando difracción de rayos-X

#### Análisis granulométrico

Uno de los requisitos establecidos para obtener el rechazo a partir del material alimentado, es precisamente la granulometría del mismo, considerándose como rechazo a todos aquellos granos de tamaño mayor que 0,83 mm; por lo que el conocimiento de la granulometría del rechazo permite evaluar la eficiencia del proceso de preparación de pulpa ya recomendado por [7].

Las separaciones granulométricas se realizaron por vía húmeda, obteniéndose las siguientes clases granulométricas:

- f.1: > 1,4 mm
- f.2: < 1,4 > 0,4 mm
- f.3: < 0,4 > 0,1 mm
- f.4: < 0,1 > 0,08 mm
- f.5: < 0,08 > 0,056 mm
- f.6: < 0,056 mm

Los resultados de la separación se exponen en la siguiente tabla.

**TABLA 1. Resultados de las Separaciones Granulométricas.**

Muestras	% en peso de las fracciones de muestras					
	f.1	f.2	f.3	f.4	f.5	f.6
Material alimentado	8.79	4.09	6.01	1.89	1.87	77.32
Material de rechazo	92.82	8.99	4.64	1.27	1.28	51.00

Los resultados granulométricos presentan aspectos significativos, pues tanto el material de alimentación como el rechazo están compuestos fundamentalmente por partí-

**Análisis químico**

La composición química se determinó empleando técnicas de Espectroscopía de Absorción Atómica en los laboratorios de la planta Pedro Sotro Alba. En el tratamiento

culas de granos finos (menores de 56 micrones). El material de rechazo contiene granos de tamaño menor que 0,83 mm, representando casi el 60 % del peso de la muestra (58,19 %). Esta fracción fina no debe aparecer en un por ciento tan elevado ya que ella debe estar formando parte de la pulpa producto, hecho que permite señalar que la eficiencia del proceso de preparación de pulpa no es buena o se cometen infracciones en cuanto a los parámetros normales de operación de la planta.

de estas muestras se empleó el método de cuarteo de Johns, según [2] para estos ensayos.

**TABLA 2. Resultados de los análisis químicos del material de alimentación y rechazo.**

Muestra	Contenido en %							
	Ni	Co	Fe	Mg	Mn	Cr	Al	SiO <sub>2</sub>
Material alimentado	1.18	0.12	44.46	1.07	0.64	1.59	5.14	5.71
Material de rechazo	1.04	0.11	39.45	2.58	0.81	1.63	6.24	7.49

La composición química fundamental del material alimentado y del rechazo son más o menos parecidas. Ambos materiales son ricos en hierro (fundamentalmente el alimentado), además poseen contenidos significativos de sílice.

El material alimentado es en un 5 % más rico en hierro que el rechazo, y éste por su parte es más rico en sílice, magnesio y alúmina, aunque las diferencias entre ambos no sobrepasan el 2 %. El níquel se encuentra en concentraciones por encima del 1 % y el cobalto entre un 0,11 y un 0,12 % tanto en el rechazo como en el material alimentado.

Para el níquel se introdujo un indicador E, [3], para conocer la desproporción existente entre los contenidos de Ni del material alimentado y el rechazo, de forma que:

$$E = Cae - Crm$$

donde:

Cae - contenido de Ni del material alimentado  
Crm - contenido de Ni del rechazo

En la siguiente tabla se muestran los valores de este indicador

**TABLA 3. Valores del indicador E, según material alimentado y rechazo.**

Valor E (promediado)	Frecuencia de ocurrencia (en %)
+ 0.03	33
+ 0.13	33
+ 0.25	20
+ 0.40	14

$$E = Cae - Crm$$

Según los resultados de E. Matos, el valor del indicador dió positivo, lo que quiere decir que el material alimentado contiene más níquel que su correspondiente rechazo.

**TABLA 4. Resultados de los análisis químicos a las fracciones granulométricas del rechazo.**

Fracciones granulométricas	Contenido en %			
	Ni	Co	Fe	Mg
f.1	0.73	0.052	27.6	7.25
f.2	0.74	0.286	24.3	3.68
f.3	1.02	0.419	19.9	3.55
f.4	1.19	0.316	26.1	3.04
f.5	1.01	0.259	29.7	2.55
f.6	1.30	0.089	47.8	1.07

Se observa una cierta correlación entre algunos elementos como son:

- a) Ni-Fe
- b) Co-Mn
- c) Mg-SiO
- d) Co-Mg

En los tres primeros casos se cumple que siempre que aumenta el contenido de un elemento, aumenta el contenido del otro (dependencia directa), es decir, que las concentraciones de Ni están relacionadas con fases o componentes ferrosos, las de Co con fases de Mn (es decir,

lanas) y la afinidad del Mg-SiO está relacionada con la presencia de silicatos de Mg, minerales del grupo de la serpentina, ya detectados por difracción de rayos-X.

La nota inversa la porta el par Co-Mg, que al aumentar uno disminuye el otro pero la causa de esto no está clara aún, tal vez confirma la idea de que los únicos portadores de Co son los óxidos e hidróxidos de Mn.

**Análisis mineralógico**

El estudio mineralógico se realizó mediante técnicas de difracción de rayos-X, utilizando un goniómetro de tipo HZG-4, de procedencia alemana, y un generador de alto voltaje TUR-M 62, con un régimen de trabajo de 40 kV y 30 mA. La radiación utilizada fué de Co K $\alpha$ .

Tomando en consideración que la concentración de determinados elementos como el Ni y el Fe ocurre en la fracción más fina, al mejorar el proceso de cribado del material se mejora la calidad de la pulpa, y se evita que pase al rechazo cierta cantidad de Ni contenida en estas partículas finas.

Los resultados de estos análisis se exponen en las tablas 5 y 6 para el material alimentado y para el rechazo respectivamente.

**TABLA 5. Resultados de los análisis por difracción de rayos-X a muestras del material alimentado.**

1		2		3		4		5		6		Fases minerales
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	
14.07	11											Cl.
7.29	55	7.28	55	7.23	15	7.24	16	7.28	29	7.18	47	L.
4.81	84	4.84	100	4.85	86	4.84	6	4.83	45	4.81	79	Hi.
		4.73	10	4.73	10	4.73	10					Cl.
						4.38	10					Hi.
4.14	100	4.18	93	4.18	100	4.16	100	4.18	100	4.15	100	G.
3.64	26	3.67	28					3.62	12			L.
3.55	13									3.59	20	Cl.
3.35	11	3.33	19	3.37	15	3.34	20	3.35	10	3.33	12	Hi, Q.
2.95	20	2.95	28	2.95	25	2.95	16	2.95	14	2.94	22	M.
2.68	53	2.68	47	2.68	42	2.68	41	2.69	43	2.68	41	H, G.
2.57	11	2.57	11	2.56	11	2.57	11	2.57	10	2.55	14	G.
2.50	84	2.51	82	2.50	67	2.51	75	2.51	64	2.50	93	M, Mh.
2.43	75	2.44	69	2.44	71	2.44	75	2.44	72	2.49	72	G, M, Hi.
2.24	22	2.24	21	2.24	23	2.24	27	2.24	14	2.23	22	G, Q.
2.29	26	2.19	26	2.18	26	2.18	20	2.19	14	2.18	25	G, H, L.
2.08	17	2.08	15	2.08	11	2.08	10	2.08	14	2.08	14	M, H, Mh.
2.04	11	2.04	8	2.04	7	2.04	14	2.04	10	2.04	10	M, Mh.
1.83	15			1.83	5							H.
1.79	17					1.79	8	1.79	8	1.78	6	Q, Cl, L.
1.70	35			1.70	32	1.71	8	1.71	27	1.71	27	G, M, Mh.
								1.65	14			
1.60	17			1.60	19	1.60	14	1.60	14	1.60	20	M, Mh.
1.55	22			1.55	13	1.54	10	1.55	16	1.55	12	G, Q, Cl.

Observaciones:

Material alimentado:

- 1. Muestra (AE-B-13/4).
- 2. Muestra (AE-B-15/4).
- 3. Muestra (AE-B-17/4).
- 4. Muestra (AE-C-21/4).
- 5. Muestra (AE-B-22/4).

- 6. Muestra (AE-B-23/4).
- Mineral:
- Cl: Clorita.
- Q: Cuarzo.
- M: Magnetita.

- L: Lizardita.
- Hi: Hidrargilita.
- G: Goethita.
- H: Hematita.
- Mh: Maghemita.

La composición mineralógica del material alimentado es fundamentalmente óxidos e hidróxidos de hierro representada por las fases de goethita, magnetita (maghemita) y hematita. La goethita es la más abundante en casi todas las muestras, detectable según los reflejos difractométricos 4,18 - 4,14 Å<sup>o</sup>; 2,43 - 2,44 Å<sup>o</sup> y 2,18 - 2,19 Å<sup>o</sup>, en tanto que la magnetita presenta: 2,50 - 2,51 Å<sup>o</sup>; 2,98 Å<sup>o</sup> y 2,08 Å<sup>o</sup> y la hematita, 2,68 Å<sup>o</sup>; 2,08 Å<sup>o</sup> y 1,83 Å<sup>o</sup>. Además es significativa la presencia de silicatos de magnesio como la lizardita y fases de cloritas en algunas muestras que están en cantidades apreciables, pero siempre por debajo de los óxidos ferrosos. Por otra parte la fase hidrargilita se detectó

en todas las muestras del material alimentado, en cantidades variables. Todo esto se corresponde con los resultados obtenidos por Ostroumov et al. en 1985, en muestras de la mina del mismo yacimiento.

El material de rechazo está formado mineralógicamente por:

- 1. Fases de silicatos de Mg: lizardita y clorita
- 2. Fases de óxidos e hidróxidos de Fe: goethita
- 3. Fases de hidróxidos de Al: gibbsita

Estas fases se encuentran en cantidades variables en las diferentes muestras. Llaman la atención la abundancia de gibbsita, lo que indica un enriquecimiento de aluminio,

provocado por el proceso de tamización a una granulometría mayor que 0,083 mm; además la goethita está presente como mineral principal en algunas muestras, lo

que evidencia que en ocasiones no ha existido una buena preparación de las muestras, pues la presencia de goethita como mineral principal en el rechazo no está justificada.

Tabla 2. Resultados de los análisis de rayos-X a las muestras del rechazo del yacimiento Moa.

1		2		3		4		5		6		Fases minerales
d	l	d	l	d	l	d	l	d	l	d	l	
4.16	100	7.28	7	4.84	100	7.29	60	7.25	75	7.29	100	L.
		4.84	100	4.73	5	4.84	92	4.84	100	4.84	94	Hi.
		4.73	5	4.73	11	4.73	20	4.73		4.73	37	Cl.
		4.35	13	4.35	22	4.35	10	4.37		4.37	27	Hi.
		4.18	29	4.13	94	4.16	100	4.24	75	4.16	91	G.
				3.66	8	3.64	35	3.63	26	3.62	54	L.
										3.56	37	Cl.
3.37	14	3.33	5	3.35	8	3.34	32	3.34	15	3.35	16	Q, Hi.
2.95	22	2.95	4	2.95	8	2.95	17	2.94	13	2.95	16	M, Mh.
2.69	44	2.69	11	2.69	45	2.69	55	2.69	42	2.69	54	H, G.
2.57	20			2.56	11	2.57	17	2.57	11			G, Cl.
2.51	66	2.51	18	2.51	54	2.51	82	2.51	76	2.51	67	M, Mh.
2.44	76	2.44	18	2.43	67	2.44	75	2.44	51	2.44	70	G.
2.23	30	2.24	6	2.23	16	2.23	27	2.24	19	2.23	27	G, Q.
2.19	30	2.19	8	2.18	25	2.18	27	2.19	19	2.19	27	G, H, L.
2.08	16	2.08	3	2.08	10	2.08	37	2.08	13			M, H, Mh.
2.05	12	2.04	6	2.04	15			2.04	13			M, Mh, Hi.
1.83	8							1.84	5			H.
1.79	12	1.80	5	1.78	8			1.80	5			Q, Hi, L.
1.71	36	1.70	9	1.70	28	1.71	30	1.70	23	1.69	32	G, M, Mh.
1.60	16			1.60	11	1.60	12	1.60	9	1.60	8	M, Mh.
1.55	16			1.55	15	1.55	10	1.55	5			G, Q.

#### Observaciones:

##### Material alimentado:

1. Muestra (RM-B-13/4).
2. Muestra (RM-B-15/4).
3. Muestra (RM-B-17/4).
4. Muestra (RM-C-21/4).
5. Muestra (RM-B-22/4).

##### 6. Muestra (RM-B-23/4).

- Mineral:  
Cl: Clorita.  
L: Lizardita.  
Hi: Hidrargilita.

- G: Goethita.  
H: Hematita.  
M: Magnetita.  
Q: Cuarzo.  
Mh: Maghemita.

Como fases secundarias en el rechazo aparecen:

1. Fases de óxidos de Fe: magnetita, hematita, maghemita.
2. Sílice: cuarzo.
3. Fases de silicatos de Mg: clorita.

Entre estas fases las más abundantes son la magnetita y la hematita que se presentan en cantidades significativas y poseen un cuadro difractométrico bien definido.

La composición mineralógica tanto del material de rechazo como del alimentado es básicamente la misma y como se observa de su quimismo, los componentes fun-

damentales son los óxidos de hidróxidos de Fe, representados por la goethita, magnetita y hematita; además son significativos los contenidos de sílice (cuarzo), lizardita, clorita y alúmina (gibbsita).

Las diferencias están dadas por el predominio en el rechazo de las fases de silicatos de Mg: lizardita y clorita que llegan a ser fases principales y es notable la fase de gibbsita, explicando así el ligero aumento del contenido de Al que posee con relación al material alimentado (ver tabla 2).

#### Cálculo técnico-económico

En el análisis técnico-económico de este trabajo, se valoraron los resultados obtenidos por Hernández Gil en 1981 [1], Montalvo Pérez en 1982 [4], Muñiz M. en 1989 [5] y Stevenson en 1982 [8]; los cuales están relacionados con el proceso de preparación de pulpa de la planta Pedro Sotillo Alba. Los aspectos establecidos para el cálculo son:

- a) Las pérdidas económicas anuales ocasionadas por el proceso de lavado en planta de pulpa (237 134.55 t), para el material con granulometría menor que 0,083 mm y que es rechazado del material alimentado, constitu-

yendo un 12 % del mismo, representa un costo (C1) de 944 957.46 pesos por año.

- b) Las pérdidas proyectadas anualmente por el volumen de mineral alimentado y el rechazado por tener una granulometría mayor que 0,083 mm constituyen el 8,29 % del total alimentado y representa un costo (Cp) de 629 971.64 pesos por año.
- c) El efecto económico anual (E1) por la utilización del material rechazado por insuficiencia del proceso de lavado es de 7 314 077.9 pesos por año.

#### CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. La granulometría del material de rechazo de la planta de preparación de pulpa está compuesto en un 60 % por partículas menores que 0,083 mm, o sea, que del material alimentado el 12,42 % se pierde por insuficiencias tecnológicas y organizativas del proceso de lavado. El volumen de la granulometría mayor que 0,083 mm (que representa el 8,28 % del total alimentado) ocasiona un costo de 629 971.64 pesos por año.
2. La composición química del material de rechazo y el alimentado es básicamente la misma, dichos materiales son ricos en óxidos e hidróxidos de hierro, silicatos de magnesio, sílice y alúmina.
3. Se detectó cierta desproporción entre el contenido de níquel del material alimentado y su rechazo, las diferencias toman valores de 0,03 a 0,013 con un 33 % de frecuencia de ocurrencia a favor del material alimentado.
4. La composición mineralógica del material alimentado y el rechazo es básicamente la misma, compuesta fun-

damentalmente por goethita, lizardita y gibbsita, y secundariamente por magnetita, hematita, clorita, cuarzo y maghemita. La diferencia está dada por un mayor contenido de la fase serpentínica en el rechazo, que llega a ser principal y además se incrementa la fase gibbsita en este material.

5. La abundancia de la fase goethítica en el material de rechazo es un índice de una mala preparación de la pulpa, pues este material es afín a una granulometría más fina.
6. Tomando como base el mineral minado en el año 1988 (1 908 374 t), se pudo determinar que 237 134.55 t del mismo (un 12 %), constituyeron pérdidas en el proceso de lavado, lo que representa económicamente un costo de 944 957.46 pesos por año.
7. El incremento de la producción anual de Ni + Co por la eliminación de las pérdidas en el proceso en la planta de pulpa es de 3 162.1608 t de Ni + Co por año, lo que representa un efecto económico anual de 7 314 077.9 pesos.

#### BIBLIOGRAFIA

1. HERNANDEZ GIL, M. y M. LU JACAS: "Estudio de las condiciones de lavado del mineral crudo en la planta de preparación de pulpa". Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, 1981.
2. LEPIN, O.V. y J.A. ARIOSA: Búsqueda, Exploración y Evaluación Geólogo-Económica de Yacimientos Minerales Sólidos. Primera Parte. Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 1986.
3. MATOS MATOS, E.: "Análisis de la potencialidad menifera del rechazo de la planta de pulpa del yacimiento Moa". Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, 1990.
4. MONTALVO PEREZ, R.M.: "Estudio de las limitaciones del sistema de reducción del equipo para el lavado de pulpa de la Empresa Pedro Sotillo Alba". Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, 1982.
5. MUÑIZ, M.N.: "Valoración geólogo industrial del Yacimiento Moa Oriental". Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, 1989.
6. OSTROUMOV, M.; A. ROJAS PURON y C. SANCHEZ: "Estudio de la composición mineralógica de las lateritas de Moa por el método de difracción de rayos X", revista Minería y Geología, No.1, 1985.
7. PONCE, N. et al: "Posible influencia de la composición mineralógica en la sedimentación de la pulpa cruda de Moa", revista Minería y Geología, No. 3, 1983.
8. STEVENSON, N.: "Estudio de los parámetros fundamentales óptimos de operación de la planta de preparación de pulpa a altas capacidades". Trabajo de Diploma, ISMM, Moa, 1982.

#### BREVES

La revista "Minería y Geología" del Instituto Superior Minero Metalúrgico, solicita a todas las sociedades e instituciones relacionadas con la geología, minería y metalurgia que con el objetivo de aunar y dar a conocer sobre estas especialidades nos envíen para su publicación:

- Congresos, reuniones, seminarios y cursos que se efectúen a partir de 1993.
- Programas de índole científico-técnica en las especialidades antes mencionadas.

Envíe su correspondencia a:

Marta Saco Leyva  
Redacción Revista Minería y Geología  
Edif. 2 Apto.16  
Rolo Monterrey, Moa 83300  
Holguín, CUBA.

