

Evaluación a escala de laboratorio para la obtención directa de pulpas de alto % de sólido a partir de una muestra de mineral laterítico del yacimiento Camarioca Norte



<https://cu-id.com/2144/v17e10>

Laboratory-scale evaluation for the direct obtaining of high % solids slurries from a lateritic ore sample from the Camarioca Norte deposit

[✉]Rubén Aja Muñiz*, José Castellanos Suárez, [✉]Emilio Montejo Serrano, [✉]Yaysel Lozada García

RESUMEN: En este trabajo tiene como objetivo evaluar a escala de laboratorio para la obtención de pulpas mediante la tecnología convencional empleada en la Empresa Moa Nickel S.A. y aplicando la tecnología de preparación directa de pulpas desarrollada por el CIPIMM. La investigación se desarrolló utilizando la muestra de mineral del yacimiento Camarioca Norte enviada por la Empresa. Los ensayos de laboratorio de sedimentación convencional de la pulpa de los minerales de Camarioca Norte reportaron, como se esperaba, un 38- 40 % de sólidos, similar a los resultados obtenidos en trabajos anteriores. Dichos minerales, al igual que los procedentes del yacimiento Camarioca Sur, se caracterizan, de acuerdo a investigaciones anteriores, por una baja compactación durante el proceso de sedimentación, lo que dificulta la obtención de pulpas con alto contenido de sólidos. Adicionalmente las pulpas obtenidas tienen una elevada viscosidad, lo que dificulta en la industria su bombeo a la planta de lixiviación. Los ensayos a escala de laboratorio se logran obtener pulpas con 44 -48 % de sólidos, con una viscosidad típica de 60-180Pa', y una alta recuperación de limonita, para lo que se emplearon aditivos diferentes.

Palabras clave: tecnología de preparación directa de pulpa con alto % de sólidos, laterita, Camarioca Norte.

ABSTRACT: This work aims to evaluate, on a laboratory scale, the production of slurries using the conventional technology employed at Moa Nickel S.A. and by applying the direct slurry preparation technology developed by CIPIMM. The research was carried out using a mineral sample from the Camarioca Norte deposit sent by the company. Laboratory tests of conventional sedimentation of the Camarioca Norte mineral slurry reported, as expected, 38-40% solids, similar to the results obtained in previous studies. These minerals, like those from the Camarioca Sur deposit, are characterized, according to previous research, by low compaction during the sedimentation process, which makes it difficult to obtain slurries with high solid content. Additionally, the slurries obtained have a high viscosity, which makes pumping them to the leaching plant difficult in the industry. Laboratory-scale trials were able to produce pulps with 44-48% solids, a typical viscosity of 60-180 Pa·s, and a high limonite recovery, for which different additives were used.

Keywords: direct pulp preparation technology with a high % of solids, laterite, Camarioca Norte.

INTRODUCCIÓN

La planta de producción de sulfuros mixtos de níquel y cobalto de la Empresa Moa Nickel, opera en un nuevo escenario tecnológico, donde los minerales de los yacimientos que procesa (Moa Oriental, Camarioca Norte y otros yacimientos) se diferencian de aquellos para los cuales fue diseñada la instalación, con alto impacto en diversas etapas del proceso tecnológico.

El CIPIMM ha desarrollado una tecnología que permite la obtención directa de pulpas de elevado contenido de sólidos y baja viscosidad. Por acuerdo con la Empresa Moa Nickel, se realiza una investigación a escala piloto para la evaluación de los minerales de Camarioca Norte por la tecnología de preparación directa de pulpa con alto % sólido.

La tecnología de preparación directa de pulpas minerales de alto % de sólidos, fue probada con éxitos en minerales oxidados de níquel de yacimientos

Recibido: 15/06/2025

Aprobado en su forma original: 12/12/2025

Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica (CIPIMM) Carretera Varona No. 12028, km 1 ½, Boyeros, La Habana, Cuba. E-mail: montejo@cipimm.minem.cu; yaysel@cipimm.minem.cu

*Autor para correspondencia: aja@cipimm.minem.cu

Conflicto de Intereses: Los autores de este trabajo declaran que no existe conflicto de intereses.

Contribuciones de los autores: **Investigación:** Rubén Aja Muñiz, José Castellanos Suárez, Emilio Montejo Serrano, Yaysel Lozada García. **Metodología:** Rubén Aja Muñiz, José Castellanos Suárez, Emilio Montejo Serrano, Yaysel Lozada García, **Análisis formal:** Rubén Aja Muñiz y Yaysel Lozada García. **Redacción - primera redacción:** Rubén Aja Muñiz. **Redacción - revisión y edición:** Rubén Aja Muñiz.

Artículo bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) (CC BY-NC 4.0)

con problemas similares a los que se presentan hoy en la Planta de Moa Nickel, entre los que podemos mencionar los minerales del yacimiento San Felipe, de Murrin Murrin (Australia) y los minerales de la propia región de Moa (Camarioca Norte y Sur, Moa Oriental, Zona A, etc.).

La tecnología desarrollada emplea aditivos que favorecen el proceso de desagregación (separación de la limonita del rechazo) y cambian drásticamente las propiedades reológicas de las pulpas obtenidas, bajando significativamente su viscosidad, en comparación con el proceso de sedimentación convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la muestra

La muestra enviada, de aproximadamente 3 t de peso húmedo de Camarioca Norte (área 15), embalada en tres Big Bag. La humedad de la muestra fue de un 36.0 %.

Para la extracción de las muestras a utilizar en las pruebas se empleó un tubo de toma muestra de 1.016 m de largo y 0.059 m de diámetro. En la figura No. 1 se muestra el aditamento empleado para la toma de muestras.



Figura 1. Imagen del aditamento empleado para la toma de las muestras

Se extrajeron 30 kg de mineral por Big Bag, la preparación de esta muestra para la caracterización química, mineralógica y para la realización de las pruebas laboratorio se describe a continuación:

Los 30 kg de mineral extraído del Big Bag 1 se tamizaron por un tamiz de 25 mm. La fracción +25 mm se desmenuzó con la mano, pasando todo el mineral por el tamiz. La muestra - 25 mm húmeda se homogenizó por el método del cono dándole solo tres pases. Esa muestra se dividió en 6 conos de 5 kg, de ellos se unieron 3 (para las pruebas de laboratorio), los tres restantes se guardaron por separado, uno para realizar la caracterización química de la muestra por Big Bag y dos para mezclar con los dos que se obtengan de los otros Big Bags. Las muestras mezcladas (1-1-1)

se homogenizó y cuarteó hasta obtener seis muestras de 5 kg, dos de ellas para caracterización química y análisis granulométrico y el resto para las pruebas de laboratorio. En total se obtuvieron cuatro muestras: Muestra Big Bag 1, Big Bag 2, Big Bag 3 y Big Bag 1-2-3, esta mezcla con el objetivo de comprobar la homogeneidad de la muestra. Las muestras se envasaron enseguida en sobres de nylon y se cerraron herméticamente para conservar la humedad. En la figura No. 2 se expone el esquema de preparación de muestra para análisis.

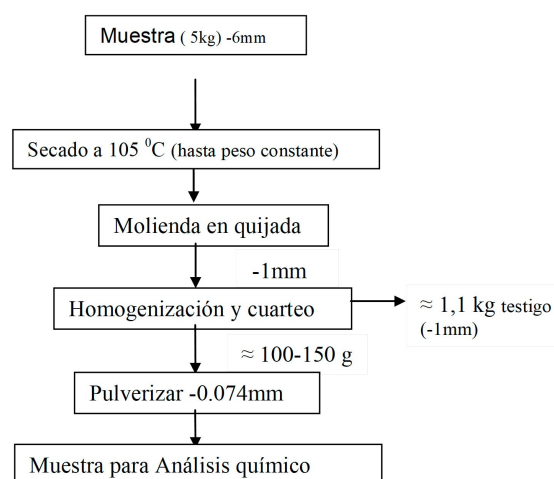


Figura 2. Esquema de preparación de muestra para análisis químico y humedad

Caracterización química

La caracterización química del mineral se realizó según los procedimientos establecidos en la UEB Caracterización de Materiales del CIPIMM y que se recogen en el Manual de Procedimientos de su Sistema de Calidad, y que en este caso son los procedimientos DCM-PT-09-001, DCM-PT-09-002 y DCM-PT-07-001.

Análisis mineralógico

Se determinó la composición sustancial de una muestra de mineral niquelífero de Camarioca Norte, mediante el empleo de microscopía óptica, DRX y SEM. El estudio mineralógico se realizó a la muestra homogénea molina (-1mm), a la que se le realizó el análisis granulométrico por vía húmeda utilizando 5 tamices desde +1.0 mm hasta +0.074 mm.

Pruebas de preparación de pulpa

El tambor es cargado con la cantidad de agua requerida para obtener el % de sólido deseado, a continuación, se adicionaba el aditivo y seguidamente el mineral era triturado bajo 25 mm.

Terminado el ensayo, se extrae la pulpa producto, clasificándola bajo 1 mm. A la pulpa producto se le determinó el % de sólidos por secado y la viscosidad. A la fracción +1mm se le realizó un tamizado por vía húmeda. En la figura 3, se muestra el esquema de preparación de pulpa.

Equipos utilizados a nivel de laboratorio

- Sistema motriz de rodillos de velocidad variable y opcional con sistema de calentamiento Figura (4).
- Tambor rotatorio. Características: Largo - 230 mm; Diámetro - 210 mm. En dependencia de los aditamentos que se emplee, puede funcionar como molino de bolas, de barras o tambor desagregador.
- Equipo ROT TAP para la clasificación mediante tamices.



Figura 4. Sistema de laboratorio para preparación de pulpas

La Tabla 1 muestra los resultados de las muestras individuales extraídas de cada Big Bag, así como de la muestra de la mezcla de todos los Big Bags en proporción 1-1-1, apreciándose una similitud en los resultados de los elementos químicos que se evaluaron, y por consiguiente, se puede afirmar que existe cierta homogeneidad en la muestra bajo estudio. La humedad de la muestra se mantuvo en el orden de 36%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización Química

Los resultados de la caracterización química de la muestra de Camarioca Norte fueron los siguientes:

Caracterización mineralógica

La muestra del Sector Camarioca Norte tiene en su composición un predominio de los óxidos e hidróxidos de Fe, fundamentalmente en las fases Limonita-Goethita, esta mezcla depende del porciento de material

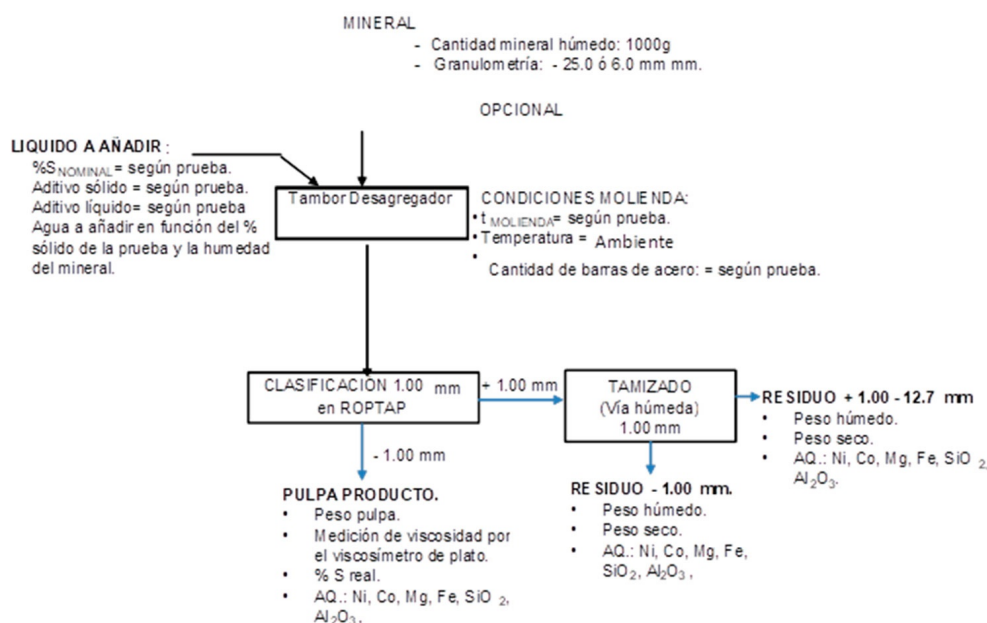


Figura 3. Esquema de preparación de pulpas con altos % de sólidos

Tabla 1. Caracterización química de la muestra

Muestras	Composición Química (%)										
	Ni	Co	Fe	Mg	Al	Cu	Zn	Mn	Cr	SiO ₂	Humedad %
Big Bag 1	0.99	0.088	39.38	2.22	5.52						
Big Bag 2	0.98	0.103	40.53	1.89	5.38						
Big Bag 3	0.96	0.086	38.61	2.24	5.70						
Big Bag1-2-3 (Mezcla 1-1-1)	0.97	0.095	39.70	2.10	5.84	0.022	0.64	0.54	1.64	4.09	36.0

arcilloso (Montmorillonita, clorita, talco) con agua que se encuentra en la misma. También observamos hematita y otros óxidos con características amorfas. Se comprobó además la presencia de serpentina, aluminosilicatos y silicatos como, micas (moscovita), cuarzo, pirolusita, asimismo se identificó la presencia de piroxeno, mineral primario de la fase serpentina.

Pruebas de laboratorio

Las pruebas de preparación de pulpas y de sedimentación a escala de laboratorio se ejecutaron empleando los procedimientos del CIPIMM para estos tipos de trabajo y han sido empleados con éxito en investigaciones anteriores con minerales de los yacimientos de la región de Moa (Camarioca Norte y Sur, Moa Oriental y otros) y del yacimiento “San Felipe”.

Los resultados de la sedimentación a escala de laboratorio con una pulpa preparada entre 20-25 % de sólido se reportan en la **Figura No. 5**.

La pulpa se preparó a las siguientes condiciones:

- Tiempo de desagregación: 15 min.
- Cantidad de elementos de desagregación: 1
- Peso de mineral húmedo: 1 kg.
- % de humedad: 36 %.

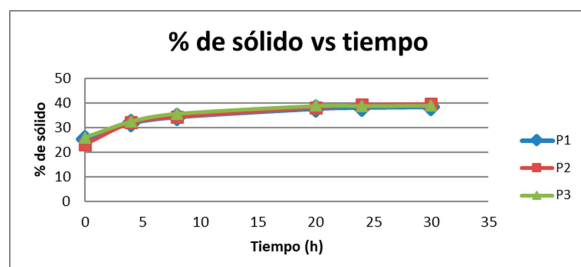


Figura 5. Resultados de las pruebas de sedimentación de las pulpas preparadas entre 20 - 25 % de sólido

En la **Figura 5** se aprecia que en las pruebas de sedimentación se alcanzan % de sólidos finales entre 38 y 40 % en un tiempo de 30 horas. O sea, valores de % de sólido similares a los alcanzados en la planta actualmente.

En el laboratorio se realizaron los ensayos con el uso de aditivo con el objetivo de corroborar los resultados alcanzados en investigaciones anteriores.

Las condiciones de la prueba estándar utilizada fueron:

- Tambor de desagregación - 12 cm de diámetro.
- Tiempo de desagregación - 15, 20 y 25 min.
- Cantidad de elementos de desagregación - 1
- Peso de mineral húmedo - 1 kg.

Los resultados de las pruebas de preparación directa de pulpa empleando el aditivo A se exponen en la **Tabla 3**.

Tabla 3.1. Resultados Rechazo

REND (%)	RECHAZO + 1.0 mm			
	CONTENIDO (%)		RECUPERACIÓN (%)	
	Ni	Co	Ni	Co
4,17	0,48	0,094	2,06	4,13
4,98	0,40	0,076	2,03	3,98
5,74	0,32	0,087	1,87	5,26

Los resultados de la **Tabla 3**, en las condiciones estudiadas, reportaron un aumento del % de sólido hasta un 47% con una viscosidad entre 45 a 155 Pa en función del tiempo de desagregación, similares a ensayos anteriores reportados en otros trabajos (*Castellanos et al., 2005*), (*Montejo et al., 2004a*, *Montejo et al., 2007b*). Posteriormente se realizaron pruebas para estudiar el efecto de otros aditivos. Los resultados se muestran en la **Tabla 4**.

Los resultados alcanzados en las pruebas de laboratorio de preparación de pulpa con alto % de sólido utilizando diferentes aditivos (A, B y D), fueron similares a los resultados de las pruebas a escala semi industrial. Como se observa en la **Tabla No.4**, independientemente del tipo de aditivo se produce una pulpa con alto % de sólido (45,7 a 47,6 % de sólido) con una viscosidad típica de 0 - 180 Pa, a escala de laboratorio.

Es importante resaltar que la recuperación de la limonita en la pulpa producto (como promedio) fue de 97,3 % y el incremento del Ni en la pulpa fue 1.03 veces.

Tabla 3. Resultados de las pruebas de preparación directa de pulpa empleando el aditivo A

Prueba No	ADITIVO	Tiempo Desegregación (min)	ALIMENTACIÓN			PULPA PRODUCTO - 1.0 mm						
			Peso (Base seca) (g)	CONTENIDO (%)		REND (%)	% S	B.Y.S. (Pa)	CONTENIDO (%)		RECUPERACIÓN (%)	
				Ni	Co				Ni	Co	Ni	Co
1	A(1,5)	15	640	0,98	0,095	95,83	44,8	45	1,00	0,095	97,8	95,8
2	A(1,5)	20	640	0,98	0,095	95,02	46,7	105	1,01	0,096	97,9	96,0
3	A(1,5)	25	640	0,98	0,095	94,26	47	155	1,02	0,096	98,1	94,8

Tabla 4. Resultados alcanzados en las pruebas de preparación directa de pulpa con los aditivos A, B y D

Prueba No	ADITIVO	DOSIF		ALIMENTACIÓN				PULPA PRODUCTO - 1.0 mm								
		ADIT. (kg/t (Masa seca)	Peso (Base seca) (g)	HUM. (%)	CONTENIDO (%)			REND (%)	% S	B.Y.S. (Pa)	CONTENIDO (%)			RECUPERACIÓN (%)		
					Ni	Co	Mg				Ni	Co	Mg	Ni	Co	Mg
1	A	1,5	640	36	0,98	0,095	2,1	95,82	45,7	50	1,00	0,095	1,87	97,8	95,8	85,3
2	B	2,7	640	36	0,98	0,095	2,1	94,52	47,3	170	1,01	0,096	1,86	97,4	95,5	83,7
3	D	2	640	36	0,98	0,095	2,1	94,26	47,5	180	1,02	0,096	1,89	98,1	94,8	84,8
4	D	2	640	36	0,98	0,095	2,1	95,30	47,6	160	1,01	0,095	1,89	98,2	95,5	85,8

Tabla 4.1. Resultados de Rechazo

RECHAZO + 1.0 mm									
REND (%)	CONTENIDO (%)			RECUPERACIÓN (%)			LIMONITA (Fr. -1.00mm).		
	Ni	Co	Mg	Ni	Co	Mg	Pérdidas (%)	*PERDIDA Ni (%)	PERDIDAS Co (%)
4,18	0,52	0,093	7,39	2,22	4,09	14,71	1,78	1,03	0,42
5,48	0,46	0,078	6,22	2,57	4,50	16,23	3,93	1,41	0,68
5,74	0,33	0,087	5,59	1,93	5,26	15,29	2,23	1,62	0,29
4,70	0,36	0,092	6,35	1,73	4,55	14,21	2,01	1,18	0,31

*Pérdida de limonita con el rechazo: % del mineral (limonita+ rechazo) que entra a la Planta. Leyenda: HUM.

- Humedad. B.Y.S. - Bingham Yield Stress. REND. - Rendimiento en peso seco del sólido en cada producto.

CONCLUSIONES

1. Los ensayos de laboratorio de sedimentación convencional de la pulpa de los minerales de Camarioca Norte reportaron, como se esperaba, un 38- 40 % de sólidos.
2. Los ensayos a escala de laboratorio se logran obtener pulpas con 44 -48 % de sólidos, con una viscosidad típica de 60 - 180Pa, a escala de laboratorio.
3. Es importante resaltar que la recuperación de la limonita en la pulpa producto (como promedio) fue de 97,3 % y el incremento del Ni en la pulpa fue 1.03 veces.

BIBLIOGRAFÍA

- Castellanos, J., Montejo, E., Pérez, M. & otros. 2005. Preparación Directa de Pulpas de Altos % de Sólidos con Tecnología CIPIMM 2. Planta Semi Industrial. Reporte Técnico, La Habana: Centro de Investigaciojes para la Industria Minero Metalurgica.
- CIPIMM. 2001. Manual de Procedimientos. Análisis de minerales niquelíferos y productos de su procesamiento mediante digestión ácida y determinación final por espectroscopia de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-AES). La Habana: Centro de Investigaciojes para la Industria Minero Metalurgica.
- Hidalgo Liriano, E.2019. Estudio preliminar del comportamiento de un mineral laterítico con la tecnología de preparación directa de pulpas de alto % de sólidos con aditivos (CIPIMM 2). INFOMIN,8 (1):17-22. Available: <<http://infomin.edicionescervantes.com>, ‘Consulted: February 3, 2024“.
- Miranda López, J. & Gresesqui Medina, W. 2021.Procedimientos de mejoras en la sedimentación de las pulpas lixiviadas en la tecnología HPAL, con la identificación previa de la calidad de las menas y su aditivación. Tecnología Química, Vol.42 (No.2):401-425 Available: <<http://scielo.sld.cu>>, ‘Consulted: January 19, 2024“.
- Montejo, E., Alcalá, R., Romero, J B. & otros. 2001. Estudio Preliminar de Preparación Directa. La Habana: Centro de Investigaciojes para la Industria Minero Metalurgica.
- Montejo, E., Pérez, M. & otros. 2004. Preparación de Pulpas de Mineral Laterítico de Moa en Planta Piloto. La Habana: Centro de Investigaciojes para la Industria Minero Metalurgica.
- Montejo, E, Pérez, M. & Sánchez D. 2007. Prueba en Planta piloto de preparación directas de pulpas de alto % de solidos con minerales de Camarioca Norte y Sur. La Habana: Centro de Investigaciojes para la Industria Minero Metalurgica.