

## **Caracterización físico – química de pulpas de minerales lateríticos para el proceso de lixiviación ácida a presión de Moa**

Physical-chemical characterization of lateritic mineral mixtures and pulps for the Moa pressure acid leaching process

Deisy Cisneros-Sánchez<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8664-842X>

Pedro Luis Merencio-Guevara<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0009-0001-2018-368X>

Lilian Vidiaux-Arcia<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0515-9662>

Aurelia Viada-Estevez<sup>2</sup> <https://orcid.org/0009-0004-9941-2343>

<sup>1</sup>Centro de Investigaciones del Níquel, Holguín, Cuba

<sup>2</sup>Universidad de Moa (UMoa), Holguín, Cuba

\*Autor para la correspondencia. Correo electrónico: [pmerencio@cil.moa.minem.cu](mailto:pmerencio@cil.moa.minem.cu)

### **RESUMEN**

En la investigación se analizó la composición química y mineralógica de mezclas de minerales lateríticos con diferentes contenidos de magnesio, a partir de las cuales se conformaron las pulpas para el proceso de lixiviación ácida a presión de Moa. Las caracterizaciones químicas y mineralógicas se realizaron mediante absorción atómica y difracción por rayos X, respectivamente. Se evaluó el comportamiento de la sedimentación con el uso de aditivos y sin éstos y se analizaron las características reológicas y viscosidad de las pulpas de mineral laterítico (pulpas crudas). Las pruebas de sedimentación se realizaron observando la altura de la interfase líquido/sólido durante dos horas y el comportamiento reológico se evaluó mediante las curvas de esfuerzo cortante, a partir de las cuales se calculó la viscosidad. Los contenidos promedio de SiO<sub>2</sub>, Al, y Cr en las muestras de mineral fueron 17,5; 4,3; y 1,2 %; Se identificaron las fases mineralógicas goethita, clorita, gibssita y lizardita, en las muestras de mineral con diferentes contenidos de magnesio. Las velocidades de sedimentación de las pulpas crudas que se prepararon con minerales de 2,84 y 3,42 % de magnesio fueron iguales a 0,06 m/h. La pulpa

que se preparó con mineral de 3,42 % de magnesio, independientemente de la presencia de aditivos mostró un comportamiento reológico no newtoniano del tipo plástico real (modelo Herschel Bulkley) y la viscosidad de la misma con la presencia conjunta de los aditivos sulfato de sodio y de hierro fue igual a 0,033 Pa.s

**Palabras clave:** mineral laterítico; eología; sedimentación.

## **ABSTRACT**

The research analyzed the chemical and mineralogical composition of mixtures of lateritic minerals with different magnesium contents, from which the pulps were formed for the Moa pressure acid leaching process. Chemical and mineralogical characterizations were carried out by atomic absorption and X-ray diffraction, respectively. The sedimentation behavior was evaluated with and without the use of additives and the rheological characteristics and viscosity of the lateritic mineral pulps (raw pulps) were analyzed. The sedimentation tests were carried out by observing the height of the liquid/solid interface for two hours and the rheological behavior was evaluated using the shear stress curves, from which the viscosity was calculated. The average contents of SiO<sub>2</sub>, Al, and Cr in the mineral samples were 17,5; 4,3; and 1,2 %. The mineralogical phases goethite, chlorite, gibbsite and lizardite were identified in the mineral samples with different magnesium contents. The sedimentation rates of the raw pulps that were prepared with 2,84 and 3,42% magnesium minerals were equal to 0,06 m/h. The pulp that was prepared with 3, 42% magnesium mineral, regardless of the presence of additives, showed a non-Newtonian rheological behavior of the real plastic type (Herschel Bulkley model) and its viscosity with the joint presence of the additives sodium and iron sulfate was equal to 0,033 Pa.s.

**Keywords:** lateritic mineral; rheology, sedimentation.

Recibido: 09/12/2025

Aceptado: 23/01/2026

## **Introducción**

La tecnología de lixiviación ácida a presión (HPAL) es una de las vías más empleadas para el procesamiento de menas lateríticas que contienen níquel,

por las altas recuperaciones de níquel y cobalto que se alcanzan con su aplicación (92 a 95 %). Existen varias Plantas en el mundo que se diseñaron con la referida tecnología: Moa Nickel S.A. – Pedro Sotro Alba (PSA) (Cuba), Cawse, Bulong, Murrin Murrin y Ravensthorpe (Australia), Coral Bay Nickel Corporation, (Filipinas), Goro (Nueva Caledonia) y Ambatovy (Madagascar).<sup>(1)</sup>

El principio del proceso de lixiviación ácida a presión es la disolución del níquel y el cobalto a altas temperaturas en el agente lixivante, específicamente en ácido sulfúrico, e incluye principalmente tres pasos: preparación de pulpa, lixiviación y recuperación de níquel y cobalto de la solución lixiviada. La lixiviación se realiza a temperaturas entre 250 y 270 °C y presiones de 3,3 a 5,5 MPa. Por esta razón, requiere un alto costo de mantenimiento del equipamiento y también exige un estricto control de las condiciones del proceso.<sup>(2, 3)</sup>

En general, este proceso se lleva a cabo en un sistema con alta acidez para que las extracciones de níquel y cobalto sean superiores al 90 %, quedando de 25 a 100 g/L de ácido libre en los licores finales de la lixiviación. Con la tecnología HPAL se logran altas extracciones de níquel y cobalto, pero la misma no está diseñada para tratar menas lateríticas con contenidos de magnesio superiores a 2 %, porque aumenta el consumo de ácido sulfúrico.<sup>(2, 4)</sup>

Según estudios realizados se identifican que los valores de requerimiento de ácido oscilan entre 60 y 70 kg/t de ácido por 1 % en peso de Mg en el mineral para lograr extracciones de níquel entre 93 y 95 %.<sup>(5)</sup> En este caso, el alcance del trabajo no contempla opciones que permitan incrementar el porcentaje de magnesio en las menas que se alimentan al proceso

Los antecedentes encontrados en la bibliografía sobre el aprovechamiento del mineral serpentinitico en la empresa PSA, abordan fundamentalmente el uso del mismo para el tratamiento del licor residual (WL).<sup>(6, 7)</sup>

De acuerdo a estudios realizados, se analizó la influencia de las características mineralógicas del material limonítico en la sedimentación de la pulpa procesada en la industria "Pedro Sotro Alba", estableciéndose la dependencia de la velocidad de sedimentación con los factores: densidad, granulometría, composición química y composición mineralógica de este material.

Se concluye que la diferencia mineralógica fundamental entre los materiales de buena y mala sedimentación radica en la composición mineralógica y química de la fracción gruesa (mayor que 0,074 mm).<sup>(8)</sup>

La influencia de estos factores sobre la sedimentación hay que concebirla como un sistema, cuyos principales componentes son: granulometría-químico-mineralogía del material con que se elabora la pulpa y no como aspectos aislados, los cuales son inherentes a un mismo objeto (las limonitas) y participan en un mismo, proceso (la sedimentación).<sup>(8)</sup>

Estudios realizados en pulpas lateríticas han permitido determinar que para concentraciones inferiores al 18 % en peso de sólidos las curvas de flujo prácticamente son independientes de su composición mineralógica y exhiben un comportamiento pseudoplástico. Sin embargo, para concentraciones de alrededor de 22 hasta 45 % en peso de sólidos la viscosidad aumenta dependiendo cada vez más de la mineralogía y el comportamiento reológico adquiere propiedades plásticas, pudiendo ajustarse al modelo de Bingham, en algunos casos, o al de Bulkley–Herschel.<sup>(9)</sup>

De acuerdo con lo anterior, puede ser atractivo evaluar la posibilidad de estudiar diferentes vías que permitan lograr un mayor aprovechamiento de las menas lateríticas en el proceso de lixiviación ácida a presión de la empresa Moa Nickel S.A. – Pedro Sotó Alba (PSA), ya que en esta planta actualmente solo se procesan menas fundamentalmente limoníticas cuyos contenidos de magnesio oscilan entre 1 y 2 %, con eficiencias de recuperación de níquel y cobalto que promedian el 92 % y un consumo de ácido sulfúrico de alrededor de 0,3 t/t de mineral.<sup>(10, 11)</sup>

El trabajo tiene como objetivos analizar las principales características químicas, mineralógicas de menas lateríticas con un contenido de magnesio superior al 2 % y evaluar el comportamiento de la sedimentación, reología y viscosidad de las pulpas preparadas a partir de estas.

### **Materiales y métodos**

Para la ejecución de este trabajo se emplearon mezclas de menas lateríticas de la empresa Moa Nickel S.A. - Pedro Soto Alba, las cuales se conformaron de manera tal que garantizaron tres niveles diferentes del contenido de Mg.

## Materiales

El estudio se realizó con mezclas de menas que se conformaron a partir de muestras de los yacimientos Camarioca Norte (CN) y Atlantic concesionados a la empresa Pedro Soto Alba. Las composiciones químicas de las muestras se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1-** Composición química (%) de los elementos en cada yacimiento

Yacimiento	Ni	Co	Fe	Cu	Zn	Mn	Mg	Al	SiO <sub>2</sub>	Cr
Atlantic	1,290	0,100	38,80	0,011	0,018	0,618	3,744	3,71	8,04	1,32
Camarioca Norte M-21	0,558	0,075	22,95	0,007	0,014	0,399	5,890	1,50	-	-
Camarioca Norte M-24	0,853	0,158	47,29	0,011	0,017	0,769	1,240	7,85	6,99	1,35

Se empleó agua de proceso para preparar las pulpas de minerales lateríticos, cuyas características se muestran en la tabla 2:

**Tabla 2-** Composición química (mg/L) de los elementos en el agua de proceso

DT	AT	Ni	Co	Fe	Mg	Cr	Cu	Zn	Mn	Pb	Al
88	68	L/D	L/D	0,021	16,36	L/D	0,026	0,035	L/D	L/D	0,041

DT y AT: Dureza total y alcalinidad total

L/D: Límite de detección

## Equipos

Para la preparación y procesamiento de las muestras se utilizó: balanza técnica, estufa para el secado, agitador mecánico para la preparación de la pulpa, centrífuga para la separación líquido-sólido, viscosímetro rotacional. También se emplearon otros utensilios tales como: tamices, probeta graduada de 1 L, cronómetro, frasco lavador, *beaker*, papel de filtro, morteros para realizar las operaciones de separación de fracciones de mineral por tamaños, trituración, sedimentación y filtración de muestras.

## Metodologías

Conformación y caracterización química y mineralógica de las pulpas de menas lateríticas

El proceso comienza con la preparación de la pulpa de cada yacimiento, para lo que se realizan los pasos siguientes:

- a) Tomar la cantidad de muestra definida de cada yacimiento (mineral).

- b) Añadir la masa de agua correspondiente al 60 % de la masa del mineral a utilizar para la preparación de la pulpa.
- c) Realizar la mezcla de mineral con agua (pulpa) y homogenización de ésta mediante agitación mecánica durante 20 minutos.
- d) Pasar por el tamiz de 20 mesh la pulpa preparada en el paso c).
- e) Tomar muestra de la pulpa preparada con la fracción -20 mesh para la determinación del porcentaje de sólido. Si el porcentaje de sólidos es inferior a 35 %, se deja en reposo en una tanqueta para que sedimente, luego se decanta el agua y se homogeniza la pulpa. Si el porcentaje de sólidos es superior a 35 %, se realiza el paso f).
- f) Tomar 100 g de muestra de la pulpa obtenida en el paso e) y todo lo retenido en el tamiz. Secar ambos materiales a 100 °C por 6 horas.
- g) Una vez secadas las muestras se envasan 50 g para enviar el laboratorio analítico para análisis de Ni, Co, Fe, Mg, Cu, Zn y Mn.
- h) De la fracción -20 mesh se toman adicionalmente 50 g para caracterización mineralógica por DRX.
- i) La pulpa resultante del paso e) preparada con la fracción -20 mesh, se almacena en bolsos de nylon para conformar las mezclas de menas lateríticas.

Las mezclas se conformaron usando menas con alto y bajo contenido de Mg para lograr los valores de 2,8 % ; 3,4 % y 4,3 %, definidos a partir del análisis de la información obtenida en la revisión bibliográfica. Para la preparación de las mezclas, se realizó un balance de masa para determinar la cantidad de material de las muestras individuales a participar en la mezcla para obtener los contenidos de Mg, Ni, Co y Fe definidos en el diseño experimental. Utilizando el programa EXCEL se realizó un proceso de tanteo con los valores de la masa de las muestras individuales escogidas, hasta lograr los contenidos deseados de los elementos de interés. Se analizó la composición química y mineralógica de las mezclas que se conformaron.

### **Pruebas de sedimentación**

Las pruebas de sedimentación se realizaron con las pulpas preparadas de la manera siguiente: Primeramente se realizó un análisis con la pulpa conformada con el mineral de 3,42 % de magnesio y se analizó el comportamiento de la

sedimentación para los casos siguientes: a) solo con mineral (blanco), b) con aditivo  $\text{FeSO}_4$ , c) con aditivo  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  y d) con aditivos  $\text{FeSO}_4$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . Se completó el estudio con el análisis de la sedimentación de las pulpas que se prepararon con minerales de 2,84 y 4,30 % de magnesio.

Para la prueba de sedimentación se toma una muestra de 1 L de pulpa (12,5 % de sólidos) a temperatura ambiente. La muestra se introduce en una probeta graduada, provista de una cinta milimetrada y durante intervalos de tiempo específicos se toma la lectura en milímetros del descenso de la interfase entre licor sobrenadante y el sólido. Los resultados que se obtienen para una y dos horas se toman como indicador para valorar el comportamiento de la velocidad de sedimentación, el cual se considera favorable si se obtienen los valores mayores o iguales que 130 mm en dos horas, que corresponden a un valor de velocidad de sedimentación igual a 0,065 m/h.

### **Pruebas de reología y determinación de viscosidad**

Para la determinación de las características reológicas y la viscosidad de las pulpas se se obtuvieron las gráficas de esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad; a partir de estas se clasificó el comportamiento reológico de la pulpa y se calculó la viscosidad. Las pruebas se realizaron con la pulpa obtenida luego de la sedimentación. Se empleó la pulpa conformada con el mineral que contiene 3,42 % de magnesio.

### **Técnica analítica**

Para determinar la composición química de las muestras de menas lateríticas, así como los licores y sólidos generados en el proceso de lixiviación se emplearon el espectrofotómetro de Absorción Atómica (EAA), con llama y generador de hidruros, modelo SOLAR 929, UNYCAM y el Espectrometro de plasma acoplado inductivamente (ICP).

La caracterización mineralógica de menas lateríticas se realizó, mediante el método de polvo en un difractómetro X'PERT3 de PANalytical. Se utilizó el software del equipo para realizar el análisis semicuantitativo de las fases.

## Resultados y discusión

### Conformación y caracterización de las mezclas de menas lateríticas

Los resultados de la conformación de las mezclas de menas lateríticas y su comparación con muestras de menas lateríticas de otras regiones del mundo se muestran en la tabla 3.

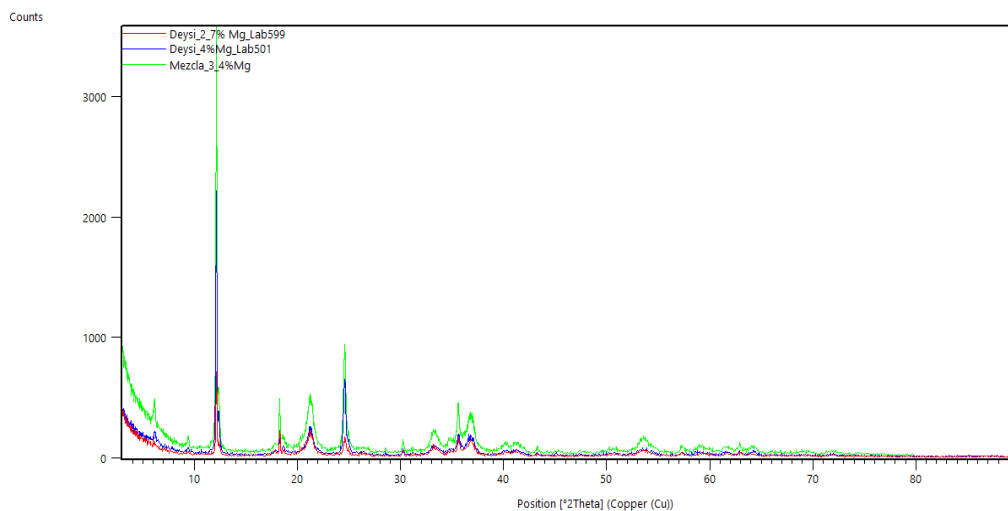
**Tabla 3** - Composición química de las mezclas, % y comparación de menas de diferentes regiones del mundo

Planta Productora	Ni	Co	Fe	Mn	Mg	SiO <sub>2</sub>	Al	Cr	Fuente
FS- 2,7% Mg (Moa Bay, Cuba)	1,02	0,11	42,71	0,70	2,84	14,26	4,66	1,21	Este trabajo
M-3,4% Mg (Moa Bay, Cuba)	1,08	0,09	38,74	0,60	3,42	14,13	4,17	1,05	Este trabajo
FS 4% Mg (Moa Bay, Cuba)	1,21	0,09	35,94	0,61	4,30	20,75	3,98	0,91	Este trabajo
Cawse (Australia)	1,70	0,20	25,70	0,80	4,50	24,40	2,00	1,20	Johnson 2005
Gordes. Manisa (Turquía)	1,30	0,10	28,70	0,50	1,40	28,80	1,80	1,40	Kaya 2011

Fuente: Johnson (2005);<sup>(12)</sup> Kaya (2011)<sup>(13)</sup>

Las muestras que se emplearon en este trabajo correspondieron a mezclas de limonita y serpentina, las cuales mostraron diferencias con respecto a la composición química de algunas muestras de minerales ricos en limonita de Australia y Turquía. En relación con los elementos refractarios (Si, Al y Cr), se observó que el contenido de sílice en las muestras fue entre 7 y 11 % menor, el aluminio prácticamente fue el doble y el cromo se mantuvo aproximadamente en el mismo orden, con respecto a los contenidos de estos elementos en los minerales de Australia y Turquía (tabla 3).

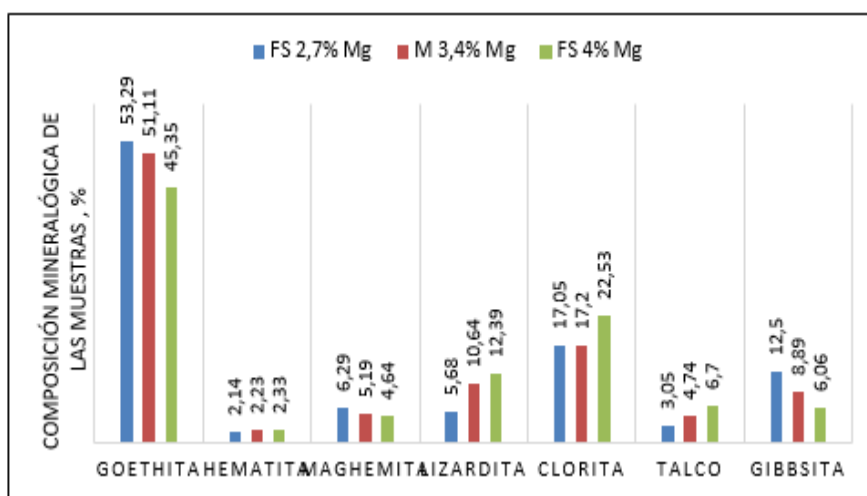
En la figura 1 se presentan comparativamente los difractogramas de las muestras de mineral



**Fig. 1** - Difractogramas de las muestras de menas lateríticas.

En la figura 1 se observó que los difractogramas de las tres muestras presentaron similitudes en los picos encontrados, con algunas diferencias en la intensidad que indicaron variaciones en la cristalinidad.

Las principales fases mineralógicas que se identificaron y su composición se muestran en la figura 2:



**Fig. 2** - Composición mineralógica de las muestras de menas lateríticas.

De acuerdo con los resultados de la figura 2, se observaron los aspectos siguientes:

- La fase mineralógica mayoritaria en las muestras fue la goethita (componente importante de la fracción limonítica del mineral).
- Los contenidos goethita y gibbsita en la muestra de 4,3 % de magnesio se redujeron aproximadamente un 7,9 % y 6,4 %, respectivamente.

- Se constató que el incremento del contenido de magnesio en las muestras desde 2,7 % hasta 4,3 %, fue debido al aumento de la presencia de las fases lizardita, clorita y talco que están conformadas por silicatos de este metal.
- Los contenidos de hematita y maghemita variaron muy poco, con diferencias de 0,19 % y 1,65 %, respectivamente entre las muestras de 2,7 % y 4,3 %.

### Pruebas de sedimentación

Los datos iniciales de la pulpa que se empleó para el estudio comparativo con y sin aditivos fueron los siguientes:

- Concentración de magnesio en el mineral (CMg) = 3,4 %.
- Concentración de sólidos ( $x_p$ ) = 12,5 %

Los resultados fundamentales del comportamiento de la sedimentación de la pulpa se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4 -** Comportamiento de la sedimentación de las pulpas crudas

Tiempo (min)	Altura de la interfase Líquido/sólido, en mm			
	Prueba Blanco	Prueba con FeSO <sub>4</sub>	Prueba con Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Prueba con Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + FeSO <sub>4</sub>
0	0	0	0	0
10	39	19	31	14
20	70	29	54	23
30	101	39	76	39
40	132	53	97	43
55	176	65	117	55
60 (1 h)	188	77	138	63
120 (2 h)	207	144	216	120

Como se mostró en la tabla 4, en una hora se obtuvieron los mayores valores de altura de la interfase líquido/sólido con la pulpa de mineral que no contenía aditivos (Blanco). Se pudo observar además que la prueba con el aditivo Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> fue la segunda con mejores resultados, los cuales fueron superiores a los que se lograron con el aditivo FeSO<sub>4</sub>. Este último se emplea actualmente en la Empresa Moa Nickel SA- Pedro Soto Alba para mejorar las propiedades de compactación de la pulpa que se alimenta a los espesadores.

En general con el efecto combinado de los dos aditivos se obtuvieron los valores más bajos de altura de la interfase para una y dos horas de

sedimentación (63 y 120 mm, respectivamente). Ambos valores son bastante próximos a los obtenidos con el aditivo  $\text{FeSO}_4$ , por lo que se infiere que la incorporación del  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  al proceso no debe provocar afectaciones importantes en la sedimentación de las pulpas.

A continuación se presentan los valores de velocidad de sedimentación de cada una de las pulpas (tabla 5).

**Tabla 5 - Velocidad de sedimentación de las pulpas crudas, m/h**

Tiempo de muestreo	Prueba Blanco	Prueba con $\text{FeSO}_4$	Prueba con $\text{Na}_2\text{SO}_4$	Prueba con $\text{Na}_2\text{SO}_4$ + $\text{FeSO}_4$
2 h	0,10	0,07	0,11	0,06

Los valores de velocidad en la pulpa de la muestra de mineral que contiene los aditivos  $\text{FeSO}_4$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  fueron los más bajos en comparación con los que se alcanzaron en las pruebas en blanco y con un solo aditivo (tabla 5).

El análisis integrado de altura de la interfase líquido/sólido y velocidad de sedimentación de las pulpas crudas que se prepararon con diferentes contenidos de magnesio y con los aditivos  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  +  $\text{FeSO}_4$ , se muestra en la tabla 6.

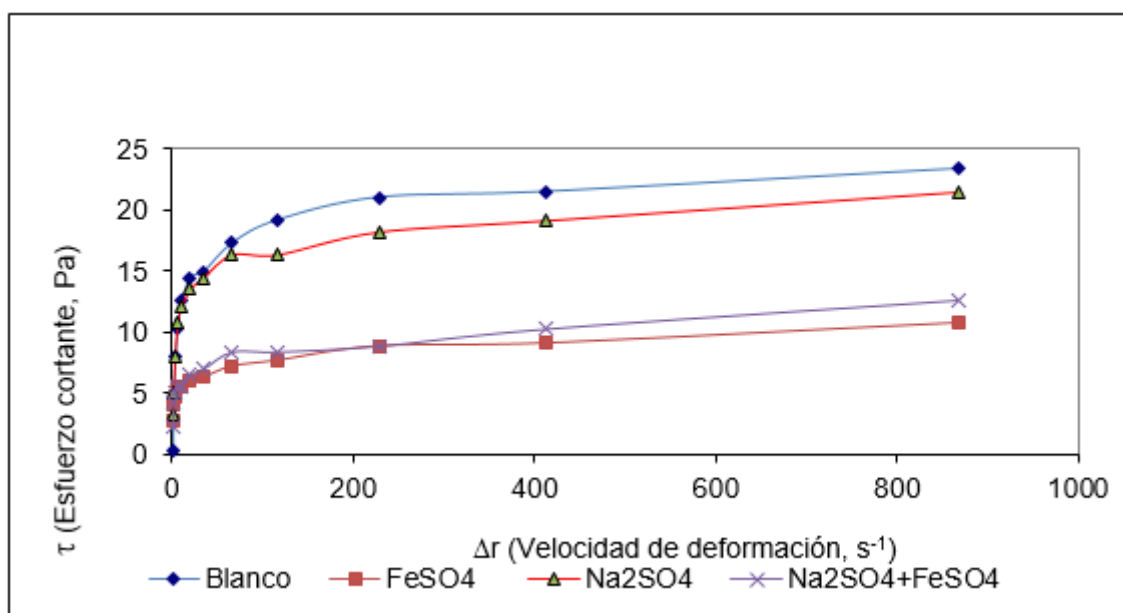
**Tabla 6 - Valores altura de la interfase líquido/sólido y velocidad de sedimentación de las pulpas crudas**

No	CMg. %	Altura de la interfase, mm		Velocidad de sedimentación, m/h
		1 h	2 h	
1.	2,84	96	120	0,060
2.	3,42	63	120	0,060
3.	4,30	24	47	0,024

En concordancia con la tabla 6, los valores de velocidad de sedimentación de las pulpas que se prepararon con  $\text{CMg} = 2,84$  y  $3,42$  % fueron similares. Estos valores se consideraron aceptables, teniendo en cuenta que estuvieron próximos a los valores límites considerados por la Empresa Moa Nickel SA-Pedro Sotro Alba para la pulpa cruda (0,065 m/h).

### **Pruebas de reología y determinación de viscosidad**

Los resultados del comportamiento del esfuerzo cortante en función del gradiente de velocidad de las pulpas crudas que se prepararon sin aditivo y con aditivos, se muestran en la figura 3.



**Fig. 3** - Curvas de flujo de la pulpa cruda. CMg= 3,42 % de magnesio

Según las curvas obtenidas de esfuerzo cortante vs gradiente de velocidad se observó que todas las pulpas tuvieron un comportamiento de fluido no newtoniano (Figura 3) del tipo plástico real (modelo Herschel Bulkley). Estas coincidieron con el comportamiento reológico reportado por Pérez y col. para pulpas aditivadas con FeSO<sub>4</sub>, en las cuales el mineral contiene menos de 2 % de magnesio.<sup>(14)</sup>

**Tabla 7 - Valores de la viscosidad de las pulpas con el uso de aditivos**

Prueba	Densidad (kg/L)	% Sólidos (%)	Viscosidad (Pa.s)
Blanco	1,376	44,72	0,077
FeSO <sub>4</sub>	1,448	46,72	0,032
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,396	43,95	0,067
FeSO <sub>4</sub> +Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,394	49,29	0,033

En cuanto a los resultados obtenidos de viscosidad la que presentó el mayor valor de viscosidad con 0,077 (Pa.s) fue la pulpa sin aditivo. Con el uso de sulfato de hierro solamente el valor de la viscosidad fue el mínimo (Tabla 3), siendo muy semejante al obtenido con la pulpa donde se añadieron los dos aditivos. Esto indicó que la adición de sulfato de sodio no debe perjudicar la viscosidad de la pulpa por encima de los niveles que poseen las pulpas del proceso actualmente.

## Conclusiones

Los contenidos promedio de SiO<sub>2</sub>, Al, y Cr en las muestras de mineral fueron 17,5; 4,3; y 1,2 %; y se identificaron como fases mineralógicas principales: goethita, clorita, gibssita y lizardita.

Se comprobó que las pulpas crudas que se prepararon con minerales de 2,84 y 3,42 % de magnesio alcanzaron velocidades de sedimentación iguales a 0,06 m/h, las cuales son aceptables para el proceso.

La pulpa que se preparó con mineral de 3,42 % de magnesio, independientemente de la presencia de aditivos mostró un comportamiento reológico no newtoniano del tipo plástico real (modelo Herschel Bulkley) y la viscosidad de la misma con los aditivos Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>+FeSO<sub>4</sub> fue igual a 0,033 Pa.s, similar al valor que se obtiene actualmente en el proceso de la Empresa Moa Nickel SA- Pedro Sotro Alba.

## Referencias bibliográficas

1. STANKOVIĆ, S., et al., Review of the past, present, and future of the hydrometallurgical production of nickel and cobalt from lateritic ores, *Metallurgical and Materials Engineering*. Association of Metallurgical Engineers of Serbia, 2020. **26**(2): p. 199-208.
2. DJOUANI, R., *Advanced study on the extraction of Nickel from its ores*. Research Report, Oum el bouaghi university, Algeria, 2022.
3. UCYILDIZ, A. and I. Girgin, High pressure sulphuric acid leaching of lateritic nickel ore. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 2017. **53**(1): p. 475-488. ISSN 1643-1049.
4. MESHRAM, P. and B.D. Pandey, Advanced review on extraction of nickel from primary and secondary sources. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2018. ISSN: 0882-7508. DOI: 10.1080/08827508.2018.1514300.
5. CHALKLEY, M., et al., Effect of magnesium on pressure leaching of Moa laterite ore. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 2010. **49**(3): p. 227-234.
6. CUETO, F., E. Rondón-Medina, and R. Fuentes-Camacho, Efluente líquido (WL) de la tecnología de lixiviación ácida: alternativas de tratamiento. *Minería y Geología*, 2003. **19**(3-4): p. 79- 84. ISSN 0258-5979.

7. GRANDA, O., J. Astorga-Gutiérrez, and J. Cheni, Aprovechamiento de la serpentina niquelífera en la neutralización de los licores de desecho de la empresa Pedro Soto Alba. Segunda Parte. *Minería y Geología*, 1993. **10**(2): p. 25-27. ISSN: 0258-8959.
8. ROJAS, A.L. and P.E. Beyris-Mazar, Influencia de la composición mineralógica del material limonítico de frentes de explotación de la industria Pedro Soto, Moa. *Minería y Geología*, 1994. **11**(1): p. 13-17. ISSN: 0258-8959.
9. PÉREZ, L., et al., Mineralogía y reología de suspensiones minerales del proceso de lixiviación ácida a presión en Moa, Cuba. *Minería y Geología*, 2010. **26**(4): p. 16-35. ISSN: 0258-8959.
10. MERENCIO, P.L., et al., Lixiviación de minerales de Moa con alto contenido de magnesio utilizando como aditivo sulfato de sodio. *Tecnología Química*, 2025. **45**: p. 482-495. ISSN: 2224-6185.
11. CISNEROS, S.D. and D.A. Moreno, Informe de etapa 01. Diagnóstico de la situación actual de las operaciones mineras de la PSA. SCT 300134 Diseño del sistema de operación de los Depósitos de menas lateríticas de la Empresa Moa Nickel SA-Pedro Soto Alba (PSA). Centro de Investigaciones del Níquel. Moa. Holguín, Cuba, 2016.
12. JOHNSON, J., B. Cashmore, and R. Hockridge, Optimisation of nickel extraction from laterite ores by high pressure acid leaching with addition of sodium sulphate. *Minerals Engineering*, 2005. **18**(13-14): p. 1297-1303.
13. KAYA, Ş. and Y.A. Topkaya, High pressure acid leaching of a refractory lateritic nickel ore. *Minerals Engineering*, 2011. **24**(11): p. 1188-1197.
14. PÉREZ García, L., et al., Influencia del comportamiento reológico de las pulpas lateríticas en la eficiencia de bombeo. *Tecnología Química*, 2021. **41**(3): p. 619- 637. ISSN: 2224-6185.

## **Conflicto de intereses**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

## **Contribución de los autores**

Deisy Cisneros Sánchez: conceptualización, dirección de la investigación, curación de datos, metodología, redacción – borrador original, redacción-revisión y edición.

Pedro Luis Merencio Guevara: conceptualización, investigación, metodología, redacción – borrador original, redacción- revisión y edición.

Lilian Vidiaux Arcia: conceptualización, metodología, investigación, curación de datos, redacción – borrador original.

Aurelia Viada-Estévez: metodología, curación de datos, supervisión, redacción borrador original.