

DIAGNÓSTICO ELECTROMAGNÉTICO EN LA LIXIVIACIÓN CARBONATO-AMONIAL Y SU INFLUENCIA OPERATIVA EN LA RECUPERACIÓN DEL COBALTO Y OTROS ASPECTOS.

DIAGNOSTIC ELECTROMAGNETIC OF THE FIRST ELECTROMAGNETS OF THE FIRST STAGE OF CARBONATE-AMMONIA LEACHING AND OPERATIVE INFLUENCE IN THE RECOVERY OF THE COBALT AND OTHER ASPECTS.

Jorge Miranda López ⁽¹⁾, jmiranda@cil.moa.minem.cu ó jmiranda1965@nauta.cu

Pedro Luis Merencio Guevara ⁽¹⁾, pmerencio@cil.moa.minem.cu

Liliana Terrero Navarro ⁽¹⁾

Investigador Auxiliar, Ingeniero Químico, Tecnólogo "B" Procesos Industriales y Técnico Medio "B" en metalurgia.

(1).- Centro de Investigaciones del Níquel, Carretera Yagrumaje Km. 7, Moa, Holguín, Cuba. Teléf. 24 615784

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen aspectos de la interrelación del control operativo y los aspectos químico-mineralógico en la tecnología carbonato-amoniaco, donde se pudo apreciar los efectos de la aplicación de campos electromagnéticos variables aplicados a los electroimanes de la primera etapa de lixiviación, es decir, su efecto sobre la floculación magnética sobre los sólidos que integran las pulpas amoniacales, así como de la recuperación del elemento Co. Se propone para un mejor funcionamiento, el valor óptimo de intensidad de corriente directa a obtener en un proceso operativo adecuado, además de un incremento en la recuperación del cobalto, sin afectar otros parámetros industriales. Se adiciona el caso la variabilidad químico-mineralógica de las fases de aluminio y manganeso en los minerales de los frentes mineros que afectan la operatividad el proceso al alimentarse menas de algunos sectores de los frentes de explotación minera de los yacimientos Yagrumaje Sur y Camarioca Este.

Palabras clave: Lixiviación proceso Caron, electroimanes, cobalto, proceso carbonato amoniacal, influencia de la variabilidad del Al y Mn en proceso de densificación de las pulpas.

ABSTRACT

Presently work aspects related to the industrial processes are exposed in their interrelations of operating control with the technology carbonate-ammonia, where you could appreciate the effects of the application of fields electromagnetic variables applied to the electromagnets of the first stage the Leaching, that is to say, their effect on the pulps ammonia, especially from the operative point of view, as well as of the recovery of the element Cobalt. The intends for a better operation, the good value of intensity of direct current to obtain in an appropriate operative process, besides an increment in the recovery of the cobalt, without affecting other industrial parameters. The case is added the chemical-mineralogical variability of the aluminum and manganese phases in the ores of the mining fronts that affect the operability the process when feeding fewer of some sectors of the fronts of mining exploitation of the locations East Camarioca and South Yagrumaje.

Keywords: Caron leaching processes, electromagnets, cobalt, process carbonates ammonia.

INTRODUCCIÓN

Entre las estrategias fundamentales de la industria cubana del níquel se encuentra elevar la recuperación hidrometalúrgica del Ni y el Co en el sistema de lixiviación y lavado de las plantas con tecnología carbonato-amoniaco, comúnmente llamado proceso Caron, con más de 70 años de explotación en Cuba. Es conocido que en el sistema hidrometalúrgico se decide la producción de Ni y Co final que depende de la eficiencia de recuperación de ambos elementos en la Primera Etapa de Lixiviación [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 12 y 15]; en esta etapa del proceso intervienen efectos multi-causales, generando resultados diversos, por tanto las soluciones encaminadas a mejorar o perfeccionar esta etapa tienen importancia significativa, mucho más en estos momentos donde las pulpas amoniacas presentan comportamientos irregulares con respecto a la densificación de los sólidos en los sedimentadores gravitacionales a nivel comercial.

Por lo que es necesario, el diagnóstico y control sistemático de los procesos en la primera etapa de lixiviación, básicamente del campo electromagnético generado en los equipos instalados a tales efectos (electroimanes), motivados por las intensidades de corriente variables aplicadas hoy en día a estos equipos; los operadores y tecnólogos de proceso no tienen acceso al control de los electroimanes, tampoco registro de su información para el control operativo efectivo.

Los electroimanes no están conectados al sistema automatizado de información de la industria (CITEC), lo que hace poco supervisarle su operación, al no existir un control diario de esta parte del proceso industrial, que está sujeta a consideraciones del personal eléctrico especializado que atiende estos problemas durante los turnos de trabajo en la planta de lixiviación y lavado, este aspecto donde debe tomarse acciones, no sólo desde el punto de vista de funcionamiento eléctrico, lo que está sujeto a una variada operatividad de los electroimanes, al implementarse diversas intensidades de corriente en el proceso, sin tener en cuenta o apreciar su influencia en que enmarca sobre la eficiencia metalúrgica de recuperación del Ni y Co. El control de la intensidad de corriente suministrada a cada electroimán de las tres series existentes (A, B y C), no es suficiente para la estimación del proceso de sedimentación, ni su control metalúrgico, estos también dependen del tipo de mineral de las menas que se alimentan al proceso fabril y del tipo de electroimán utilizado en cada miniserie de trabajo.

Es conocidos que los electroimanes en las series, independientemente que sean del mismo fabricante, estos generan diferentes campos electromagnéticos, aparte de que se le aplique la misma intensidad de corriente, aspecto que propició el diagnóstico operacional de los electroimanes industriales mediante un amperímetro y dos equipos específicos complementarios para la medición de las propiedades magnéticas:

- Gaussímetro¹ para la determinación de campos magnéticos medios y altos.
- Kapámetro² para determinación de campos magnéticos débiles en minerales.

Para ello se investigó, con la finalidad de conocer la intensidad de los campos magnéticos, y con ello diagnosticar el comportamiento operativo del proceso de lixiviación y lavado, así como la eficiencia metalúrgica (*hipótesis de investigación*).

Los objetivos específicos durante la investigación estuvieron dados en:

Realizar el diagnóstico electromagnético y determinar su influencia sobre el comportamiento operativo del proceso de lixiviación y lavado, así como su variación de la eficiencia metalúrgica.

- Identificar en las distintas menas alimentadas al proceso industrial la presencia de fases mineralógicas que influyen en el comportamiento irregular del proceso hidrometalúrgico actual, teniendo como partida los actuales minerales presente en los frentes mineros en explotación de los yacimientos: Yagrumaje Sur y Camarioca Este.

- Mostrar algunos aspectos tecnológicos que influyen durante el procesamiento de las

¹ Propiedad del Centro de Investigaciones del Níquel "Capitán Alberto Fernández Montes de Oca".

² Propiedad de la EES "Comandante Ernesto Che Guevara".

menas lateríticas, especialmente a la baja recuperación de Co presentes en los sólidos que componen las pulpas amoniacaes a escala comercial y a problemas relacionados con la baja densificación de las pulpas en los sedimentadores de lixiviación, obstaculizando la dinámica operativa del proceso hidrometalúrgico.

DESARROLLO

Los estudios investigativos se realizaron en el área de la primera etapa de lixiviación, específicamente en los electroimanes de las Series A, B y C, compuestas cada una por dos Miniseries conectados en paralelo desde un panel de control, primera etapa que comprenden desde la salida del último turbo, electroimán y sedimentador.

Se efectuaron dos tomas de muestra de las pulpas amoniacaes:

1. a la salida del último turbo antes la entrada al electroimán (AE)
2. posterior a este (DE),

Antes y después del electroimán se evaluaron aspectos operacionales como: la temperatura de la pulpa, velocidad de sedimentación de la pulpa amoniaca, intensidad de corriente a la salida del panel de control y la de llegada al electroimán, y por último la inducción del campo electromagnético que genera el electroimán para su correcta evaluación investigativa. Se trabajó con dos tipos de electroimanes de la firma española, Asturiana, con licencia inglesa, tipo "Felemamg" [9] (figuras 1 y 2).



Figura 1. Electroimán nuevo (Series A y B)



Figura 2. Electroimán antiguo (Serie C)

MATERIALES Y METODOS.

Para el diagnóstico se emplearon diversos equipos y materiales:

- Gaussímetro tipo LT-EMF-827: Se utilizó para realizar el diagnóstico electromagnético de los electroimanes de la Primera Etapa de Lixiviación, a partir del procesamiento de diversos minerales alimentados al proceso industrial, en distintos periodos de experimentación.
- Kapámetro KT-9: Se utilizó para caracterizar las propiedades magnéticas de las pulpas amoniacales.
- Amperímetro digital de gancho VE 2605: Se empleó para determinar la intensidad de corriente directa aplicada a los electroimanes. Características: Alcance de 1000 A, (tipo Electromagnético), modelo Vemer, fabricado en China. [8]
- Juego de probetas certificadas: Para estimar la velocidad de sedimentación de las pulpas amoniacales. Graduadas de 1000 mL.
- Programa de cálculo en Microsoft EXCEL, para estimar el valor operacional de las velocidades de sedimentación de las pulpas antes y después de los electroimanes.
- Equipo de determinación de tamaño de partícula de la firma alemana Analysette 22.



Fig. 3. Gaussímetro tipo LT-EMF-827.



Fig. 4. Kapámetro KT-9

Diseños de experimentos

Se emplearon los métodos teóricos de análisis y síntesis de los antecedentes de la temática a investigar e hipotético - deductivo, así como métodos estadísticos.

Para la realización de corridas de diagnóstico electromagnético, según las series de trabajo, se requirió:

- Caracterización química del mineral alimentado Ni, Co, Fe, MgO, Al_2O_3 , Cr, Mn y SiO_2 .
- Caracterización magnética del mineral alimentado a través del procedimiento del contenido de la Fracción Magnética (FM) y Densidad específica del sólido.
- Determinación de la intensidad de corriente aplicada a los primeros electroimanes de Lixiviación.
- Realización de corridas de diagnóstico electromagnético en los electroimanes de Primera Etapa de Lixiviación con el empleo de Gaussímetro y Amperímetro.
- Determinación de la velocidad de sedimentación antes y después del electroimán, según NRIB – 579:1983 “Prueba de sedimentación” por MÉTODO DE COE Y CLEVENGER) [14].
- Determinar la composición químico-física de las colas antes y después del primer electroimán de lixiviación (Ni, Co, Fe, Mn, FM).
- Determinación de la susceptibilidad magnética de las pulpas amoniacales.

- Determinación del tamaño de partícula en un sedimentógrafo ultrasónico de la firma alemana Frissch Particle Sizer “Analysette 22”.
- Cálculo de la eficiencia de recuperación de Ni y Co del sólido al transitar las pulpas antes del Electroimán (AE), y posterior a este (DE) de primera etapa de lixiviación.
- Determinación de las fases mineralógicas que componen los sólidos del mineral alimentado HR-1 y Lixiviado HR3-3 con la ayuda del Difractómetro de rayos-X tipo: XPerT³ Powder de la firma PANalytical. con las siguientes condiciones: Barrido tipo Gonio en $[\theta]$ registro angular desde 4.0042 hasta 79.9962 con distancia de paso en $^\circ 2\theta$ de 0.0080 con radiación de Cu y filtro de níquel. Resultados de la caracterización mineralógica a través el programa de identificación “Data Colector” y su Identificación de fases a través de Soft de Análisis High Score 4.1, donde se realiza el tratamiento de los difractogramas registrados para las evaluaciones de las muestras en polvo investigadas [16].



Fig. 5.- Difractómetro de rayos –X (CEDINIQ)

- Determinación de la composición química de las menas alimentadas al proceso de calcinación reductora HR-1 se realiza con el Espectrómetro de Fluorescencia de rayos –X tipo: AXIOS_{Max} de la firma PANalytical, secuencial y semi-automático. Perteneciente al laboratorio Central de la Empresa Productora Ernesto Che Guevara.



Fig. 6.- Espectrómetro de Florescencia de rayos –X (ECG).

RESULTADOS Y DISCUSION

Para la caracterización químico-física e investigación de las pulpas, las mismas fueron tomadas antes y después de los electroimanes, en cambio para la intensidad de corriente se tomó la medición a la entrada de alimentación al electroimán, y por último el campo electromagnético del electroimán, según figuras siguientes:



Fig. 7. Toma de la pulpa AE y después del DE.



Fig. 8. Medición del amperaje alimentado

Además la intensidad del campo magnético al paso de pulpa amoniacal por las tuberías ubicada en el entrehierro de los electroimanes, según figura 10.



Fig. 9. Entrehierro del electroimán, medición del campo electromagnético (Serie C).

Las investigaciones estuvieron dirigidas a conocer la intensidad de corriente en el panel de control y a la entrada del electroimán, para ello, se procedió en variar el regulador de corriente de alimentación de modo ascendente, esto se ejecutó con las primeras miniseries de las series (A, B y C), dado que las Series A y B presentan a un sólo tipo en específico de electroimán en explotación (Nuevos), y sólo la Serie C (Antiguo).

RESULTADOS

Los resultados promedios de las mediciones.

Tabla 1. Resultados obtenidos en la Serie A.

Amperímetro Digital Panel salida	Amperímetro Digital Entrada Electroimán	Campo Magnético Generado por el Electroimán (G)	
Valor Medio (A)	Valor medio (A)	Valor medio	Variación \pm
2,00 \pm 0,09	1,45 \pm 0,07	213,2	10,4
3,10 \pm 0,01	3,15 \pm 0,49	463,1	72,8
4,00 \pm 0,09	3,80 \pm 0,14	558,6	20,8
5,00 \pm 0,02	5,15 \pm 0,49	757,1	72,8
6,03 \pm 0,06	5,65 \pm 0,49	830,6	72,8
7,10 \pm 0,10	6,50 \pm 0,01	955,5	0,0
8,00 \pm 0,06	7,05 \pm 0,35	1036,4	52,0
9,00 \pm 0,06	7,65 \pm 0,64	1124,6	93,6
10,00 \pm 0,01	8,90 \pm 0,85	1308,3	124,7
12,00 \pm 0,05	9,85 \pm 0,78	1447,9	114,3
14,10 \pm 0,06	11,05 \pm 0,78	1624,4	114,4
15,06 \pm 0,06	12,05 \pm 1,20	1771,0	176,7
16,06 \pm 0,06	13,00 \pm 0,71	1911,0	103,9
17,00 \pm 0,06	14,10 \pm 1,27	2072,7	187,1
18,00 \pm 0,06	16,35 \pm 0,64	2403,5	93,6

Tabla 2. Resultados obtenidos en la Serie B.

Amperímetro Digital Panel salida	Amperímetro Digital Entrada Electroimán	Campo Magnético Generado por el Electroimán (G)	
Valor Medio (A)	Valor medio (A)	Valor medio	Variación \pm
2,0,3 \pm 0,06	0,17 \pm 0,06	98	44,1
3,00 \pm 0,00	0,67 \pm 0,32	161,7	62,0
4,03 \pm 0,06	1,33 \pm 0,23	269,5	82,3
5,07 \pm 0,06	2,30 \pm 0,20	352,8	102,8
6,00 \pm 0,00	3,30 \pm 0,30	455,7	122,2
7,03 \pm 0,06	4,13 \pm 0,12	529,2	132,1
8,07 \pm 0,06	5,03 \pm 0,25	578,2	131,0
9,00 \pm 0,00	5,97 \pm 0,23	744,8	173,7
10,00 \pm 0,00	7,43 \pm 0,45	906,5	266,8
12,00 \pm 0,00	9,17 \pm 0,67	1033,9	276,6
14,07 \pm 0,06	10,40 \pm 0,26	1229,9	299,4
15,00 \pm 0,00	11,47 \pm 0,42	1425,9	313,8
16,07 \pm 0,06	12,47 \pm 0,23	1710,1	369,5
17,00 \pm 0,00	13,60 \pm 0,26	1974,7	442,9
18,00 \pm 0,00	15,07 \pm 0,25	2219,7	518,3

Tabla 3. Resultados obtenidos en la Serie C.

Amperímetro Digital Panel salida	Amperímetro Digital Entrada Electroimán	Campo Magnético Generado por el Electroimán (G)	
Valor medio (A)	Valor medio (A)	Valor medio	Variación \pm
0,57 \pm 0,21	3,30 \pm 1,04	617,4	203,7
1,067 \pm 0,46	3,80 \pm 0,52	774,2	118,8
1,90 \pm 0,52	4,37 \pm 0,23	803,6	118,8
2,87 \pm 0,45	4,83 \pm 0,12	950,6	67,9
3,90 \pm 0,26	5,40 \pm 0,35	1053,5	17,0
4,90 \pm 0,26	5,90 \pm 0,35	1073,1	25,5
5,90 \pm 0,35	6,40 \pm 0,17	1136,8	8,5
6,90 \pm 0,26	6,87 \pm 0,06	1244,6	8,5
7,93 \pm 0,25	7,30 \pm 0,00	1308,3	0,0
8,87 \pm 0,31	7,77 \pm 0,00	1381,8	0,0
9,83 \pm 0,25	8,17 \pm 0,12	1445,5	8,5
10,90 \pm 0,10	8,53 \pm 0,23	1617,0	25,5
11,83 \pm 0,23	8,87 \pm 0,29	1710,1	59,4
12,77 \pm 0,31	9,20 \pm 0,35	1778,7	101,8
13,83 \pm 0,23	9,93 \pm 0,12	1906,1	84,9
14,57 \pm 0,45	10,67 \pm 0,58	2023,7	61,2
15,73 \pm 0,23	11,67 \pm 0,53	2146,2	96,4
16,67 \pm 0,21	12,67 \pm 0,58	2268,7	86,1
17,23 \pm 0,29	13,67 \pm 0,58	2415,7	123,3

➤ **INFLUENCIA EN LAS MEDICIONES SEGUN EL MODO DE EXPLOTACION DEL ELECTROIMAN.**

En el siguiente experimento, se procedió en buscar la influencia que genera en el campo electromagnético medido en el área de trabajo [10, 11, 13 y 15], con la presencia o no de pulpas en sistema a flocular, debido a un mantenimiento existente de un turboaerador en dicha primera etapa de la Serie A Miniserie-1, se pudo experimentar a escala comercial dicho aspecto, obsérvese en las tablas No. 4 y 5, los resultados obtenidos el mismo día y de forma continua, con el sistema con pulpa en las tuberías y sin estas, dicho procedimiento permitió investigar dichos procesos detenidamente.

Tabla 4. Con el sistema lleno de pulpa amoniaca, transitando pulpa por la tubería.

Amperímetro Digital Panel Salida (A)	Amperímetro Digital Entrada Electroimán (A)	Campo Magnético Generado por el Electroimán (G)	
Valor Medio	Valor medio	Valor medio	Variación \pm
2,00 \pm 0,09	1,45 \pm 0,07	213,2	10,4
3,10 \pm 0,01	3,15 \pm 0,49	463,1	72,8
4,00 \pm 0,09	3,80 \pm 0,14	558,6	20,8
5,00 \pm 0,02	5,15 \pm 0,49	757,1	72,8
6,03 \pm 0,06	5,65 \pm 0,49	830,6	72,8
7,10 \pm 0,10	6,50 \pm 0,01	955,5	0,0
8,00 \pm 0,06	7,05 \pm 0,35	1036,4	52,0
9,00 \pm 0,06	7,65 \pm 0,64	1124,6	93,6
10,00 \pm 0,01	8,90 \pm 0,85	1308,3	124,7
12,00 \pm 0,05	9,85 \pm 0,78	1447,9	114,3
14,10 \pm 0,06	11,05 \pm 0,78	1624,4	114,4
15,06 \pm 0,06	12,05 \pm 1,20	1771,0	176,7
16,06 \pm 0,06	13,00 \pm 0,71	1911,0	103,9
17,00 \pm 0,06	14,10 \pm 1,27	2072,7	187,1
18,00 \pm 0,06	16,35 \pm 0,64	2403,5	93,6

Tabla 5. Sin pulpa en el sistema, sólo el electroimán.

Amperímetro Digital Panel Salida (A)	Amperímetro Digital Entrada Electroimán (A)	Campo Magnético Generado por el Electroimán (G)	
Valor Medio	Valor medio	Valor medio	Variación \pm
2,33 \pm 0,29	0,93 \pm 1,10	186,2	30,6
3,10 \pm 0,00	1,96 \pm 1,40	259,7	81,0
4,33 \pm 0,29	3,23 \pm 1,12	396,9	53,0
5,13 \pm 0,12	5,20 \pm 0,53	524,3	59,4
6,03 \pm 0,06	6,63 \pm 0,68	597,8	55,7
7,10 \pm 0,10	7,86 \pm 0,74	695,8	44,9
8,06 \pm 0,06	9,23 \pm 0,51	769,3	22,5
9,06 \pm 0,06	10,86 \pm 0,86	837,9	38,9
10,03 \pm 0,06	11,8 \pm 0,56	980,0	158,0
12,26 \pm 0,25	14,3 \pm 1,40	1078,0	125,0
14,06 \pm 0,06	16,3 \pm 1,76	1176,0	89,4
15,06 \pm 0,06	17,4 \pm 2,02	1274,0	37,0
16,06 \pm 0,06	18,76 \pm 1,80	1342,6	30,6
17,03 \pm 0,06	20,26 \pm 1,63	1460,2	67,9
18,06 \pm 0,06	21,56 \pm 1,31	1621,9	117,2

➤ **Estudio de la Susceptibilidad Magnética a los sólidos que integran las pulpas amoniacaes**

La Susceptibilidad magnética (SM) depende de la mineralogía de los sólidos que componen las pulpas amoniacaes, estos son susceptibles a magnetizarse durante el paso de las pulpas por las tuberías que atraviesan por los entrehierros que componen el electroimán en sí.

De aquí se sostiene de la hipótesis que para lograr un trabajo efectivo, con la floculación magnética y la densificación de los sólidos de las pulpas debe estar está dado en a la magnetización adquirida por el sólido presente en las pulpas y que ésta debe depender de su mineralogía presentes en las fases sólidas que la contienen, ya que al ser susceptibles a la inducción electromagnética del campo que genera el electroimán, independiente que se aplique la misma intensidad de corriente, lo que es lo mismos, que siempre será un parámetro variable durante las mediciones, fundamentado en la mineralogía variable que presentan los sólidos que componen los minerales alimentados de los

distintos frentes mineros, que al reducirse estos minerales en los hornos, puede tender a formarse una variedad muy diversa de fases de espinelas oxidadas generalmente como: la Maghemita ($\gamma \text{Fe}_2\text{O}_3$) o Magnetita (Fe_3O_4) o ambas juntas, así como de otras espinelas de otros elementos químicos y sus combinaciones, todas ellas en su conjunto, que presentan diversas permeabilidad o susceptibilidad magnética (SM), como se muestra en la siguiente tabla por analogía previamente conocidas.

Tabla 6. Algunas fases mineralógicas presente en los sólidos de las pulpas amoniacaes [15].

Fases Mineralógica	Quimismo	SM $\chi_m 10^{-5}$
Cuarzo	SiO_2	2.648
Enstatita	MgSiO_3	3.209
Forsterita	Mg_2SiO_4	3.213
Diaspora	<i>$\text{AlO}(\text{OH})$</i>	3.378
Ferrosilita	FeSiO_3	3.900
<i>Galaxita</i>	<i>$(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Al}_2\text{O}_4$</i>	4.078
<i>Fayalita</i>	<i>Fe_2SiO_4</i>	4.393
Magnesioferrita	MgFe_2O_4	4.487
<i>Maghemita</i>	<i>$\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$</i>	4.880
<i>Magnetita</i>	<i>Fe_3O_4</i>	5.200
Eskolita	Cr_2O_3	5.225
<i>Trevotita</i>	<i>NiFe_2O_4</i>	5.370
<i>Espinela de Cobalto</i>	<i>Co_3O_4</i>	6.070
Manganeso	<i>Mn</i>	7.470
<i>Cobalto</i>	<i>Co</i>	8.836
<i>Níquel</i>	<i>Ni</i>	8.910

Nota: En cursivas las más influyentes en su valor relativo de la SM.

Por lo que evidencia con minerales reducidos o sólidos de las pulpas lixiviadas la presencia de alto contenido de aluminio adjudicado a las transformaciones de las fases mineralógica de Gibbsita en Galaxita. Aparejado con una disminución de las propiedades magnéticas de los sólidos estudiados, aspecto que no sucede con pulpas normales de limonitas. Este aspecto también influye en la floculación magnética de los sólidos de las pulpas que hacen que se pronuncien de forma irregular, al no obtenerse un normal proceso de densificación de los sólidos en los sedimentadores de pulpa, observados recientemente el proceso comercial, generados por la variación de la composición química del % de aluminio y la disminución del manganeso en los minerales de alimentación al proceso de calcinación reductora, dado por la apertura de nuevos frentes de explotación desde el 2014.

Tabla 7. Resultados de la composición del mineral alimentado a hornos (HR-1).

Muestras	Pulpas – 1 (Normales)	Pulpas – 2 (Críticas)
Ni %	1,156	0,968
Co %	0,123	0,107
Fe %	41,15	41,3
SiO ₂ %	8,13	8,10
MgO %	3,32	2,78
Mn %	0,727	0,544
Al ₂ O ₃ %	8,56	9,86

En el yacimiento de Yagrumaje Sur en su totalidad se han encontrado minerales con características a las anteriormente mostradas, es decir, minerales que generan pulpas normales y pulpas críticas referente al comportamiento sobre la densificación de estas dentro del proceso hidrometalúrgico, se ha confirmado durante la experimentación que este yacimiento presenta como fase mineralógica fundamental en los minerales de alimentación la Trevorita (NiFe₂O₄) muy favorable para el proceso industrial, ya que existe un recobrado muy satisfactorio en el proceso, proporcionado a la excelente metalización del Ni, Co y muy baja de hierro, ya que se sustenta en la génesis de formación, según los procesos de re-deposición en el transcurso de los años. Y que su transformación mineralógica durante la lixiviación de éstas fases se transforman posteriormente en Maghemita (γ Fe₂O₃), la cual se incrementa al pasar por los turbo aireadores del proceso de las primeras miniseries, por lo tanto, este es favorecida durante el proceso de sedimentación, al aplicarle un campo electromagnético y provocar una buena floculación gravitatoria y magnética generando un aumento del tamaño de los flóculos, es decir, al pasar por los campos electromagnéticos estas pulpas amoniacales.

➤ **Estudio del tamaño de partículas para pulpas limoníticas y serpentiniticas antes de y después de pasar los electroimanes de primera etapa de lixiviación.**

Para ello, se procedió a estudiar el sólido que integra estas pulpas, la composición química del sólido para ambos casos de menas.

Tabla 8. Resultados de la composición del sólido (Limonita).

Ni%	Co%	Fe%	SiO ₂ %	MgO %	Al ₂ O ₃ %
1.26	0.110	42.4	8.0	3.4	7.2

Tabla 9. Resultados de la composición del sólido (Serpentinita).

Ni%	Co%	Fe%	SiO ₂ %	MgO %	Al ₂ O ₃ %
1.72	0.032	11.5	32.2	26.5	1.8

Se observa durante los experimentos para la determinación del tamaño de partículas en un equipo de la firma alemana “*Fritsch Particle Sizer Analysette 22*”. Cómo influye en las distintas menas el efecto de la floculación magnética con un aumento hacia la formación de las partículas de mayor tamaño, al pasar las pulpa por el electroimán de primera etapa de lixiviación, por efecto del magnetismo remanente en el sólido, basado en la ley de Stoke, aumenta por tanto, la velocidad de sedimentación de las pulpas amoniacales al pasar dicho campo electromagnético, se observa mayor influencia en la mena limonítica con respecto a la serpentinitica.

Insignificante el efecto de la floculación magnética en las menas serpentiniticas, ver figuras 8 y 9.

Ejemplo para las pulpas limoníticas (Antes y después de los electroimanes).

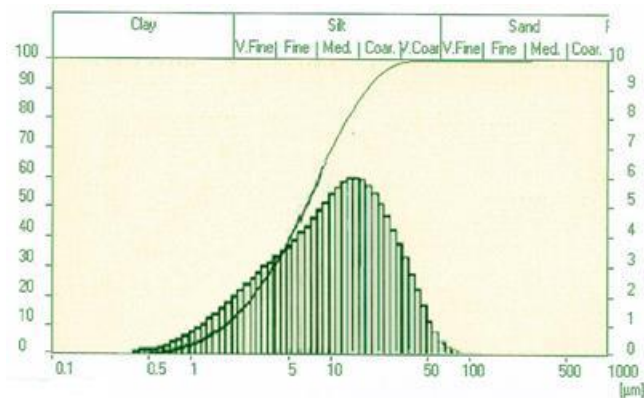


Figura 10. Sólido de la pulpa del mineral Limonítico (Sin Magnetizar)

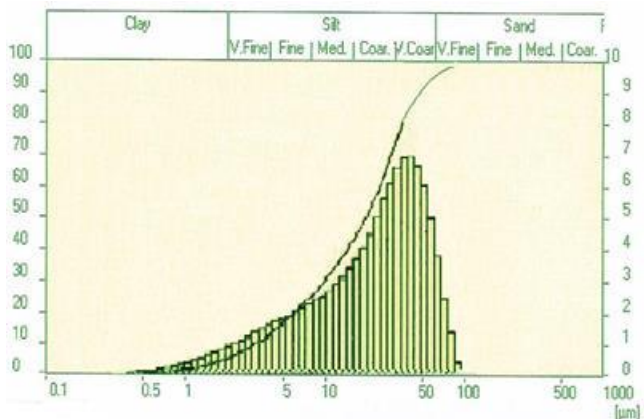


Figura 11. Sólido de la pulpa del mineral Limonítico (Desp. Electroimán).

Se observa un ligero corrimiento de las clases en las frecuencia hacia las partículas de mayor tamaño, en presencia o al pasar las pulpas principalmente por los electroimanes de primera etapa de lixiviación a escala comercial, que genera un aumento de la floculación magnética y como consecuencia un aumento de la velocidad de sedimentación de los sólidos que integran las pulpas. (Dicho efecto se pronuncia mejor para las menas limoníticas de alto contenido químico de hierro).

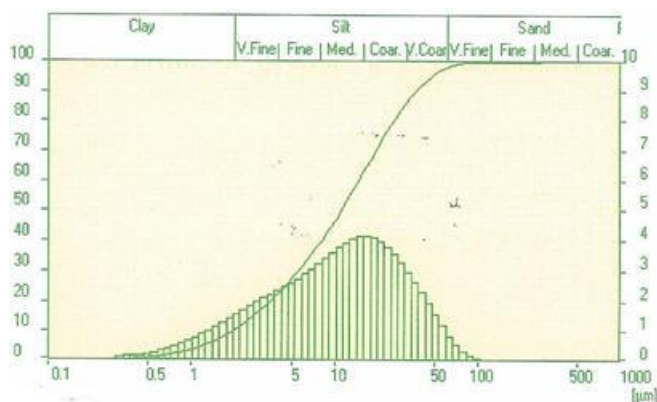


Figura 12. Sólido de la pulpa del mineral Serpentinico (Sin Magnetizar).

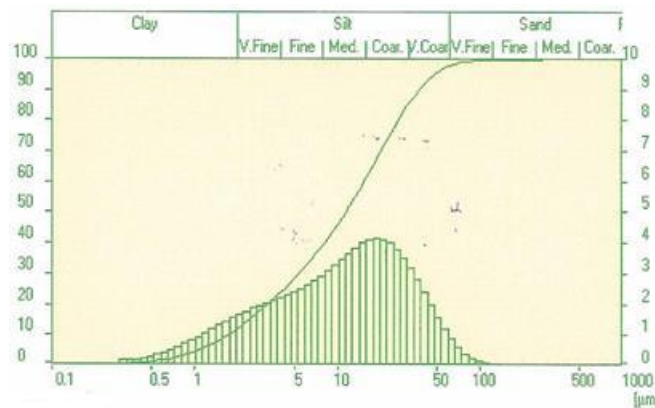


Figura 13. Sólido de la pulpa del mineral Serpentínico (Desp. Electroimán).

Tabla 10. Influencia en la recuperación de níquel y cobalto [%] promedio observado durante la operatividad en el periodo de agosto a octubre del 2015 (AE.- Antes y DE.- Después del electroimán).

I Etapa Lixiviación	Recuperación % AE		Recuperación % DE		Diferencias
	Promedio	Desv. Sta.	Promedio	Desv. Sta.	
Pulpa					
Recuperación. Ni %	73.05	3.06	71.43	3.02	1,62
Recuperación Co%	34.43	11.71	27.36	11.62	7,07

Se muestra la marcada diferencia de recuperación del % Ni y % Co %, por efecto de la floculación electromagnética (Amperaje aplicado a los electroimanes, a las características físico-químicas que componen el sólido presente en las pulpas y a factores de concentraciones del NH_3 y CO_2 en los licores de primera etapa de lixiviación).

➤ **Otros experimentos que relacionan a las menas de yacimiento Yagrumaje Sur y Camarioca Este, con la mineralogía descriptiva y los efectos en la densificación de las pulpas amoniacales.**

Comentábamos con anterioridad que en el yacimiento de Yagrumaje Sur gran parte de los sectores que lo incluyen presentan otra génesis, también observados en algunos sectores del yacimiento de Camarioca Este, presentan diferente comportamiento industrial a otros yacimientos estudiados con antelación y explotados por la industria, en estos casos hay un desbalance Geoquímico, es decir, se acrecientan en valores superiores a los normales las fases mineralógicas de aluminio por encima, en un 3 hasta 6 % como valor máximo, con respecto a otros yacimientos ya procesados en años anteriores, constituidos por las fases mineralógicas de la mena del mineral alimentado (HR-1): Hidragilita, Gibbsita hasta Bohemitas identificados por [16], aspecto que hace que durante la reducción de estas cristalicen en mayor concentración y aparezcan con mayor proporción la fase reducida o lixiviada de Galaxita (Fase que no reacciona con la solución carbonato-amoniacal), principalmente se debe al desbalance de la concentración o disminución de los contenidos del % de Ni, Fe y Mn, es decir, en proporciones muy diferente a las menas de los yacimientos normales de procesamiento metalúrgico, esto es debido a que su génesis es dada por re-deposición de las menas lateríticas en el yacimiento minero, especialmente en la región de Punta Gorda-Yamanigüey, dado a los efectos medioambientales, en especial del cauce de los ríos presentes en esta zona durante un largo periodo que han transformado a estas menas y han tenido otra génesis.

Ejemplo clásico de dicha irregularidad representa la mena siguiente, ya alimentada al proceso de calcinación reductora, según la tabla siguiente:

Tabla 11. Ejemplo de la composición química de la mena alimentada (HR1) de un yacimiento descompensado.

Ni %	Co %	Fe %	SiO ₂ %	MgO %	Al ₂ O ₃ %	Mn %
0.97	0.11	41.3	8.10	2.78	9.86	0.54

Tabla 12. Resultado de la fase principal de aluminio identificada mineralógicamente de la mena HR-1 por Espectrometría de Difracción de Rayos-X.

Pattern List						
Quantification Anchor Scan Data Pattern List X Peak List Refinement Control Scan List						
Accepted Ref. Pattern: None						
No.	Visi...	Ref. Code	Mineral Name	Compound Name	Chemical Formula	Score
1	<input checked="" type="checkbox"/>	ICDD 00-007-0324	Gibbsite	Aluminum Hydroxide	Al(OH) ₃	20

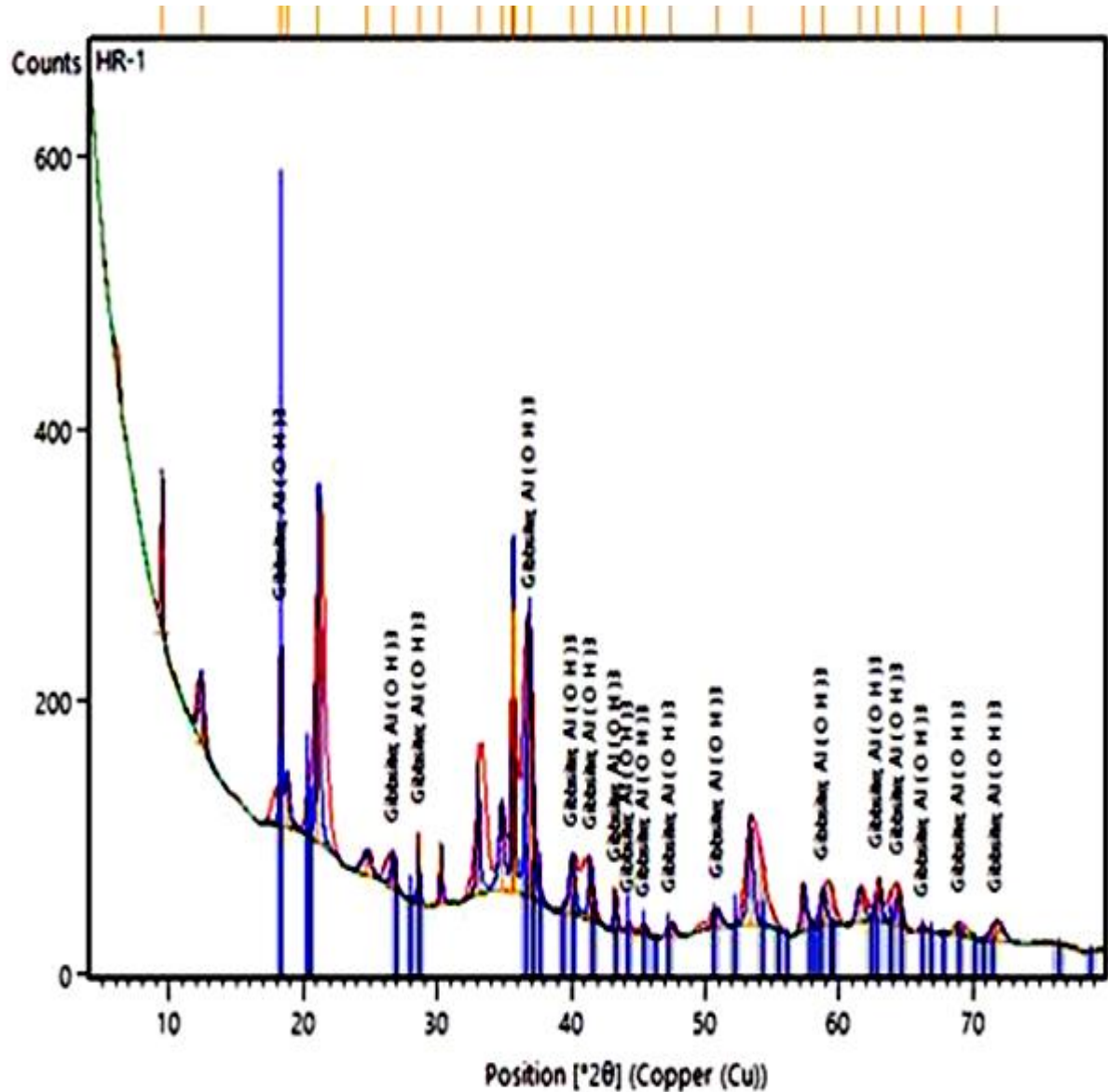


Figura 14. Caracterización mineralógica de las fases de aluminio en esta mena anteriormente alimentada al proceso industrial.

Tabla 13. Principales Intensidades de los picos (I) y la distancia interplanar (d) de la fase Gibbsita $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ identificados.

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I [%]
1	0	0	2	4.82000	1.189	100.0
2	1	1	0	4.34000	1.320	40.0
3	2	0	0	4.30000	1.332	20.0
4	-2	0	2	3.35000	1.710	10.0
5	-1	1	2	3.31000	1.731	6.0
6	-2	1	1	3.17000	1.808	8.0
7	2	0	2	3.08000	1.860	4.0
8	1	2	0	2.44000	2.348	16.0
9	0	0	4	2.42000	2.368	4.0
10	-1	2	1	2.37000	2.418	20.0
11	1	0	4	2.28000	2.513	4.0
12	2	1	3	2.23000	2.570	6.0
13	-2	2	1	2.15000	2.665	8.0
14	-4	0	2	2.03000	2.823	12.0
15	4	1	0	1.98000	2.894	10.0
16	2	2	2	1.95000	2.939	2.0
17	3	2	0	1.90000	3.016	8.0
18	4	1	2	1.79000	3.201	10.0
19	3	2	2	1.74000	3.293	10.0
20	-5	0	2	1.67000	3.431	10.0

Tabla 14. Composición química del sólido que integra la pulpa amoniacal, después del electroimán, que es generada al transformarse el mineral alimentado citado anteriormente, pero después de pasar el proceso de calcinación reductora y la lixiviación amoniacal (HR3-3).

Ni %	Co %	Fe %	SiO ₂ %	MgO %	Al ₂ O ₃ %	Mn %
0,61	0,097	43.5	11,3	5.35	9,44	0,65

Tabla 15. Fases mineralógicas identificadas en el sólido que compone la muestra caracterizada por Difracción de rayos-X, con composición química presente en la tabla 14, especialmente de las fases de aluminio y manganeso formadas en HR3-3.

Pattern List						
Quantification Anchor Scan Data Pattern List X Peak List Refinement Control Scan List						
Accepted Ref. Pattern: None						
No.	Visi...	Ref. Code	Mineral Name	Compound Name	Chemical Formula	
1	<input checked="" type="checkbox"/>	00-046-1212	Corundum, syn	Aluminum Oxide	Al ₂ O ₃	
2	<input checked="" type="checkbox"/>	01-070-3322	Ruby, syn	Aluminum Oxide	Al ₂ O ₃	
3	<input checked="" type="checkbox"/>	00-029-0880	Galaxite, syn	Manganese Aluminum ...	Mn Al ₂ O ₄	
4	<input checked="" type="checkbox"/>	00-029-0881		Manganese Aluminu...	Mn ₂ Al O ₄	
5	<input checked="" type="checkbox"/>	00-013-0162		Manganese Oxide	Mn ₃ O ₄	
6	<input checked="" type="checkbox"/>	03-065-2821		Manganese Oxide	Mn O ₂	
7	<input checked="" type="checkbox"/>	00-001-0799	Pyrolusite	Manganese Oxide	Mn O ₂	

Figura 15. Caracterización mineralógica de las fases de aluminio y manganeso en la mena anteriormente alimentada al proceso industrial (HR3-3).

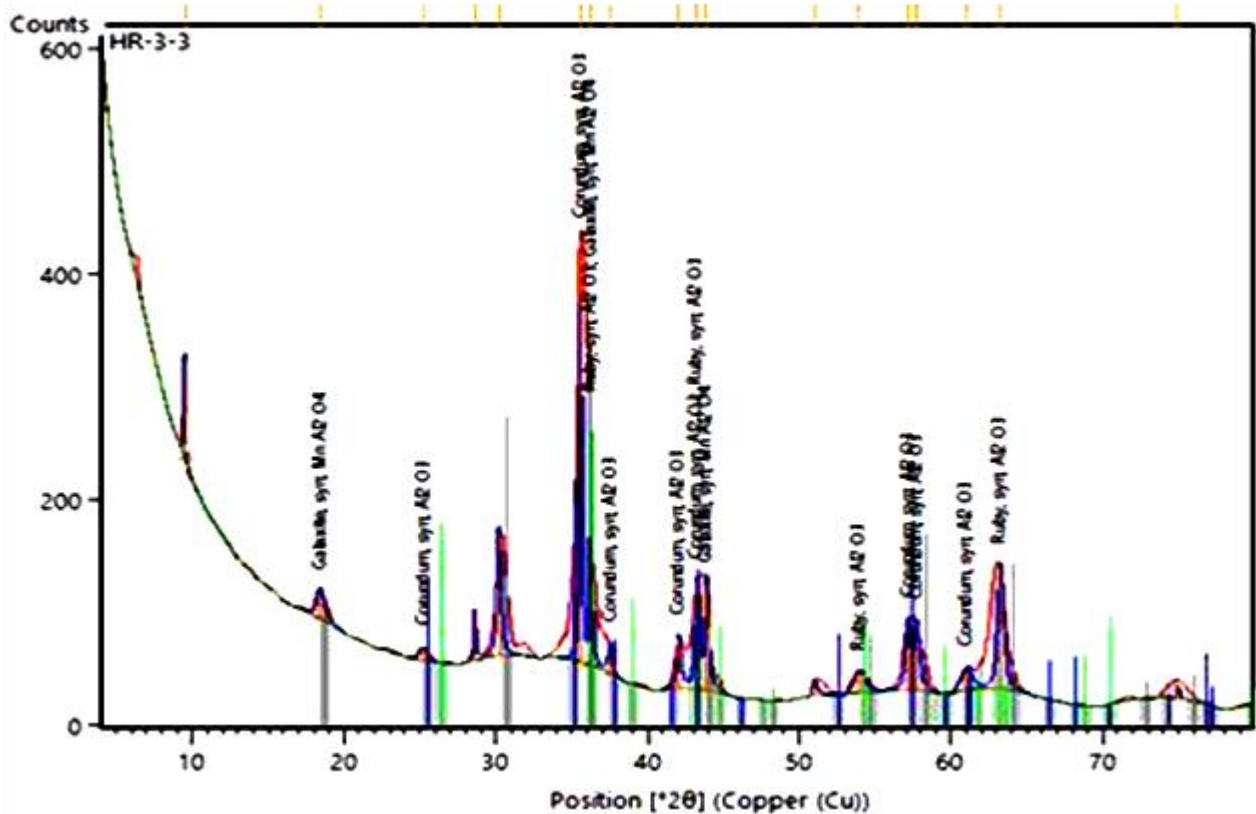


Tabla 16. Principales Intensidades de los picos (I) y la distancia interplanar (d) de la fase Galaxita [(Fe, Mn)Al₂(O₄)] identificados, también fueron registrado la presencia de otras fases de aluminio como son: Corundum - Ruby [Al₂O₃] y de manganeso asociado al aluminio en menores concentraciones.

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta[deg]	I (%)
1	1	1	1	4.73000	1.211	2.0
2	2	2	0	2.90000	1.976	75.0
3	3	1	1	2.47400	2.316	100.0
4	4	0	0	2.05100	2.794	30.0
5	3	3	1	1.88200	3.045	4.0
6	4	2	2	1.67500	3.421	18.0
7	5	1	1	1.57900	3.629	50.0
8	4	4	0	1.45000	3.952	40.0
9	6	2	0	1.29700	4.419	6.0
10	5	3	3	1.25100	4.581	9.0
11	6	2	2	1.23700	4.633	2.0
12	4	4	4	1.18400	4.841	2.0
13	7	1	1	1.14900	4.988	1.0
14	6	4	2	1.09600	5.230	8.0
15	7	3	1	1.06800	5.367	15.0
16	8	0	0	1.02550	5.589	7.0
17	8	2	2	0.96700	5.928	6.0
18	7	5	1	0.94730	6.051	12.0
19	6	6	2	0.94100	6.092	2.0
20	8	4	0	0.91700	6.251	2.0

➤ **Influencia en el proceso operativo la presencia de abundantes fases mineralógica de aluminio en el proceso comercial**

La presencia de menas en HR-1 con concentraciones de aluminio por encima de 8.8 % y por debajo de 0.60 % de manganeso, generalmente son poco susceptible a magnetizarse estos sólidos, incluso los sólidos que integran las pulpas amoniacaes presentan baja característica de magnetización al pasar por los electroimanes de ubicados en antes los sedimentador de lixiviación de cada mini-serie, además los efectos fundamentales que generan desde el punto operativo, es que observamos bajas densidades de las pulpas amoniacaes al realizar caracterizar los transversos en los sedimentadores de primera etapa de lixiviación [17], generalmente se opera a la salida del cono del sedimentados con

densidades que deben estar normadas en valores cercanos o igual a los 1750 g/l y se han obtenido valores de 1600 g/l, con un comportamiento de la pulpa con la presencia de rebosos sucios o turbios a 3 o 1 pie de profundidad (Desde la parte superior del sedimentador hasta la inferior), además se ha observado generalmente bajos recobrados de contenido de níquel del sólido que forman los residuales de la industria y que no se deben a problemas operativos de manipulación de las pulpas del sistema por balance, en otras palabra, se hace poco operativo por tener menor área unitaria la zona de extracción del licor producto del sedimentador de primera etapa, obstaculizando la dinámica del proceso comercial.

- **Estudio comparativo de menas normales y críticas para el proceso hidrometalúrgico según la composición químico-física del mineral alimentado a Hornos de Reducción.**

Tabla 17. Comparación de resultados promedios

Muestras	Ni %	Co %	Fe %	SiO ₂ %	MgO %	Mn %	Al ₂ O ₃ %	FM %	ρ Especifica [g/cm ³]	ρ Aparente [g/cm ³]
Actuales										
PROMEDIO Críticas	0,99	0,107	41,3	8,1	2,78	0,54	9,86	26,22	3,26	0,689
PROMEDIO Normales	1,17	0,123	41,15	8,13	3,32	0,73	8,56	30,27	3,49	0,668

Dónde:

ρ.- Densidad específica del sólido

FM %.- Fracción magnética

Figura 14. Estudio de los transversos en el sedimentador (Representación esquemática).

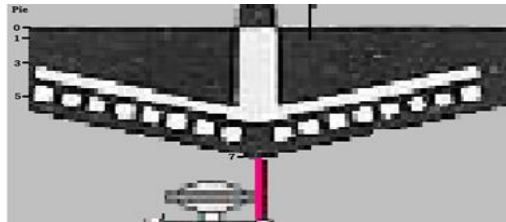


Tabla 17. Comparación de los estudios de transversos según el tipo de pulpa.

Reporte de transversos (Sedimentadores de Primera Etapa de Lixiviación) [Kg/l]					
Para pulpas críticas influenciada por las fases de Aluminio					
Sedimentador/Pie	7	5	3	1	0
Sed B	1200	1180	1140	—	—
Sed B	1290	1240	1210	Sucio	—
Sed A	1290	1230	1200	1160	Turbio
Sed B	1260	1230	1200	Turbio	—
Pulpas normales balanceadas					
Pie	7	5	3	1	0
Sed B	1340	1300	1210	—	—
Sed B	1380	1340	1210	—	—
Sed B	1390	1240	1260	—	—
Sed A	1350	1290	1250	—	—

- **Modo de identificación previa de la baja densificación de las pulpas amoniacaes a partir de las menas procesadas hoy en día por la tecnología carbonato-amoniacal.**

El procedimiento propuesto para su identificación y accionar ante el problema. Es una adición al

Florescencia de Rayos –X, implementado para los ensayos de laboratorio en la Empresa Productora Comandante Ernesto Che Guevara (Planta Punta Gorda), sólo que se calibraron con el **Programa MAP (Al, Cr, Mn)** para determinar los contenidos de Aluminio, Manganeseo y Cromo en la muestra HR-1 analizada y así identificar las concentraciones químicas de varios elementos, por lo tanto, es parte del mismo principio o procedimiento de preparación de muestra para la caracterización de las muestras a estudio, en sí, es un complemento de lo ya existente con dicha técnica basada en el programa cuantitativo por Espectrometría de Fluorescencia de rayos–X tipo: AXIOS_{Max} de la firma PANalytical.

Como estudio complementario puede realizarse la caracterización mineralógica de las fases de aluminio presentes en la mena por Espectrometría de Difracción de rayos–X, método convencional de identificación de fases, pero su coste de análisis sólo se recomienda para muestras atípicas o diferenciadas, es decir, en cuanto su concentración en la mena.

Conclusiones

Se ofrecen algunas de las conclusiones encontradas durante el procesamiento metalúrgico de las menas y su efecto en el proceso hidrometalúrgico de la tecnología carbonato-amoniaco, entre ellas tenemos:

1. Los sólidos que integran las pulpas amoniacoales a pesar que presenta mayoritariamente fases mineralógicas de Maghemita $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ y Magnetita Fe_3O_4 , estas no presentan propiedades magnéticas, si no son expuesta a un campo electromagnético.
2. El control del proceso de floculación electromagnética, se considera un procedimiento de muy simple control operación o tradicional de la planta de lixiviación (Separación gravitatoria para la separación Líquido/sólido, indicador de Velocidad de sedimentación), es un descuido no considerar relevante para el control de la eficiencia de recuperación del % Co, según las variaciones de la floculación electromagnética y su influencia con el sólido presente en las pulpas lixiviadas.
3. Se corrobora que la floculación electromagnética en magnética remanente, se considera un proceso de fabricación de imanes permanentes (pseudo-ferritas) durante el proceso de sedimentación de los sólidos que integran las pulpas amoniacoales.
4. Se observó que la explotación de los electroimanes de primera etapa de lixiviación se encuentran muy por debajo del diseño nominal (5000 Gauss), independientemente, operan en régimen correcto de explotación, especialmente para las pulpas amoniacoales.
5. Se descubre por primera vez, que la inducción del campo electromagnético no es solamente generado por el electroimán, sino además, generado por el sólido que integran las pulpas amoniacoales, al transitar estas por el electroimán (Sumas de efectos al ser susceptibles y mantener una magnetización remanente durante el paso del sólido por el circuito de lixiviación y lavado).

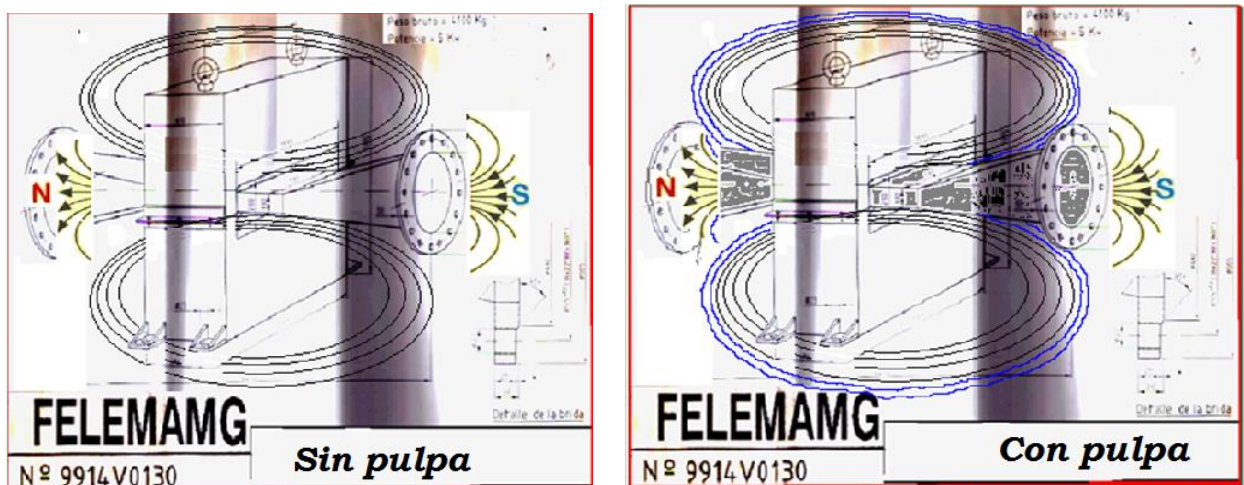


Fig.18 Electroimán

6. Los electroimanes presentes en las Miniseries de primera etapa de lixiviación, deben registrarse fundamentalmente, por el amperaje aplicado, como condición indispensable, que no deben ser superiores a 5 Amperes, y no menor a 4 Amperes de explotación.
7. Las mediciones efectuadas de la inducción del campo electromagnético (Gaussímetro), sólo servirá de referencia sobre la existencia y control del campo electromagnético generado en su totalidad (Electroimán+Pulpa), es decir, durante el tránsito de las pulpas que hacen que varíe el campo electromagnético causado por la variabilidad mineralógica del sólido que integra las pulpas que circulan por estos.
8. En un régimen de explotación de 4 – 5 Ampere de corriente directa a los electroimanes de primera etapa de lixiviación, no afecta la operatividad del proceso y puede proporcionar un incremento de la recuperación de Cobalto hasta un 18 % aproximadamente, con respecto a las actuales operaciones de los electroimanes ubicados en las Series A, B y C que operan con intensidades de corriente de 5 hasta 23 Amperes.
9. Se demostró lo irregular de las concentraciones de los elementos químicos que componen las menas de los actuales yacimientos de explotación, caracterizado por la variación de los elementos (Mn y Al).
10. Se estima que un aumento del contenido de Aluminio (Diamagnético) por encima de 8.8 % puede perjudicar el proceso de densificación de las pulpas, según la trazabilidad de los minerales alimentados estudiados y el efecto observado en el proceso de lixiviación a escala comercial.
11. Semejante observación a la anterior se apreció con la disminución del contenido del manganeso (Magnético) por debajo de 0,59 % que perjudica el proceso de floculación magnética y contribuye en la mala densificación de las pulpas amoniacaes.
12. La combinación del aumento del aluminio y disminución del manganeso, además de no pasar las pulpas por un campo electromagnético, pueden desfavorecer el proceso de densificación y sedimentación de las pulpas amoniacaes.
13. Se ha corroborado que las pulpas obtenidas en las campañas que se procesan menas de los yacimientos Yagrumaje Sur y de algunos Sectores del Yacimiento Camarioca, indican que el mineral tiene características moderadas o críticas de densificación de las pulpas en la tecnología Caron.
14. La disminución de las concentraciones de los agentes lixiviantes (**NH₃ y CO₂**) en la primera etapa de lixiviación hace que sea más efectiva la magnetización remanente del Ni y Co en los sólidos residuales, por lo tanto, pérdidas en la eficiencia extractiva metalúrgica del sistema en general.
15. Un incremento del CO₂ en primera Etapa de Lixiviación, mejorará el proceso lixiviación por la formación de FeCO₃ en el sólido hacia las colas y con un incremento en la lixiviación del Ni y Co posterior en el sistema de lavado, al disminuirse la hidrólisis del hierro con menores concentraciones de NH₃ en esta primera etapa de lixiviación (Para ello leer artículos publicados en la Revista de Tecnología Química: Miranda L., J. *“Breve historia del surgimiento de la tecnología hidrometalurgia del proceso de lixiviación carbonato-amoniaca del Ni y Co*, Revista Tecnología Química, Vol. XXXIV, No. 3, mayo-agosto, 2014, págs. 262-265. Y: Miranda L., J. *“Intensificación del proceso de lixiviación de las pulpas amoniacaes”*, Revista de Tecnología Química: aprobado diciembre 2015, Vol. 1, febrero 2016, presentado en el CD de resúmenes de la 21 Conferencia de Química Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 3-5 de Diciembre 2014.

RECOMENDACIONES

- Como situación indispensable para el incremento de la recuperación % de Cobalto, deben registrarse en el proceso hidrometalúrgico de la primera etapa de lixiviación, desde el punto de vista operativo, con un adecuado funcionamiento de los electroimanes en un rango de 4 a 5 Amperes, siempre y cuando los agentes lixiviantes de NH₃ y CO₂ no superen los 75 g/l y los 60 g/l, consecutivamente, ya que superior a estas condiciones, es insignificante los efectos de la magnetización remanente del sólido para la recuperación del Ni y Co .

- Introducir en el sistema de control automatizado de la planta de lixiviación, la intensidad de corriente de cada uno de los electroimanes de la industria, para que puedan ser supervisados por los operarios y tecnólogos de proceso, especialmente del panel de control o en el sistema informatizado de la industria (CITEC).
- Prestar especial atención al sistema de exploración y explotación de los yacimientos a la composición química del contenido de Manganeso y Aluminio de los minerales lateríticos, para tratar de evitar alimentar inadecuada cantidad de menas con concentraciones variadas, que generen posibles crisis de densificación en el circuito hidrometalúrgico, especialmente con el aumento de la fase mineralógica de la Galaxita [(Fe, Mn)Al₂(O₄).
- Compensar el mineral de alimentación a un valor razonable las relaciones del Al y Mn durante el proceso de homogenización de los distintos frentes mineros.
- A más de 73 años de puesta en marcha la Nicaro Nickel Company, donde ha prevalecido el esquema antiguo del circuito hidrometalúrgico hasta presente año 2016, que consiste en obtener un proceso con la mayor recuperación de % Níquel y el menor recobrado del % de Cobalto, se sugiere evaluar estos aspectos reflejados en el presente artículo, en busca de modificar el esquema tecnológico para obtener una mayor eficiencia de recobrado de este último elemento mencionado.

Bibliografía

1. CARON, M. H. "Fundamental and Practical Factors in Ammonia Leaching of Nickel and Cobalt Ores". *Journal of metal*, no. 188, 1950, p. 67-90.
2. CHANG, A. C. "¿Cómo extraer más cobalto sin afectar níquel en la lixiviación carbonatoamoniaca de menas lateríticas reducidas?" *Revista Minería y Geología*, vol. XVII, no. 2 y 4, 2000, p. 47-53.
3. DUFOUR, M. F.; HILLS, R. C. "Nickel from Cuba", *Chemical Industries*, no. 2 october, 1945, p. 621.
4. HAVER, F. P. "Study of the Nicaro leaching and washing circuit, Nickel Processing Corporation pilot plant department". *Technical Report*, no. 205, Nicaro, Cuba, 1953.
5. MIRANDA, J. L. "Incremento de la recuperación del Ni y Co, en las pulpas amoniacaes". Conferencia Internacional de Electromagnetismo Aplicado CNEA, Santiago de Cuba, Cuba, 2009.
6. TOBELMANN, A. H.; MORGAN, H. J. "Review of the Nicaro Nickel Project, Report N0 97271, *Plancor 690*". *Technical Report No. 1195*, U.S. Department of Commerce, Washington, D.C., 1945.
7. MIRANDA J. L. Y P. MERENCIO. Toma, preparación, y análisis químico-físico de muestras en los electroimanes de la Planta de Lixiviación de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara (ECG). Informe Técnico del Servicio Científico-tecnológico 300120, CEDINIQ, (Logro científico introducido en la ECG: 4/2016), Moa, 2016.
8. Manual de explotación: Amperímetro digital de gancho Vemer 2605 de corriente directa y alterna, hasta 1000 Amperes, hecho en China, 2006.
9. Manual explotación electroimán Tipo "*Felemamg*" de la firma española (Asturias), 2003.
10. ROJAS V.A.; L. Garlobo, y Salazary A. García. "Efecto de la floculación magnética sobre las extracciones de níquel y cobalto", Informe Técnico, CEINNIQ, Nicaro, 2004.
11. MIRANDA López J. et al, "Interrelación de la mineralogía con la tecnología carbonato-amoniaca, informe técnico, CIL, tomo I y II 1-2/1997.
12. NRIB – 579:1983 "Prueba de sedimentación" por MÉTODO DE COE Y CLEVENGER), ECG.
13. MIRANDA J. L y Col. "Estudio del control operativo del proceso hidrometalúrgico a través del diagnóstico electromagnético y de los análisis físico-químicos especiales", Proyecto I+D No. 600180, CEDINIQ, Moa, 2015.
14. MANUAL DE EXPLOTACION por el método de polvo en un Difractómetro X'PERT³ de PANalytical, incluye análisis cualitativo de fases se realiza con la utilización del programa HIGHSCORE de PANalytical.
17. NEIB - 61-03-02: 2013. "Transversos", ECG.