

***CONFERENCIAS INTERNACIONALES DE
TECNOLOGÍAS LIMPIAS PARA LA MINERÍA
Y LA INDUSTRIA METALÚRGICA***

**ESTUDIOS DE PROCESAMIENTO DE
RESIDUALES DE LA INDUSTRIA CUBANA
DEL NÍQUEL**

Ing José Falcón Hernández DrC; Ing Margarita Penedo Medina MSc;
Ing Yudith González Díaz MSc; Ing José Guerrero Habert MSc;
Ing Yosbanis Cervantes MSc

La industria del níquel en Cuba y la extracción del níquel y cobalto vía hidrometalúrgica

Proceso de lixiviación carbonato amoniaco

- Empresas René Ramos Latour y Ernesto Che Guevara.
- Residuales en forma de pulpa (colas), conformada por sólidos y líquidos con carácter básico, gases y partículas.

Proceso de lixiviación ácido a presión

- Empresa Pedro Sotto Alba-Moa Nickel S.A
- Residual sólido compuesto por partículas mayores 0,083 mm, pulpa final con ~ 30 % de sólidos de carácter ácido, residual de la precipitación del Ni y Co denominado WL y gases ácidos.

Las reservas actuales de colas almacenadas superan los 150 millones de toneladas.

Proyecto ALFA Tecnologías Limpias en la Industria Minera

Los trabajos incluidos en los intercambios fueron:

- La extracción de Ni y Co a partir de las colas del proceso metalúrgico carbonato amoniaco, empleando productos de pirólisis de materiales lignocelulósicos.
- La recuperación de agua industrial a partir de los residuales líquidos y la pre-concentración del Ni y Co en el rechazo, hasta concentraciones en las cuales estas puedan reciclarse a la tecnología hidrometalúrgica ácida a presión.
- La aplicación de nuevas técnicas en el estudio de la floculación en las suspensiones de sólido-líquido, básico para la interpretación del comportamiento de la sedimentación en los procesos de la metalurgia extractiva a partir de minerales lateríticos.

Estudios dirigidos a la utilización de las colas:

- El tratamiento de las colas antes de ser almacenadas: ajuste de pH, eliminación de elementos perjudiciales,.....
- Disposición de las colas: localizando, preparando y adecuando las zonas para su almacenamiento, así como la evaluación del impacto ambiental de las mismas. Incluyendo la posible utilización de un emisario submarino.
- Utilización de las colas: como materia prima para industria siderúrgica, producción de cemento, relleno de zonas degradadas, construcción de carreteras, recuperación de metales valiosos y otras.

Composición aproximada de las colas de lixiviación ácida y carbonato amoniacal (básica), en %.

Componentes	Colas tecnología ácida	Colas tecnología básica
Ni	0,06 – 0,14	0,3 – 0,4
Co	0,008 – 0,01	0,08
Fe	44 – 48	43 – 45
Mg	0,05 – 0,1	3,5 – 4,5
Mn	0,3 – 0,4	0,5 – 1,5
Al	3 – 4	4 – 4,5
Cr	1 – 2	2 – 2,5
Ca	2	0,1
SiO ₂	5 – 8	4 – 5
S	2 - 3	0,3

Características del licor WL y contenidos de contaminantes, para un flujo de 20000 m³/día y 350 días de trabajo al año [Cueto, 2005]

Sustancias	Contenido, mg/l	Toneladas/año
H ₂ SO ₄ libre	8200	57 400
H ₂ S	78	546
AL	4300	30 100
Mn	1720	12 040
Cr	620	4 340
Fe	720	5 040
Ni	36	252

Los estudios realizados estuvieron encaminados a:

- La extracción de Ni y Co a partir de las colas del proceso metalúrgico carbonato amoniaco, empleando productos de pirólisis de materiales lignocelulósicos.
- La recuperación de agua industrial a partir de los residuales líquidos y la pre-concentración del Ni y Co en el rechazo, hasta concentraciones en las cuales estas puedan reciclarse a la tecnología hidrometalúrgica ácida a presión.
- La aplicación de nuevas técnicas en el estudio de la floculación en las suspensiones de sólido-líquido, básico para la interpretación del comportamiento de la sedimentación en los procesos de la metalurgia extractiva de los minerales lateríticos.

Materiales y métodos

- Los estudios han sido realizados en la Universidad de Oriente, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, Universidad Complutense de Madrid, Universidad Federal de Río de Janeiro – Brasil, Universidad Leoben de Austria y el Centro de Investigaciones del Níquel, utilizando en cada caso facilidades de equipamiento para los ensayos de laboratorio y/o escala semi-industrial.
- En los trabajos fueron utilizados mineral de colas de la planta Rene Ramos Latour, mineral del yacimiento Yamanigüey y mezclas sintéticas conteniendo una composición similar a los licores de proceso y de desecho de la industria.

Estudio 1 – Lixiviación de la cola

Para la caracterización química y mineralógica se emplearon las siguientes técnicas de análisis:

- Análisis de fases por difracción de rayos X
- Espectrofotometría de Absorción Atómica
- Microscopía electrónica de barrido

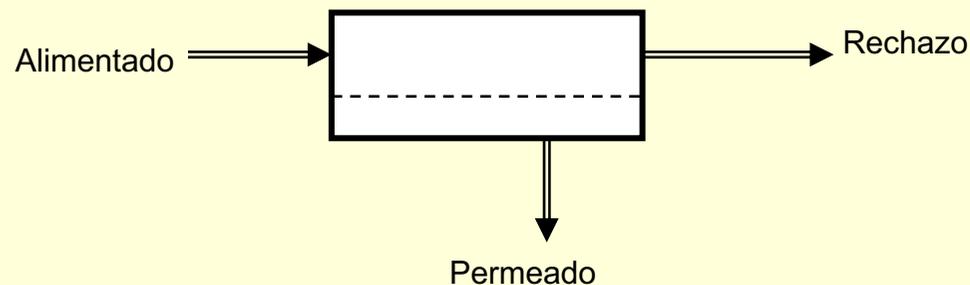
Para los ensayos la cola se clasificó en las fracciones +0,149; -0,149+0,074 y -0,074 mm.

En los ensayos de lixiviación se utilizaron 3 tipos de reactores.

- *Reactor de lixiviación 1.* Reactor de cristal, con fondo esférico; 250 mL de capacidad.
- *Reactor de lixiviación 2* Reactor cilíndrico metálico de 1,5 litros de capacidad, diámetro 12 cm y altura 16 cm y agitador de hélice.
- *Reactor de Lixiviación 3* Reactor de acero inoxidable para trabajo a presión (autoclave) de hasta 10 atmósferas, con agitador mecánico y capacidad de 1,2 litros.

Estudio 2 – Membranas para WL

Investiga la posibilidad de mezclar el residual WL con la cola de la Empresa Ernesto Che Guevara, con lo que incrementa el pH hasta valores mayor de 3, precipita y separa Al y Cr y enriquece el licor obtenido en Ni y Co. Este licor pasa a separación en procesos de membranas, en esquema como el mostrado a continuación:



- En los ensayos se han utilizado licores sintéticos y una instalación compuesta por bomba de diafragma, compensador de presión y membrana. La membrana utilizada ha sido la FILMTEC NF-2540.
- Además, se tienen datos del trabajo industrial para tratamiento de agua con membrana BW30LE-400 (8' x 40')

Estudio 3 – Floculación de suspensión mineral

- Ensayos de floculación, defloculación y refloculación fueron realizados empleando el equipo de medida por reflexión de rayo enfocado (FBRM), que resulta una técnica de microscopio láser con sistema de medida por reflexión de rayo enfocado. Fue utilizado el equipo de laboratorio modelo M500, junto con un dosificador automático.
- Se utilizaron 3 floculantes de la firma CIBA: Percol 155, poliacrilamida aniónica de muy alto peso molecular y baja densidad de carga; Percol LT-24, poliacrilamida catiónica de peso molecular medio y baja densidad de carga; y Percol LT-20, poliacrilamida no iónica de alto peso molecular.

Tabla 4. Análisis químico por el método de Fluorescencia por rayos X (Método FRX)

Componente	Ni	Co	Fe	Mg	Al	SiO ₂	Cr	Mn
%	1,25	0,096	47,0	0,21	5,12	3,54	1,80	0,65

Principales resultados y análisis

Estudio 1 – Extracción de los componentes y selectividad en la lixiviación

Experimento	Extracción, %				Selectividad en la extracción de componentes			
	Ni	Co	Fe	Mn	Ni	Co	Fe	Mn
APB destilado	17.83	12.69	19.77	21.47	1,97	1,4	2,19	2,37
APB residuo	19,91	13,36	22,11	24,09	1,95	1,31	2,168	2,36
APB	35,66	37,02	39,51	34,1	2,24	2,43	2,49	2,21
Acido acético	35,35	38,98	16,35	27,25	2,53	2,86	1,17	1,95
AS	84,2	86,1	90,0	82,13	1,33	1,35	1,42	1,28

Resultados en equipo de 1,5 litros

APB	22,58	29,18	24,21	36,49	1,43	1,85	1,54	2,32
AS/APB=1/1	44,3	62,24	34,11	54,59	1,59	2,24	1,23	1,96
AS/APB = 9/1	72,42	79,24	53,41	75,98	1,48	1,62	1,09	1,55
AS	83,48	86,41	71,03	84,32	1,24	1,28	1,05	1,25

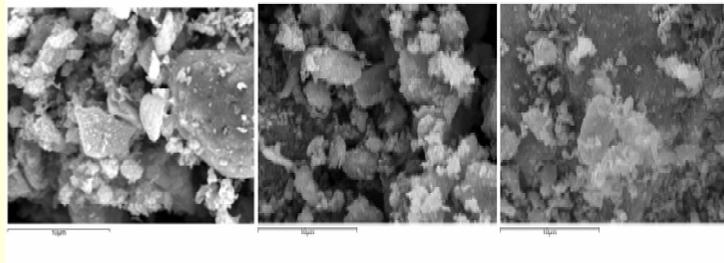
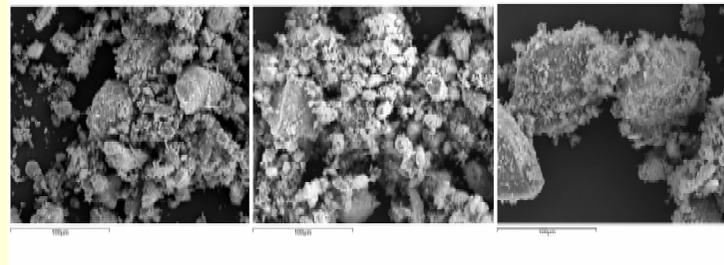
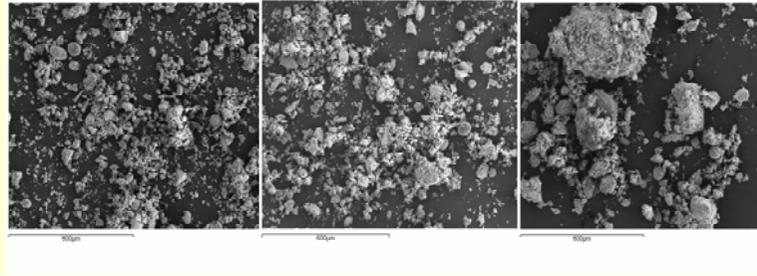
Resultados en autoclave a presión de 4 atm.

AS/APB=1/1	72,34	83,83	58,07	78,69	1,35	1,56	1,08	1,47
APB	71,73	82,79	11,7	88.64	7,52	8,68	1,23	9,29

Los resultados que se muestran en la tabla anterior indican que:

- Los productos de la pirólisis del bagazo de caña pueden ser utilizados para la extracción del Ni y Co presente en las colas del proceso carbonato amoniacal, con lo que puede sustituirse en parte o totalmente al ácido sulfúrico.
- Los productos de la pirólisis incrementan significativamente la selectividad en la extracción del Ni y Co, en particular cuando se trabaja a presión, con lo que puede reducirse la cantidad de ácido necesitado.
- Se observa una extracción y selectividad similar entre el Co y Mn, lo que indica la presencia de asbolanas como contenedora de los mismos.
- Los estudios realizados sobre la estructura de los minerales antes y después de la lixiviación, ponen en duda la necesidad del rompimiento de la matriz (en este caso del hierro) para la liberación y extracción del Ni contenido en el mismo.

- Imágenes SEM de tres muestras de cola de las fracciones – 74;
-149 + 74 y + 149 μm



- 74 μm

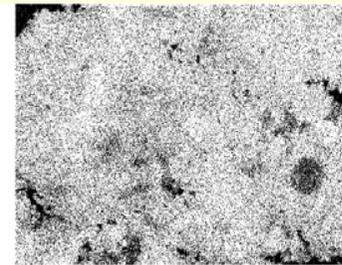
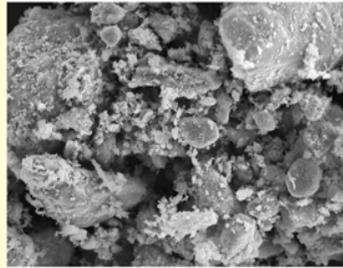
- 149 - 74
 μm

- 149
 μm

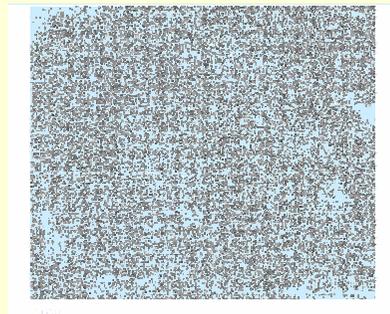
Ing José Falcón Hernández DrC
Universidad de Oriente

Microscopía electrónica de barrido: distribución del hierro, níquel y cobalto en la fracciones antes de ser sometida a lixiviación

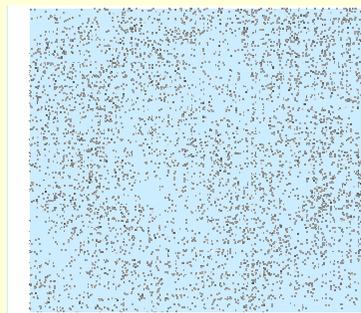
Clase – 74 μm



42,75% Fe



0,074% Co

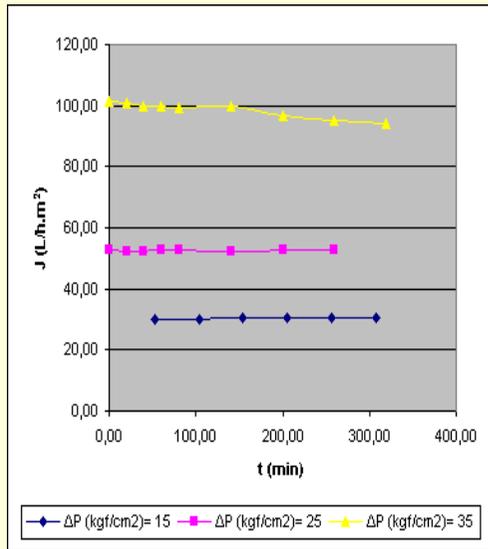


0.414% Ni

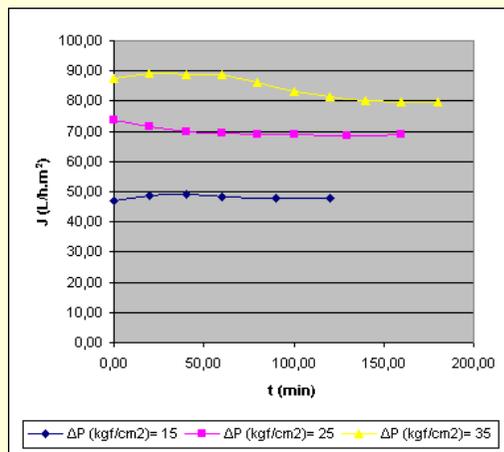
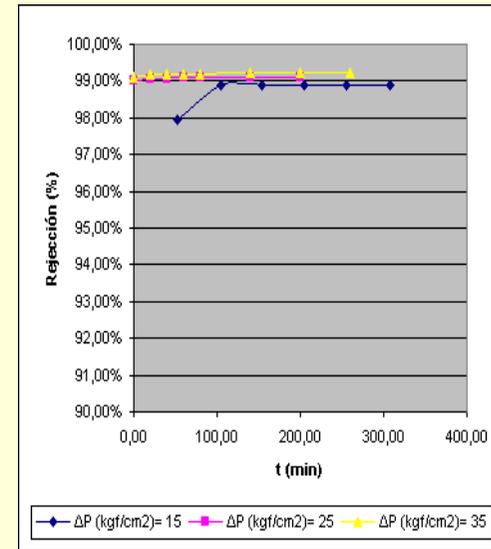
Estudio 2 - Resultados calculados para el procesamiento de residual con membrana BMWL – 30

Parámetros Calculados		K = 2,2		K = 4	
		NiSO ₄	CoSO ₄	NiSO ₄	CoSO ₄
Alimentado	Ln	833,33	833,33	833,33	833,33
Xn		m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Tn		320 mg/L	120 mg/L	320 mg/L	120 mg/L
		30 °C	30 °C	30 °C	30 °C
1- Concentración en el permeado					
X ₂ (mg/L)		3,7	1,39	4,72	1,77
2- Flujo de Permeado L _P (m ³ /h)		L _P = 456,94		L _P = 627,31	
Flujo de Rechazo L _R (m ³ /h)		L _R = 376,39		L _R = 206,02	
3- Concentración en el rechazo					
X _R (mg/L)		704	264	1280	480
4- % de pérdidas (%)		0,63 %	0,63 %	1,1 %	1,1 %
5- Masa Velocidad J.					
(m ³ ·MPa/m ² ·h) en Alimentado		6,42x10 ⁻³	6,42x10 ⁻³	6,42x10 ⁻³	6,42x10 ⁻³

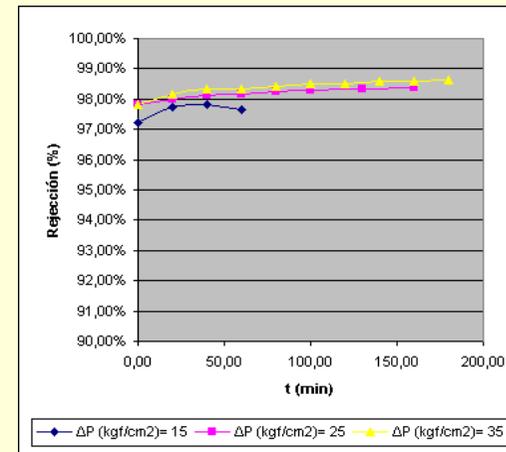
Comportamiento de los sulfatos de magnesio (a) y aluminio (b) en la separación con membrana FILMTEC NF-2540



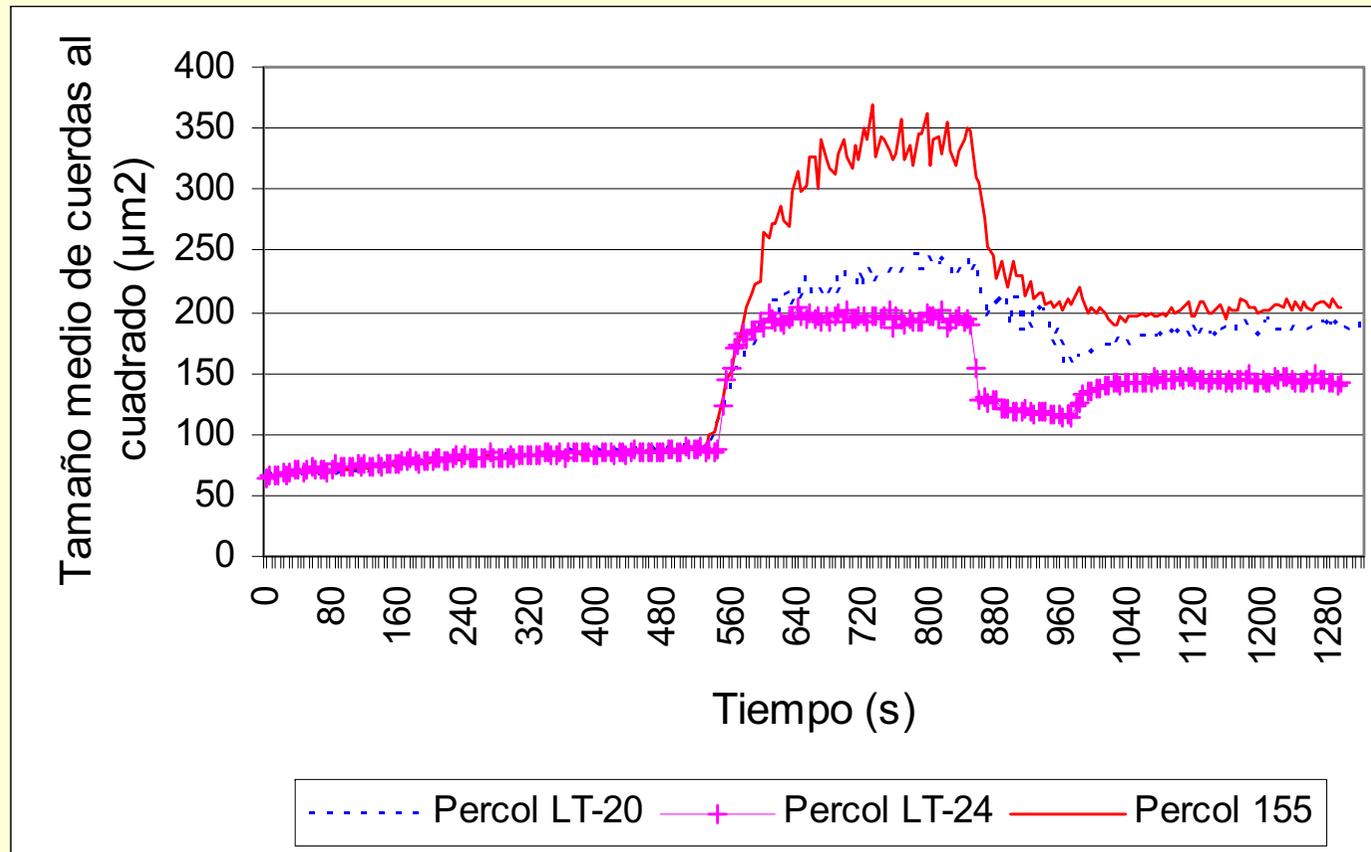
(a)



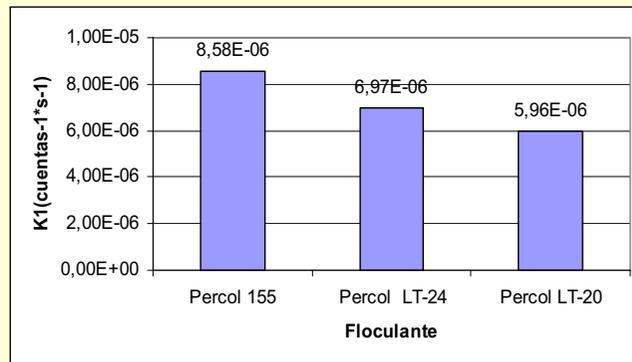
(b)



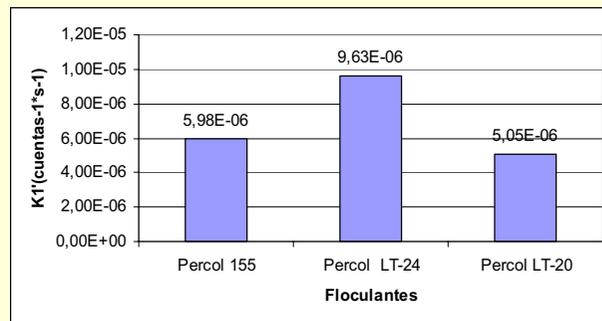
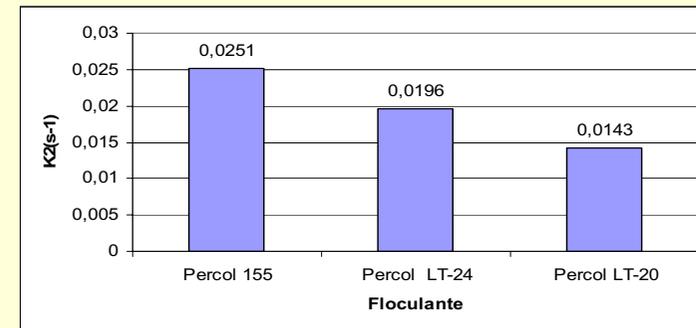
Estudio 3 - Evolución del tamaño medio de cuerda durante la floculación, defloculación y refloculación de una suspensión en agua de rebose de mineral laterítico al 1 %



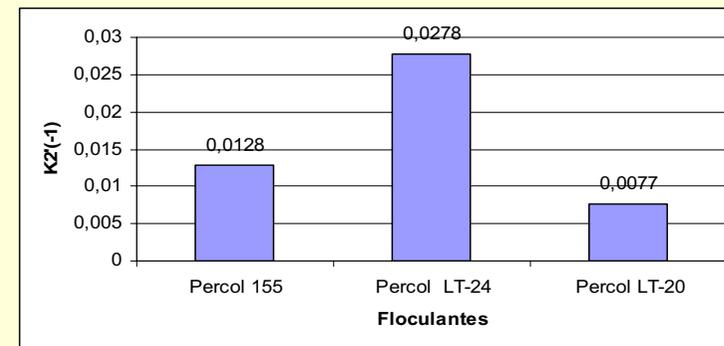
Constantes cinéticas K1 y K2 durante de floculación (a) y refloculación (b) de la suspensión en agua de reboso de mineral laterítico al 1 %.



(a)

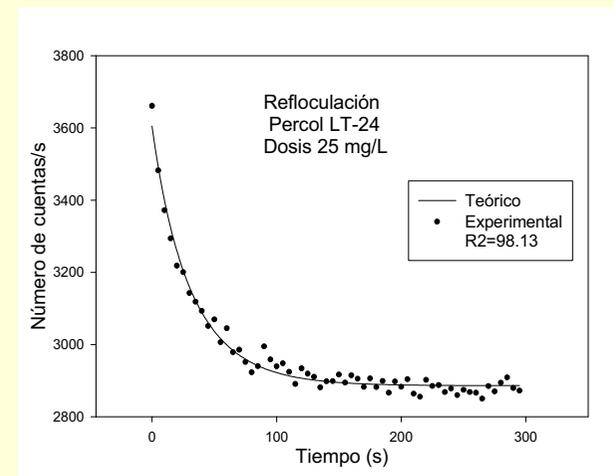
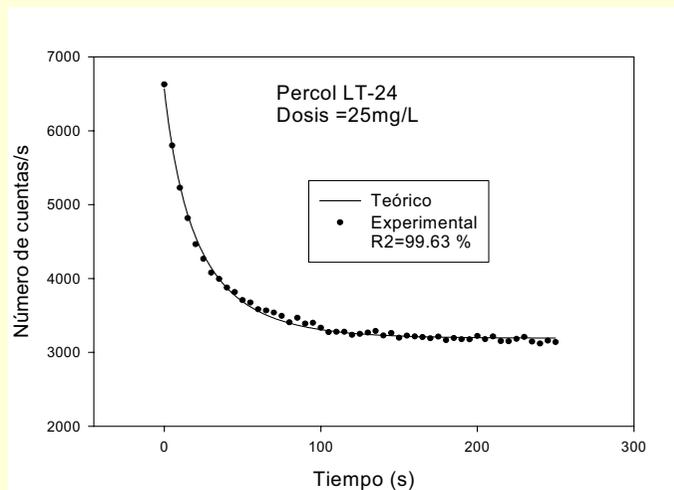
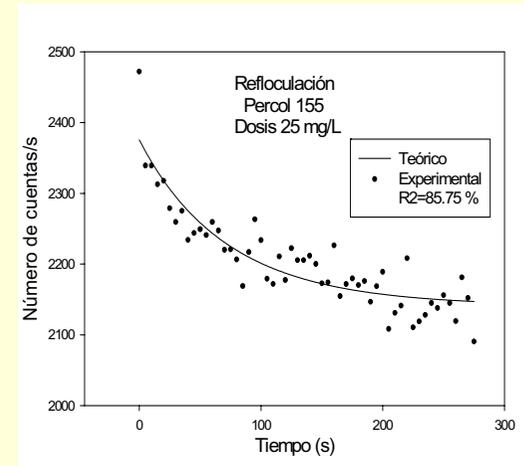
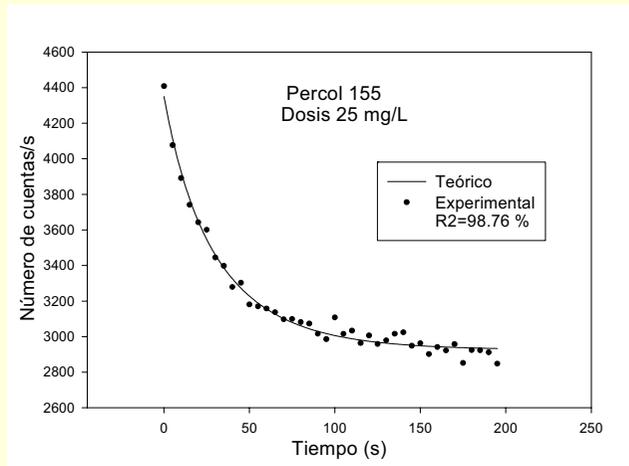


(b)



$$\frac{dN}{dt} = -k_1 N^2 + k_2 N$$

Ajuste al modelo cinético de Smoluchoski en los procesos de floculación y defloculación con floculantes estudiados



Aplicación de los resultados en la industria

- El estudio 1 demuestra la posibilidad de utilización de los ácidos piroleñosos, si no para sustituir totalmente al ácido sulfúrico, hacerlo en parte e incrementar la selectividad de extracción del Ni y Co, lo que puede conllevar a una reducción del consumo de ácido en la lixiviación de la cola carbonato amoniaca.
- El estudio 2 brinda información para la introducción e la técnica de membranas en el procesamiento de los minerales lateríticos por lixiviación.
- El estudio 3 brinda nuevas herramientas para la determinación y control del fenómeno de aglomeración (o su inverso la dispersión) de las partículas durante la separación mecánica (sedimentación gravitatoria o centrifuga) de las pulpas o suspensiones.
- Los intercambios aportan experiencia sobre técnicas para descontaminación y manejo de residuales, para aplicarlas a los vertimientos de la industria que encuentran contaminando la bahía de Moa y la zona litoral.

Conclusiones

- Los estudios realizados demuestran que existen vías a través de las cuales, pueden minimizarse los impactos negativos de la industria en el entorno y que, el incremento de la extracción del Ni y Co contenido en los residuales puede ayudar al financiamiento de las tecnologías utilizadas para ello.
- Se recomienda ampliar los estudios realizados a la escala de banco para precisar los mismos en régimen de trabajo continuo, incluyendo en ello, esquemas combinados de neutralización de las colas carbonato amoniaca, separación de las fases líquidas y sólidas y su procesamiento, así como la introducción del rechazo de la separación con membranas y/o el licor de la cola lixiviada en el proceso de neutralización y precipitación de sulfuros para evaluar su resultado en la extracción de Ni y Co.