

# CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA LATERITA

## MOA-HOLGUÍN

### Área Biofábrica

Nuestra biofábrica se encuentra ubicada en el Centro de Investigaciones de la Laterita, diseñada para una producción anual de 500 000 vitroplantas.

Las líneas de producción son: ñame, malanga y especies forestales (Eucalipto). Con vista a satisfacer las necesidades del plan alimentario y la reforestación de las minas, y la masiva popular.

La misma opera con una plantilla de 11 trabajadores de los cuales 4 son especialistas, 2 técnicos medio, 4 operadores y 1 auxiliar de limpieza. Comenzó a prestar servicio en el mes de noviembre de 1996.

El objetivo de la biofábrica es el de producir semillas de alta calidad, mejoradas genéticamente, obteniéndose buenos rendimientos al ser cultivadas.

La multipropagación vegetativa *in vitro*, consiste en diferentes etapas, obteniéndose una planta adaptada al medio y lista para ser sembrada.

## Análisis reológico de las pulpas lateríticas crudas en la planta de lixiviación de la empresa Moa Nickel S.A.

Ing. Alfredo R. Suárez González  
Ing. Gerald Font Barthelemy

Centro de Investigaciones de la Laterita

**RESUMEN:** Se presenta un estudio reológico realizado a las suspensiones minerales que se alimentan en la planta de lixiviación ácida a presión, que se desarrolla en la compañía productora de sulfuro de níquel más cobalto, Moa Níquel «Pedro Sotto Alba» S.A. En la investigación se determina el modelo más representativo para estos tipos de materiales, la influencia de la temperatura y concentración de la fase sólida sobre los parámetros reológicos del modelo ajustado.

Se pudo observar que las pulpas crudas analizadas, en el rango de 45 a 48 % de sólido y temperaturas entre 27 y 80 °C, se comportan como fluidos Herschel Bulkley y que además, sus propiedades reológicas están fuertemente influenciadas por la temperatura y la concentración de la fase sólida; los modelos matemáticos que describen esta influencia se brindan en el trabajo.

**ABSTRACT:** This paper shows a Rheologic study made to the suspension ore fed to the acid leaching Pressure Plant of Ni + Co Sulfide Moa Nickel «Pedro Sotto Alba» S.A. In this research work the most representative model for those kind of ore has been determined as well as the temperature and the solid phase concentration influence concerning the rheologic parameters of the adjusted model.

It can be observed also that the analyzed crude slurries between 45 to 48 % of solid and temperatures from 27 to 80 °C behaved as Herschel Bulkley fluids and their rheologic properties are very hard influenced by the concentration and temperature of the solid phase, the mathematics models which describe these influence have been given in this paper.

### INTRODUCCIÓN

A nivel mundial han sido experimentadas varias vías para el tratamiento de los yacimientos lateríticos dentro de los que se encuentran: la vía Pirometalúrgica, la vía Hidrometalúrgica, y combinaciones de ambas formas. En Cuba se ha desarrollado el procesamiento de las lateritas al usar los dos últimos métodos anteriormente mencionados. En ambos casos, el proceso industrial recurre a la formación de suspensiones que facilitan el procesamiento de los minerales.

Las suspensiones formadas en estos procesos, bajo ciertas condiciones, poseen la característica de deformarse bajo la acción de esfuerzos cortantes, lo que hace que sus viscosidades varíen en un rango determinado y por tanto, que sean clasificadas como fluidos *no Newtonianos*. Estos tipos de fluidos requieren una caracterización previa que permite predecir su comportamiento y constituye una herramienta de extraordinaria importancia en la evaluación, diseño y optimización de los procesos que los involucran.

Esta investigación se centra en el estudio de las suspensiones logradas en uno de los eslabones del proceso de lixiviación ácida a presión que se desarrolla en la Empresa Moa Níquel «Pedro Sotto Alba» S.A. y tiene como objetivos fundamentales:

- Determinar los modelos reológicos que mejor caracterizan las pulpas crudas obtenidas en la Planta de Espesadores.
- Estudiar la influencia de la temperatura y concentración de la fase sólida sobre las propiedades reológicas de las pulpas crudas.

El comportamiento reológico de los fluidos se establece al medir la relación esfuerzo cortante - velocidad de deformación en las capas internas de las sustancias, cuando fluyen en régimen laminar y en equipos denominados viscosímetros (Font y Suárez, 1995).

A las relaciones empíricas de  $\tau = f(\dot{\gamma})$  que describen el comportamiento reológico de los materiales se les conoce en la literatura como *modelos reológicos*, y al gráfico  $\tau$  vs  $\dot{\gamma}$ , como *curva de flujo* (Font y Suárez, 1995) ver Figura 1.

Donde:

$\tau$  : Esfuerzo Cortante que ejerce el fluido, Pa .

$\dot{\gamma}$  : Velocidad de formación del fluido, s<sup>-1</sup>.

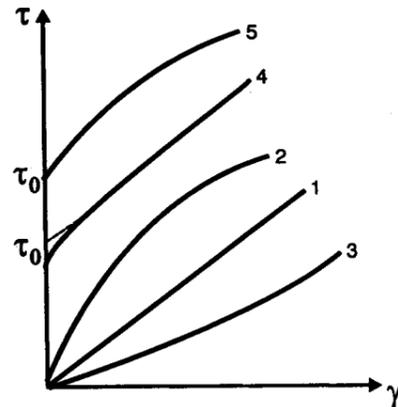


FIGURA 1. Curvas de flujo: 1) Newtoniano, 2) Seudoplástico, 3) Dilatante, 4) Plásticos ideales, 5) Plásticos reales.

Para los fluidos *no newtonianos*, algunas de estas relaciones se muestran a continuación (Skelland, 1970):

- Modelo de Ostwald de Waele para describir el comportamiento de los materiales seudoplásticos y dilatantes.

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n$$

donde:

$K$ : Índice de consistencia, Pa s<sup>n</sup>.

$n$ : Índice de flujo, dimensional.

- Los plásticos ideales se describen por el modelo de Bingham que se muestra a continuación:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p(\dot{\gamma})$$

donde:

$\tau_0$ : Esfuerzo cortante inicial del material, Pa.

$\eta_p$ : Viscosidad plástica (propia de este tipo de modelo), Pa s.

- Para describir el comportamiento de los llamados plásticos reales se utiliza el modelo de Herschel-Bulkley.

$$\tau = \tau_0 + K(\dot{\gamma})^n$$

La *velocidad de deformación* se define como una magnitud tensorial que da una medida de la razón de cambio con respecto al tiempo del desplazamiento relativo entre las partículas de un cuerpo, al deformarse bajo la acción de un esfuerzo cortante.

Para el cálculo de la velocidad de deformación, en el caso de fluidos *no newtonianos* con esfuerzo cortante inicial, Krieger y Elrod han propuesto la siguiente ecuación generalizada (Nguyen y Boger, 1987):

$$\dot{\gamma} = 2\pi N \left[ n^{-1} + n' (1 - n' n^{-1}) \ln \xi / 3 + \frac{1}{\ln \xi} \right] \quad [1.1]$$

donde:

$$n = \frac{d \ln \tau_w}{d \ln Dr}; \quad n' = \frac{dn}{d \ln Dr} \quad \text{y} \quad \xi = \frac{Rc}{Rr}$$

$Dr$ : Velocidad de deformación Newtoniana, s<sup>-1</sup>.

$Rc, Rr$ : Radio del cilindro fijo y rotor, respectivamente, m.

$n$ : Pendiente de las curvas obtenidas al graficar:  $\ln \tau_w$  vs  $\ln Dr$ .

$n'$ : Pendiente de las curvas al graficar  $n$  vs  $\ln Dr$ .

### Métodos utilizados y condiciones experimentales

Los valores de esfuerzos cortantes y gradientes de velocidad se obtuvieron en un viscosímetro rotacional de cilindros concéntricos Rheotest-2 (precisión de un 3%), acoplado a un termostato.

Para realizar la experiencia se utilizó el cilindro S<sub>2</sub> liso que presenta un diámetro de 37,6 mm. El diámetro del cilindro exterior o vaso es de 39,8 mm.

- *Técnica experimental usada para la medición*

1. Se realizó la medición del pH y se determinó el contenido de sólidos de cada muestra. Este último se efectuó por el método de secado.
2. Del volumen total de pulpa, se tomaron las cantidades necesarias para hacer las determinaciones de las curvas de flujo, tratando de mantenerlas siempre lo más homogéneas posible.
3. Se efectuaron las corridas experimentales a diferentes temperaturas, comprendidas entre la temperatura ambiente y 85 °C.

- *Método para la elaboración de datos experimentales*

Los pasos que se siguieron para la elaboración de los datos fueron los siguientes:

1. Cálculo del esfuerzo cortante, utilizando la expresión dada por el fabricante del viscosímetro:  $\tau = Z\alpha$ ; ( $Z_1 = 0,60$ ;  $Z_2 = 5,78$ )  
 $\alpha$ : Lectura del ángulo obtenido para cada velocidad de rotación, adimensional.
2. Cálculo del gradiente de velocidad.
  - Se grafica  $\tau$  vs  $Dr$  para cada temperatura en escala log-log.
  - Se obtiene la pendiente ( $n$ ) para cada punto de la curva trazando rectas tangentes a dichos puntos.

- Se grafica  $n$  vs  $Dr$  para cada temperatura en escala semi-log.
- Se obtiene la pendiente ( $n$ ) por el mismo procedimiento utilizado para obtener a  $n$ .
- Se determinan los valores de  $\dot{\gamma}$  por la ecuación (1.1).

Para el juego de cilindros utilizados,  $\xi = 1,0585$

3. Con los valores de  $\tau$  y  $\dot{\gamma}$  obtenidos se construyen las curvas de flujo para los porcentajes de sólido utilizados.
4. Se ajustan los datos, al utilizar el método de los mínimos cuadrados, a los modelos de Bingham, Ostwald de Waele y Herschel-Bulkley buscando el mejor ajuste.

### Análisis de los resultados

El pH de la pulpa en todos los casos fue de 6,04 (Figuras 2 y 3).

CURVAS DE FLUJO PARA PULPAS CRUDAS DE 48% DE SÓLIDO

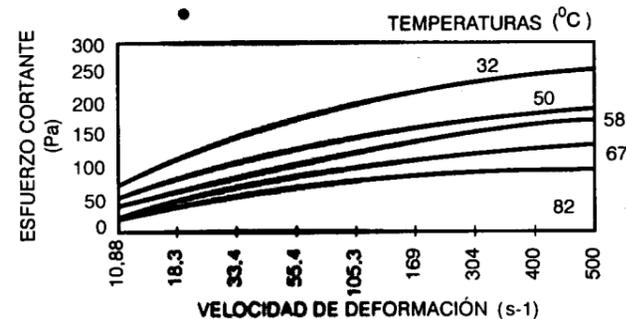


FIGURA 2. Curvas de flujo para pulpas crudas con 48% de sólido.

CURVAS DE FLUJO PARA PULPAS CRUDAS DE 45% DE SÓLIDO

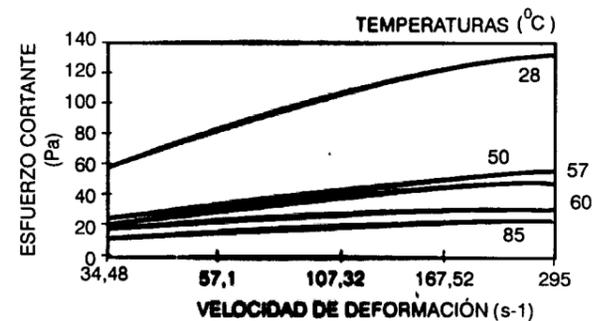


FIGURA 3. Curvas de flujo para pulpas crudas con 45% de sólido.

El ajuste de los modelos reológicos a los datos experimentales, muestra excelentes resultados para el modelo de Herschel-Bulkley, con un coeficiente de correlación medio de 0,994 y errores menores de 5,5%. El modelo de Bingham resultó ser menos representativo, el coeficiente de correlación medio fue de 0,987 aunque para altos valores de gradiente de velocidad mejora considerablemente la bondad del ajuste; este hecho permite considerar su uso en el diseño de sistemas hidráulicos.

El modelo de Ostwald de Waele no permite caracterizar los datos experimentales en ninguno de los casos, el coeficiente de correlación medio fue de 0,87 y la magnitud de los errores fue muy elevada (Tablas 1 y 2).

TABLA 1. Parámetros reológicos del modelo Herschel-Bulkley a 45% de sólido

T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa · s <sup>n</sup> )	n	Coefficiente de correlación	Error medio (%)
28	31,54	2,247	0,698	0,999	0,96
50	12,72	0,882	0,711	0,987	5,43
57	10,85	0,772	0,692	0,992	3,67
60	9,38	0,822	0,637	0,999	1,25
85	5,99	0,395	0,726	0,992	4,33

TABLA 2. Parámetros reológicos del modelo Herschel-Bulkley a 48% de sólido

T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa · s <sup>n</sup> )	n	Coefficiente de correlación	Error medio (%)
32	31,47	6,286	0,661	0,983	7,54
50	18,04	3,546	0,688	0,985	9,11
58	15,21	2,680	0,735	0,984	9,74
67	12,64	1,773	0,812	0,975	12,86
82	11,20	1,796	0,735	0,978	9,70

La dependencia del esfuerzo cortante inicial ( $\tau_0$ ) para el modelo Herschel-Bulkley con la temperatura fue ajustado a un modelo matemático para cada porcentaje de sólido. En ambos casos se puede observar la disminución que experimenta este parámetro con el aumento de la temperatura:

Para 45%: .....  $\tau_0 = 1541T^{-1,131}$

Para 48%: .....  $\tau_0 = 4714T^{-1,507}$

El índice de flujo en ambos casos prácticamente no cambia con la temperatura. Sin embargo sobre el índice de consistencia sí posee una influencia que evidencia una significativa disminución con el incremento de la temperatura, los modelos obtenidos son los siguientes:

Para 45%: .....  $K = 361,5T^{-1,521}$

Para 48%: .....  $K = 969,2T^{-1,453}$

El coeficiente de correlación promedio para los modelos obtenidos fue de 0,972 y el error medio de 8,9 %.

Del análisis de los modelos matemáticos obtenidos se observa que un aumento de la concentración de sólidos en la pulpa, conlleva un aumento de los parámetros que caracterizan el modelo de mejor ajuste, lo que corrobora los resultados logrados por otros investigadores en este campo (Garcell, 1990).

### CONCLUSIONES

- El modelo más representativo de la distribución de los datos de esfuerzo cortante ( $\tau$ ) vs velocidad de deformación ( $\dot{\gamma}$ ) para las pulpas de limonita a 45 y 48 % de sólido es el de *Herschel - Bulkley*.
- El incremento de la temperatura conduce a una disminución del índice de consistencia y esfuerzo cortante inicial del modelo de *Herschel - Bulkley*.
- El parámetro que representa al índice de flujo en el modelo ajustado ( $n$ ), no experimenta una variación notable con la temperatura.

- El incremento de la concentración de sólido en la pulpa provoca un incremento en los valores de los parámetros que caracterizan el modelo de *Herschel - Bulkley*.

### BIBLIOGRAFÍA

- FONT, G. y A. SUÁREZ: *Diseño térmico de intercambiadores de calor para el precalentamiento de Pulpas*, Trabajo de Diploma, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1995.
- GARCELL, L. y col.: *Características reológicas y mineralógicas de las pulpas de limonita de Moa en periodos de sedimentación críticas*, Trabajo Investigativo Fac. de Ingeniería Química, ISPJAM, Santiago de Cuba, 1994.
- : *Estudio reológico de las suspensiones de limonita en la Empresa Cde «Pedro Soto Alba»*, Trabajo Investigativo, Santiago de Cuba, 1990.
- NGUYEN, Q.D. and D.V. BOGER: *Characterization of yield stress fluid with concentric cylindrical viscometer*, Rheological Acta, no. 3, p. 67, 1987.
- SKELLAND, A: *Non-newtonian flow and heat transfer*, Edición Revolucionaria, La Habana, 1970.

## Realización de las jornadas anuales de protección del medio ambiente en la región minera de Moa

Por: Eduardo A. Martín Rodríguez

Entre el 24 y 26 de noviembre de 1492 Cristóbal Colón, navegante genovés descubridor de América, pasa por las costas del nordeste de la Isla de Cuba y en su diario de navegación refleja su admiración por la tierra moense. Menciona las isletas de Cayo Moa y Cayo Burro, comenta la espaciosidad de la bahía, las posibilidades de su privilegiado puerto, la belleza salvaje de su vegetación, el carácter torrencial y de montaña de sus corrientes fluviales y hace que le lleven a remos por el río Moa donde ha visto señales de valiosos minerales.

Moa debe su nombre al arauco insular que era una de las lenguas que hablaban los indígenas americanos a la llegada de Colón, y alude entre otras variantes al «sitio donde puede encontrarse agua».

Como se sabe, la principal fuente económica del territorio está en la minería. Las minas de cromo de Cayo Guam, descubiertas a principios del siglo xx, atrajeron a centenares de hombres en busca de trabajo, los que fueron asentándose alrededor de los yacimientos que bajo capital norteamericano se explotaban ya desde 1905. Asimismo fueron descubiertos otros yacimientos dentro de la región, entre los que se destacan Punta Gorda, Narciso, Cromita y Amores.

Las reservas forestales, tan extensas como los minerales, incitaron a la compañía norteamericana Wen Moren Buice a construir la compañía Maderas Moa, que entre sus objetivos previó la construcción de un aserradero local que permitiera aprovechar la existencia de grandes bosques.

Es así como a partir de 1938 se inicia la actividad industrial relacionada con la madera. Los obreros forestales se establecieron junto a sus familiares en casas de madera cercana al aserrío, se construyeron tiendas, farmacias y centros de juego y distracción, iniciándose el proceso de urbanización de la ciudad.

La puesta en marcha de la planta de níquel de Moa, hoy Moa Nickel S.A. Comandante «Pedro Soto Alba», a principios de los años 60 representó un impacto sobre la hasta entonces naturaleza virgen que se vio afectada por las emanaciones de gases tóxicos procedentes de la planta de ácido sulfúrico del combinado industrial, la expulsión de licores residuales y colas ácidas, y lo más importante, la desaparición de extensas áreas de bosques debido a la acción de la minería a cielo abierto.

A partir de 1986, el inicio de las operaciones en la empresa «Comandante Ernesto Che Guevara» aumentó los problemas medioambientales de la región. Esta nueva planta, con una capacidad proyectada de 30 000 toneladas anuales de óxido de níquel, utiliza una tecnología distinta de la anterior (Lixiviación carbonato-amoniacal) generando la emisión de grandes volúmenes de gases, polvo, residuales sólidos (colas) y líquidos.

En estos momentos avanza la construcción de una nueva planta niquelífera en Las Camariocas (a 18 km al este de la ciudad) de tecnología similar a la de la «Comandante Ernesto Che Guevara» en Punta Gorda.

El actual municipio de Moa se encuentra en un territorio boscoso de más de 3 000 km<sup>2</sup> de extensión. La región presenta diferentes yacimientos de minerales útiles, entre los que sobresalen los ferroniquelíferos de la corteza laterítica de las rocas ultrabásicas, con reservas confiables superiores a los ochocientos millones de toneladas de mineral. Además de níquel, se localizan numerosos yacimientos de minerales de cromo, zeolitas y otros no metálicos. El territorio presenta también, el mayor endemismo en la región de Centro América y el Caribe.

El potencial hidráulico es notable, formado por los ríos Cabañas, Moa, Yamanigüey, Cayo Guam, Quesigua, entre otros. De ahí que se argumente su denominación aborigen de «lugar donde puede encontrarse agua».

Entre los valores naturales que representan su potencial ecológico vale mencionar las Cuchillas del Toa, declaradas por las Naciones Unidas, en 1986, Reserva Mundial de la Biosfera; el Cerro de Miraflores, zona apreciada por el alto endemismo de su flora y la Sierra de los Farallones de la Gran Tierra de Moa, sitio natural de alto valor por constituir una formación caliza única de gran belleza.

La superficie total del municipio es de 732,6 km<sup>2</sup>, correspondiendo a la zona montañosa 578,6 km<sup>2</sup>. Su población actual es de 66 578 habitantes, de ellos 56 920 viven en la zona urbana.

Cuando se habla de impacto sobre la región, este no sólo se debe a los efectos propios de la industria, sino también al desarrollo constructivo acelerado. Si al triunfo de la Revolución, en enero de 1959, Moa apenas comenza-

## Un camino al conocimiento científico-técnico

- Publicidad
  - Afiches
  - Anuncios
  - Tarjetas
  - Plegables
  - Exposiciones
- Edición de libros y revistas
- Copias en láser
- Encartes
- Cuños



San Miguel # 1111 e/ Mazón y Basarrate, El Vedado, C. Habana, Cuba. Telf.: (53)(7) 786986 FAX: (53)(7) 335419