

# Nuestro tesoro natural puede llegar a tí



## ELABORACION DE PIEDRAS SEMIPRECIOSAS

El ISMMM aporta piedras semipreciosas tales como: cuarzo (drusas y geodas), calcedonia de diferentes tonalidades (naranja, violeta, gris, etc.), jaspes (rojos, pardos) y ópalos de diferentes colores. El objetivo de este proyecto es realizar producciones de muestras pulidas con calidad de gemas para la industria artesanal turística nacional y extranjera; lo cual constituye una fuente de ingreso segura debido a la alta demanda en el creciente mercado del turismo y la gemología.

Por ejemplo, una muestra cuadrada de amatista de calidad media tiene un valor de 1.20 USD por quilate (un quilate = 0.2 g). Una geoda de ágata pulida de calidad media vale 6.0 USD el kg, pudiéndose duplicar su valor en dependencia de su calidad. Mientras que una muestra de jaspe de buena calidad vale a partir de los 15 quilates (3 g) 0.3 USD/quilate. En el caso del ópalo, una muestra de calidad media entre 1 y 2 quilates tiene un valor de 8.0 USD.

La Facultad de Geología del ISMMM cuenta con un laboratorio de preparación de muestras y equipamiento para la caracterización de las propiedades ópticas y físico-mecánicas de las piedras y personal calificado para realizar la producción cooperada de artículos a partir de éstas. El centro para la elaboración cooperada de piedras semipreciosas brinda materia prima por un plazo no menor de 5 años, con producciones anuales en un rango de 0,5 a 5 ton en dependencia de las distintas variedades.

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALURGICO DE MOA (ISMMM)

CORRESPONDENCIA  
Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa (ISMMM)  
Facultad de Geología  
Las Coloradas S/N  
Moa 83330  
Holguín  
Cuba.

## INVESTIGACION DE LOS PARAMETROS Y REGIMENES RACIONALES DE HIDROTRANSPORTE DE LAS PULPAS LATERITICAS APLICABLES A LAS CONDICIONES DE EXPLOTACION DE LA EMPRESA COMANDANTE PEDRO SOTO ALBA (I PARTE)

Dr. Raúl Izquierdo Pupo  
Dr. Nikolaev A. Konstantinovich

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

**RESUMEN:** El trabajo contiene un análisis de los parámetros fundamentales de las líneas de hidrotransporte de pulpas, ubicadas entre las plantas de preparación y lixiviación. El estudio de la literatura sobre hidrotransporte, evidencia la ausencia de una teoría y un modelo único que explique la estructura del flujo de una pulpa viscoso-plástica. En este trabajo, a partir del modelo de Bulkley-Herchel se obtienen los parámetros del flujo de la pulpa laterítica y se revelan los regímenes de movimiento.

**ABSTRACT:** The main parameters of hydrotransporting pulp line are analyzed. There is no theory in the scientific literature for explaining the flow structure of a viscous-plastic pulp. In this paper, starting from the Bulkley-Herchel model, the parameters of the lateritic pulp flow are obtained and the different movement regimes are exposed.

La empresa Pedro Soto Alba es la única industria cubana del níquel que aplica el hidrotransporte del mineral laterítico. Este mineral, procedente de la mina, se suministra a la planta de preparación de pulpa, donde se obtiene,

por un proceso de lavado y clasificación, una pulpa con 25-30 % de sólido en peso, la cual se hidrotransporta hasta los espesadores por una tubería de hormigón de 610 mm de diámetro y 5 129 m de longitud.

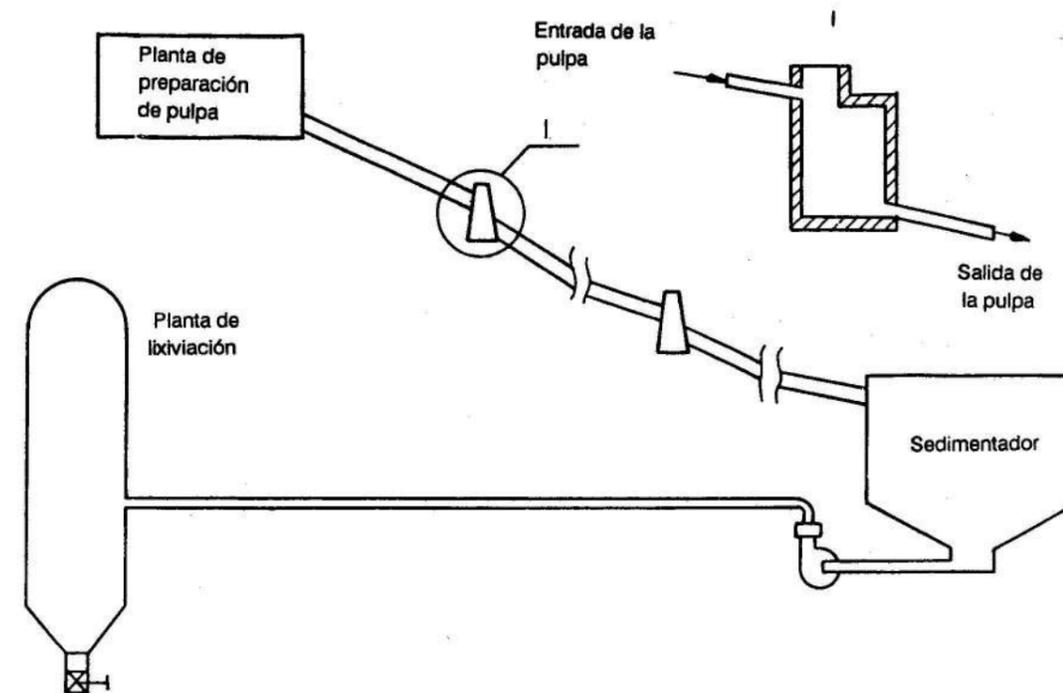


FIGURA 1. Esquema de la aplicación del hidrotransporte en la Empresa "Comandante Pedro Soto Alba"

La línea conductora está dividida en 54 partes, entre las cuales se encuentran pozos donde la velocidad del flujo disminuye.

La velocidad del flujo varía en los límites de 1 - 1,4 m/s. Experimentalmente se demostró que la velocidad de sedimentación de la mezcla en los espesadores es inferior a la que posee antes del hidrot transporte [2]. En el proceso de sedimentación se obtienen concentrados de sólidos en la pulpa, que varían generalmente entre 43-46 % de sólido en peso. La pulpa espesada es hidrot transportada con la ayuda de una bomba centrífuga hasta la planta de lixiviación; la tubería tiene una longitud de 460 m y un diámetro de 508 mm. La velocidad media entre los límites de la tubería varía entre los límites 0,3 - 0,53 m/s.

Junto al material laterítico se hidrot transporta una fracción gruesa de serpentina que representa el 5 % aproximadamente. Parte de este material se sedimenta en el fondo de la tubería, lo que provoca una disminución del diámetro de la misma y un aumento de la resistencia hidráulica.

Experimentos realizados por diferentes investigadores han confirmado la existencia de propiedades estructurales en la pulpa laterítica.

A pesar del amplio uso que tiene el hidrot transporte y de la existencia de una gran cantidad de investigaciones experimentales, los investigadores coinciden en que no existe una teoría ni modelos analíticos que expliquen la estructura del flujo de una pulpa viscoso-plástica. Así para la aplicación de los métodos de cálculo basados en la ley de Shvedov-Bingham [4,6,7] para el flujo de hidromezclas viscoso-plásticas se necesita la determinación previa de coeficientes de corrección, basándose en una investigación experimental del flujo de la hidromezcla dada.

Este trabajo tiene como objetivo investigar las regularidades del flujo de la pulpa laterítica a altas concentraciones y alto contenido de partículas pequeñas, así como elaborar una metodología ingenieril de cálculo de los parámetros de hidrot transporte del mineral. En esta primera parte se realiza la investigación del proceso físico del flujo de la pulpa laterítica y se da su descripción matemática.

Investigaciones de las propiedades reológicas realizadas en un viscosímetro capilar [3], muestran que las curvas reológicas de la pulpa laterítica pueden ser descritas por el modelo de Bulkley-Herchel.

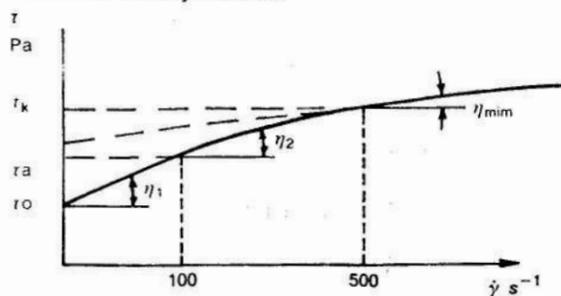


FIGURA 2. Curva reológica generalizada de la pulpa laterítica

$$\tau = \tau_0 + K \dot{\gamma}^n \quad (1)$$

donde:

$\tau_0$  - esfuerzo cortante inicial

$K$  - índice de consistencia

$n$  - índice de flujo

$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dy}$  - gradiente de velocidad

En la descripción del comportamiento de las suspensiones que poseen propiedades de líquidos anómalos Y.K. Safanov propuso la siguiente dependencia:

$$\frac{\varphi}{\varphi_m} = k \left( \frac{\tau - \tau_0}{\tau_k - \tau_0} \right)^n \quad (2)$$

donde

$\varphi$  - fluidez de la hidromezcla

$\tau_k$  - esfuerzo correspondiente a la ruptura completa de la estructura

$\varphi_m$  - fluidez alcanzada por la hidromezcla

Teniendo en cuenta que:

$$\varphi = \frac{1}{\eta} ; \quad dr = \frac{2l}{\Delta P} d\tau \quad (3)$$

donde

$\eta$  - viscosidad de la hidromezcla

De acuerdo con la ley de Newton:

$$\tau = -\eta \frac{dv}{dr} \quad (4)$$

Después de algunas transformaciones se obtiene la ecuación diferencial de distribución de la velocidad en la sección del flujo.

$$dv = \frac{-k \varphi_m r (\tau - \tau_0)^n}{(\tau_k - \tau_0)^n} dr \quad (5)$$

Integrando:

$$v = \frac{K \varphi_m}{(\tau_k - \tau_0)^n (n+1)} [R(\tau_R - \tau_0)^{n+1} - r(\tau - \tau_0)^{n+1}] \quad (6)$$

La ecuación (6) se cumple cuando  $r$  se encuentra en los límites  $r_0$  hasta  $R$  para  $r = r_0, \tau = \tau_0 \vee v = v_0$  (velocidad del núcleo).

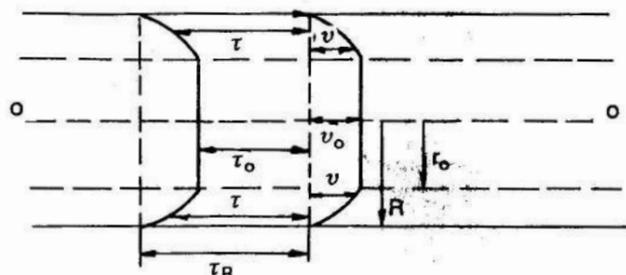


FIGURA 3. Esquema de distribución de la velocidad y la tensión en la sección transversal del flujo del núcleo.

$$v_0 = \frac{K \varphi_m}{(\tau_k - \tau_0)^n (N+1)} R (\tau_R - \tau_0)^{n+1} \quad (7)$$

El gasto de hidromezcla se expresa por la suma de los gastos del núcleo  $Q_0$  ( $v_0$ ); más  $Q_1$  ( $v$ ) para  $r > r_0$  donde:

$$Q = Q_0 + Q_1 \quad (8)$$

$$Q_0 = \pi r_0^2 v_0 \quad (9)$$

$$dQ_1 = 2\pi r v dr \quad (10)$$

Asumiendo:  $\tau_k = \Delta P$  y  $\varphi_m = \frac{1}{\eta m}$ . El gasto del anillo se obtiene sustituyendo en la ecuación (10) el valor de la velocidad (6) e integrando. El gasto total  $Q$  es igual a:

$$Q = \frac{4\pi l K (\Delta P - \tau_0)^{n+2}}{\Delta P \eta m (\tau_k - \tau_0)^n (n+1)} R r_0 + \frac{R l (\Delta P - \tau_0)^{n+1}}{\Delta P} - \frac{r_0^2}{n+2} - \frac{4 r_0 l (\Delta P - \tau_0)^{n+1}}{\Delta P (n+3)} - \frac{4 l^2 (\Delta P - \tau_0)^{n+2}}{\Delta P^2 (n+4)} + \frac{\pi r_0^2 K R (\Delta P - \tau_0)^{n+1}}{\eta m (\tau_k - \tau_0)^n (n+1)} \quad (11)$$

La ecuación (11) describe el comportamiento del gasto para toda la curva geológica, la división de la curva geológica en zonas de acuerdo a diferentes regímenes de movimiento, produce una simplificación y una mayor exactitud en la determinación de los parámetros del flujo de la pulpa.

Investigaciones realizadas de las propiedades reológicas de las pulpas lateríticas muestran que cuando el gradiente de velocidad es mayor de  $500 \text{ s}^{-1}$ , se establece una dependencia lineal entre el esfuerzo de resistencia  $\tau$  y el gradiente de velocidad  $\dot{\gamma}$ . Los experimentos desarrollados en el viscosímetro rotatorio [1] muestran que siendo el gradiente de velocidad menor de  $100 \text{ s}^{-1}$  también se establece una relación lineal entre el esfuerzo de resistencia y el gradiente de velocidad.

A partir de estas condiciones se puede describir el flujo de la pulpa laterítica dividiendo la curva reológica en tres zonas (ver Figura 2).

1. Para esfuerzos  $\tau_0 < \tau < \tau_a$  el flujo se produce en régimen estructural; se conservan las propiedades estructurales de la pulpa.

2. En el intervalo de esfuerzo de  $\tau_a$  hasta  $\tau_k$  el flujo se efectúa en régimen transitorio, paulatinamente desaparecen las propiedades estructurales.

3. Para esfuerzos  $\tau > \tau_k$  el flujo se presenta en régimen turbulento.

Las tres zonas del modelo para el flujo de la pulpa laterítica se describen por el sistema de ecuaciones siguiente:

$$1ro \quad \tau = \tau_0 + \eta_1 \dot{\gamma} ; \quad \tau \quad [\tau_0 ; \tau_a] ; \quad n = 1$$

$$2do \quad \tau = \tau_0 + k \dot{\gamma}^n ; \quad \tau \quad [\tau_a ; \tau_k] \quad (12)$$

$$3ro \quad \tau = \eta_{min} \dot{\gamma} ; \quad \tau > \tau_k, \quad n = 1$$

Investigaciones realizadas dos décadas atrás por B.B. Trainis sobre el traslado de hidromezclas de carbón por tubos, confirmaron la existencia de los regímenes estructural, transitorio y turbulento. En la (Figura 4) se pueden apreciar los resultados experimentales en la determinación de la velocidad en diferentes puntos de la sección transversal de la tubería para velocidades medias del flujo 0,5 ; 1,0 y 2,0 m/s.

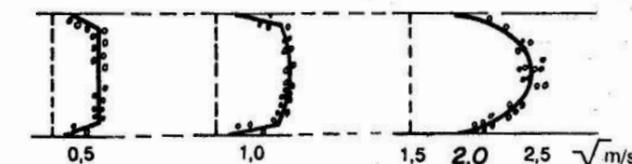


FIGURA 4. Distribución de la velocidad en la sección transversal del flujo obtenida experimentalmente por B.B. Trainis para suspensiones de carbón

## CONCLUSIONES

1. Eliminando la entrada en el flujo de la fracción gruesa de serpentina se evita la sedimentación de este material en la tubería; con esta medida el consumo de energía en la planta de espesadores disminuye.
2. No existe una metodología de cálculo de los parámetros de hidrot transporte para la pulpa laterítica; las expresiones conocidas para el cálculo de los parámetros hidráulicos que aparecen en la literatura han sido obtenidos

para determinados materiales y no se recomienda su aplicación sin una comprobación previa de su validez.

3. El comportamiento de las propiedades geológicas de la pulpa laterítica permitió obtener el modelo físico matemático del flujo de la hidromezcla, tomando como base el modelo de Bulkley-Herchel. En el mismo se observa la existencia de tres regímenes de movimiento: estructural, transitorio y turbulento.

## REFERENCIAS

1. AVOTINS, P.V. y col.: *Reología y manipulación de las pulpas lateríticas*. Simposio Internacional, New York, 1979.
2. FALCON, J.: "Consideraciones sobre la sedimentación de la pulpa limonítica en la planta Pedro Soto Alba" en *Minería y Geología*, Vol. No. ,1983.
3. GARCELL, L.: "Comportamiento reológico de las pulpas lateríticas..."
4. PAKROSKAIA, B.N.: *Transporte hidráulico en la industria minera*, Ed. Nedra, 1985.
5. PEREZ, R. & R. IZQUIERDO: "Comportamiento reológico de las pulpas de lateritas a bajos gradientes de velocidad" en *Minería y Geología*, No. 2, 1989.
6. SMOLDRIEV, A.E.: *Transporte hidráulico*, Ed. Nedra, 1980
7. TRAINIS, B.B.: *Parámetros y regímenes de transporte hidráulico de carbón por tubos*, Ed. Nauka, 1970.