

Parámetros y regímenes del hidrot transporte de colas lateríticas en el proceso Caron

Alberto Turro Breffe¹
Raúl Izquierdo Pupo¹
Leonel Garcell²

aturrob@ismm.edu.cu
rizquierdo@ismm.edu.cu
lgarcell@iq.uo.edu.cu

Resumen

En la planta metalúrgica Ernesto Che Guevara, de tecnología Caron, el rendimiento de las bombas del sistema de hidrot transporte de colas es bajo, y por consiguiente, los costos de producción elevados. Ello está asociado a la inexistencia de un modelo de cálculo de pérdidas hidráulicas para este tipo de flujo que permita establecer los parámetros y regímenes racionales de su transportación. Se realizaron ensayos experimentales en una instalación semi-industrial donde se reprodujeron las características del proceso industrial (25, 30, 40, 45 y 50 % en peso de sólidos y temperatura de 28 a 90 C); en cada ensayo se calculó el caudal de la pulpa, la pérdida de presión y la concentración de sólido. Se encontró, para las distintas concentraciones en peso del sólido, el modelo que relaciona las pérdidas hidráulicas con la velocidad del flujo de la hidromezcla y se estableció que los parámetros racionales de transporte para las colas lateríticas se logran al inicio del régimen turbulento, para concentración de 45 % de de sólidos y temperatura de 90 oC.

Palabras clave

Colas lateríticas, tecnología Caron, transporte hidráulico.

Parameters and lateritic tailings transfer flowrate in Caron technology

Abstract

In the Cuban nickel plant Ernesto Che Guevara, of Caron technology, the performance of the tailings transfer pumps is ineffective; hence, production costs are high. This is mainly attributable to the nonexistence of a pattern to calculate hydraulic losses in this type of flow, which would allow the identification of parameters and rational flow rates. Test works were carried out on a semi-industrial facility by using similar process parameters (25, 30, 40, 45 and 50% solids and temperatures of 28 to 90 degrees Celsius. Calculations were completed for the slurry flow rate, pressure drop and solids concentration. Slurry flow rate, pressure drop and solid % were calculated in each test. The test results produced a pattern relating hydraulic losses with slurry flow velocity for various solid concentration values and it also concluded that rational parameters for the tailings transfer were obtained in early turbulence stages for 45% solids at temperatures of 90 °C.

Key words

Caron technology, hydraulic transport, laterite tailings.

INTRODUCCIÓN

En la planta metalúrgica Ernesto Che Guevara de Moa, se extrae níquel más cobalto mediante el proceso de lixiviación carbonato-amoniaco conocido mundialmente como tecnología Caron. Los residuos no lixiviados (colas) son enviados por tuberías a presión hasta las presas de almacenamiento para su posterior utilización.

Las colas son mezclas compuestas de partículas sólidas de mena laterítica en suspensión acuosa, con cierta cantidad de amoníaco disuelto, que al ser conducidas a través de tuberías forman un flujo trifásico. En la literatura consultada no se reportan evaluaciones de las pérdidas hidráulicas para pulpas minerales con estas características.

Los sistemas de hidrotransporte utilizados para el trasiego de colas reportan altos consumos de energía asociados, en gran medida, a las pérdidas de carga, las que a su vez están determinadas por el diámetro de la conductora, su estado de explotación, el material de la tubería, el régimen de trabajo de la instalación y las propiedades físico-mecánicas de las colas.

No existe una metodología universal para determinar los parámetros de trabajo de un sistema de hidrotransporte; las metodologías y evaluaciones disponibles para el cálculo de estos parámetros han sido elaboradas a partir de datos experimentales obtenidos para sistemas particulares. La variabilidad existente en las condiciones de transportación y en las propiedades físico-mecánicas de las colas, limita la aplicación de las fórmulas de cálculo conocidas, por lo cual no es posible determinar los parámetros de transportación con la precisión necesaria para los objetivos prácticos.

Investigaciones previas (Darby, 2001; Turro et al., 2002; Rojas & Turro, 2003) revelan que desde el punto de vista reológico, las colas lateríticas se comportan como un fluido plástico según el modelo de Bingham. En ellas predominan las fases minerales

maghemita y magnetita, con un tamaño de partícula mayoritario de 43 micrones, lo que favorece un comportamiento polidisperso. Estos resultados fueron tenidos en cuenta para establecer las variables que inciden en el cálculo de las pérdidas hidráulicas del flujo de colas.

Los métodos de cálculo propuestos para determinar parámetros de hidrotransporte, basados en las características del flujo plástico-viscoso de Bingham, requieren correcciones fundamentadas en resultados experimentales; los publicados hasta la fecha para múltiples hidromezclas resultan aún insuficientes (Garcell, 2001; Alexander & Kuleshov, 1986; Dshunusov, 1988; Izquierdo, 1989, 2001) .

La investigación que aquí se reporta tuvo el objetivo de encontrar, para las colas lateríticas, el modelo de cálculo de las pérdidas hidráulicas con la finalidad de establecer los parámetros y regímenes racionales que permitan elegir el equipamiento más adecuado de transporte para la transportación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron pulpas de desechos lixiviados (colas) del proceso Caron que transitan, mediante un sistema de flujo a presión, por los procesos de lixiviación y recuperación de amoniaco de la planta Ernesto Che Guevara. Con la finalidad de lograr una mayor representatividad de las muestras de pulpa en cuanto a sus características químicas, granulométricas y mineralógicas, éstas se tomaron, en diferentes periodos, del pozo de colas de la planta de Recuperación de Amoniaco y en la descarga a la presa de almacenamiento. Se calculó el caudal de la pulpa, la pérdida de presión y la concentración de sólido.

La investigación se realizó en una instalación de dimensión semi-industrial (Figura 1), construida en el Instituto Superior Minero Metalúrgico (Izquierdo, 2001) y dotada de equipos y accesorios

que permiten el registro y control de las variables y su posterior procesamiento mediante el software Tierra, v.2.

Primeramente se calibró el tubo de Venturi y los medidores de presión. Se puso en funcionamiento la instalación y se realizaron 5 corridas experimentales con tres réplicas cada una, fijando la concentración de sólido en peso en los valores 25, 30, 40, 45 y 50 % (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de operación de la instalación para las corridas experimentales

No. de corridas	Volumen del tanque, m ³ .	Volumen de la tubería, m ³ .	Masa de sólido, kg.	Concentración en peso, %.	Concentración de las suspensiones en volumen, %.
1	1,820	1,028	949,3	25	8,78
2	1,820	1,028	1220,5	30	11,45
3	1,820	1,028	1898,6	40	19,09
4	1,820	1,028	2563,2	45	24,8
5	1,820	1,028	2848	50	28,6

Se midió la densidad de las colas en suspensión a diferentes valores de temperatura (28, 60 y 90°C) para comprobar la influencia de la variación de ésta última en las pérdidas hidráulicas.

Los puntos de toma de presión se ubicaron a una distancia igual o mayor que 40 veces el diámetro de la tubería para evitar las influencias de las perturbaciones más cercanas (codos, ventanas de cristal, etc.). El punto de observación del flujo de la pulpa (ventana de cristal) se situó a 5,5 m del tubo de Venturi.

Se emplearon bombas de 160 y 60 m³/ h de capacidad. Durante la toma de datos experimentales, la instalación operó en circuito semi-cerrado (succión, impulsión, canal y tanque);

la limpieza se logró mediante la operación de la instalación en circuito abierto (succión, impulsión y drenaje).

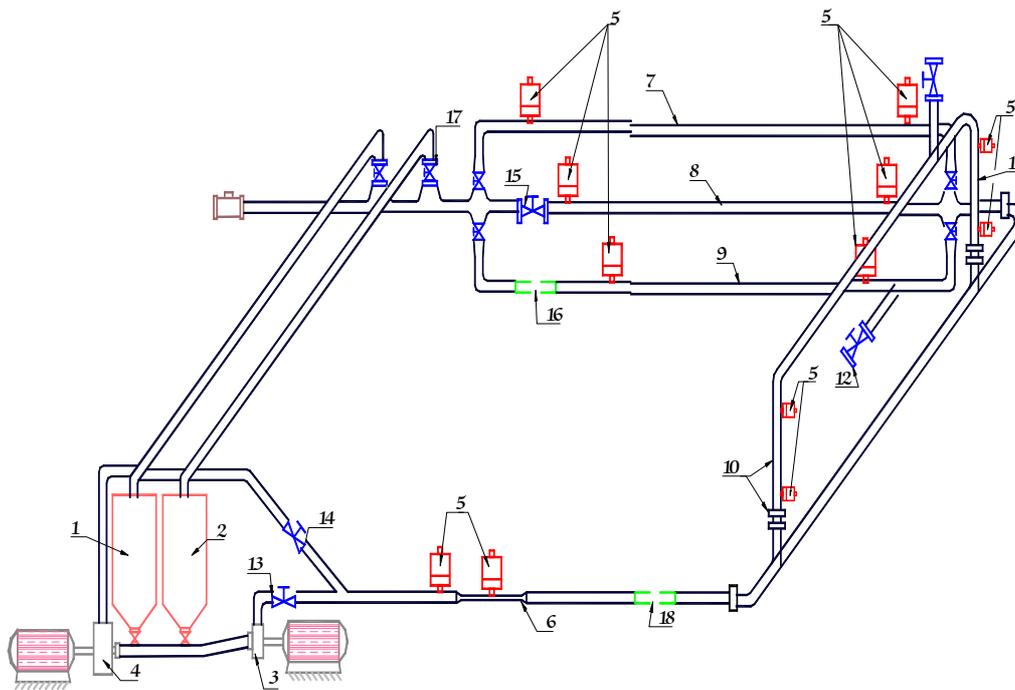


Figura 1. Esquema de la instalación de hidrotransporte para la modelación de flujos y ensayos de bombas.

1. Tanque con agua para la calibración del tubo de Venturi
2. Tanque de recepción de pulpa.
- 3 y 4. Bombas centrífugas.
5. Puntos de toma de presión.
6. Tubo Venturi.
- 7, 8, 9. Tramos de tuberías de diámetros 50, 100, 150 mm respectivamente.
- 10, 11. Tramo de tubería de diámetros 100 mm.
12. Válvula de drenaje del sistema.
- 13, 14, 15, 17. Válvulas de regulación.
- 16, 18. Ventanas del cristal.

Se ubicaron ventosas para expulsar a la atmósfera el aire de la tubería. La regulación del caudal de la bomba se realizó mediante una válvula de compuerta ubicada en la tubería de impulsión. El llenado del sistema, con agua amoniacal

primero y añadiendo sólido después, se hizo directamente en el tanque de recepción.

La medición del caudal de la pulpa se realizó con un flujómetro electromagnético NP-11 para la calibración, del cual se utilizó el método del peso volumétrico usando un tanque graduado, instalado en serie con el colector de alimentación al final del circuito de tubería.

Se utilizó un cronómetro con precisión de 0,1 s para medir el tiempo de llenado del tanque calibrado. El error máximo durante la determinación del caudal no fue mayor de 1,5 %. La temperatura del agua amoniacal y la de la pulpa en el colector se midió con un termopar situado en el tanque. Las pérdidas de presión se midieron con transmisores de 0–5 mA. La pendiente hidráulica se determinó por la expresión:

$$i = \Delta \text{Proz} / L \quad (\text{Pa/m}) \quad (1)$$

Donde:

ΔProz – Caída de presión por rozamiento, Pa

L – Longitud de la tubería entre los puntos de toma de presión, m.

Para el estudio del carácter del movimiento de la pulpa, se utilizaron tramos de tubería de 100 y 150 mm. La ventana de cristal se colocó en la tubería de 150 mm. La concentración (S) de la pulpa se controló periódicamente tomando muestras y realizando su corrección. El valor de las divisiones de la escala de peso fue de 0,05 Kg. Por los datos de estas mediciones el error relativo durante la determinación de la concentración no superó el 1%.

El contenido de las partículas sólidas, para un volumen dado de la hidromezcla, se calculó por la siguiente fórmula:

$$S = m_s / m_s + m_a \quad (2)$$

Donde: S – concentración en peso, adimensional.

m_s – masa del sólido, Kg.

m_a – masa del agua, Kg.

La concentración volumétrica se determinó por la expresión:

$$C_w = S \rho_p / \rho_s \quad (3)$$

y por

$$C_w = \rho_p - \rho_o / \rho_s - \rho_o \quad (4)$$

donde: ρ_s – densidad del sólido; kg/m³

ρ_o – densidad del agua; kg/ m³.

ρ_p – densidad de la pulpa; kg/ m³.

La densidad de la pulpa se calculó por la expresión:

$$\rho_p = \rho_s / \rho_s - S (\rho_s - \rho_o) \quad (5)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados evidencian que la densidad de las colas varía en función de la temperatura a la que se transportan (Tabla 2), confirmando lo obtenido en investigaciones previas acerca de la influencia de la temperatura en el comportamiento reológico de las colas del proceso Caron (Turro et al., 2002).

Tabla 2. Comportamiento de la densidad según temperatura

Densidad de las suspensiones, kg/m ³ .		
28 °C	60 °C	90 °C
1230	1190	1046
1300	1235	1105
1500	1425	1275
1650	1568	1400
1750	1663	1488

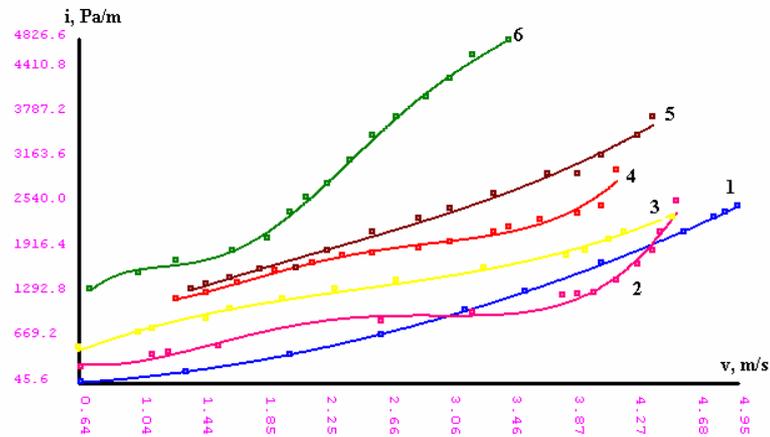


Figura 2. Comportamiento de las pérdidas hidráulicas en la tubería de 100 mm de diámetro para diferentes concentraciones de la pulpa y temperatura de 28°C
1- agua; 2- 25 %; 3 - 30 %; 4 - 40 %; 5 - 45 %; 6 - 50 %.

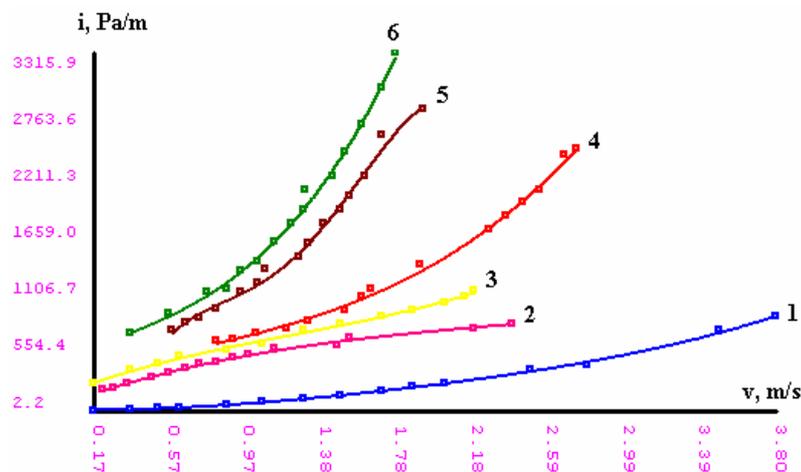


Figura 3. Comportamiento de las pérdidas hidráulicas en la tubería de 150 mm de diámetro para diferentes concentraciones de la pulpa y temperatura de 28°C
1- agua; 2- 25 %; 3 - 30 %; 4 - 40 %; 5 - 45 %; 6 - 50 %.

Las Figuras 2 y 3 muestran que durante el hidrotransporte de colas del proceso Caron se presentan, principalmente, dos regímenes de movimiento: estructural (laminar) y turbulento; no se distingue la existencia de una zona de transición, cambiando el régimen de manera brusca. Las gráficas muestran que el cambio de régimen de flujo tiene lugar a distintos valores de velocidad, los que aumentan en la medida en que lo hace la concentración de sólidos. Se observa el cambio de régimen para las

concentraciones de 40, 45 y 50 %; las restantes curvas muestran sólo el régimen turbulento. Los puntos experimentales correspondientes a la zona turbulenta presentaron, en todos los casos, un comportamiento no lineal.

La zona inicial de las curvas, que describen el régimen estructural, puede ser representada por una recta que intercepta el eje de las ordenadas a una distancia dada del origen. El valor de dicho intercepto determina la magnitud de las pérdidas de presión necesaria para vencer las tensiones cortantes iniciales (τ_0); de las suspensiones que exhiben plasticidad (de 40 a 50 % de sólido). Para diferentes concentraciones másicas, estas rectas tienen diferentes ángulos de inclinación (Figuras 2 y 3). Las curvas $i = f(v)$ obtenidas para el régimen turbulento en las colas tienen mayor pendiente que las curvas análogas para el agua.

En ambas Figuras (2 y 3) se observa que la posición de las curvas depende de la concentración de sólidos, mostrando las mismas características; se diferencian por un incremento de las pérdidas hidráulicas debido al aumento de la fase sólida en la hidromezcla.

En la Figura 4 se muestran las curvas de $i = f(Q)$ para las temperaturas de 28 y 90°C, concentración de sólido de 50% y diámetro de la tubería de 100 mm. Al aumentar la temperatura, el límite de fluidez de las pulpas aumentó progresivamente, y al decrecer las viscosidades efectivas de las suspensiones se produjo una disminución apreciable de las pérdidas hidráulicas. Las curvas muestran los tres regímenes de flujo (laminar, transición y turbulento), representados por las zonas A, B y C, respectivamente. En relación con esto último, vale decir que la posibilidad de obtener datos de las tres zonas depende de la concentración de sólidos, fundamentalmente. Así para una concentración de sólido de 50% se logran las tres zonas, en cambio, para el 40% se observa solo la zona C.

Es necesario indicar que una de las peculiaridades del flujo de las colas es la zona transitoria entre el régimen laminar y el turbulento. Así para una concentración de 40 ó 50 % de peso en sólido, al incrementar la temperatura desaparecen más rápido las propiedades estructurales de las colas y se manifiesta un cambio en la distribución del perfil de velocidades por la sección transversal de la tubería (Izquierdo, 2001).

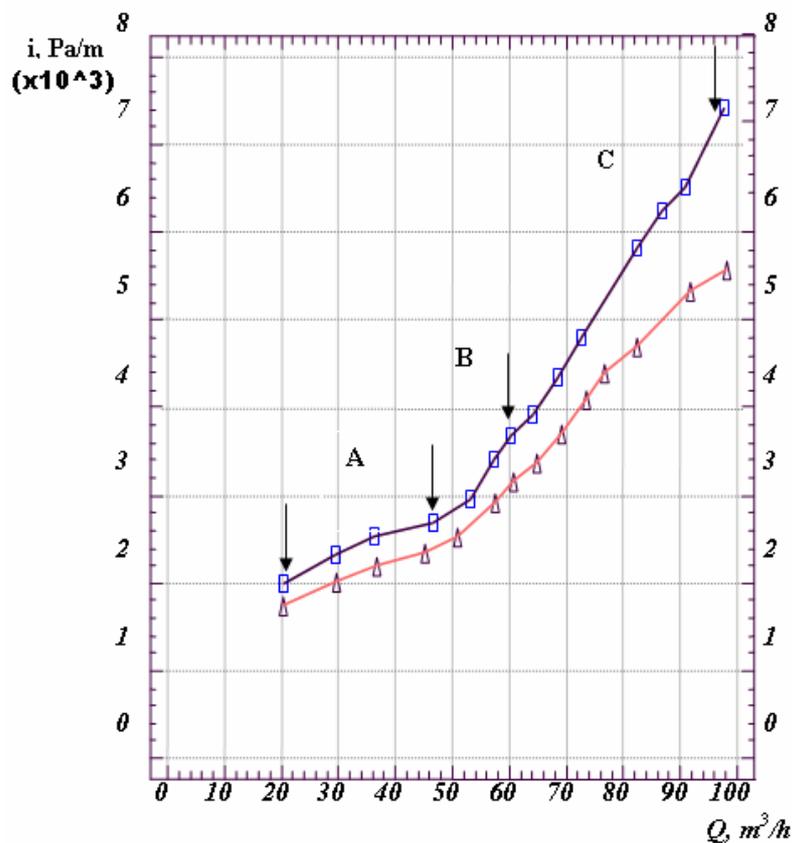


Figura 4. Comportamiento de las pérdidas hidráulicas en función del caudal en la tubería de 100 mm de diámetro, para diferentes temperaturas ($28\text{ }^\circ C$, en azul; $90\text{ }^\circ C$, en rojo) y a una concentración de 50% de sólido.

El comportamiento de las relaciones $i = f(v)$ obtenidas para las pulpas de cola y descrito en los gráficos es semejante al obtenido por Smoldriev & Safonov (1989) para suspensiones de caolín, carbón, laterita, serpentina blanda y otros, en el flujo de diversos materiales y en tuberías de distintos diámetros.

La relación de la caída de presión por unidad de longitud en función de la velocidad depende de la temperatura y de la concentración del sólido, siendo más notorio el efecto de esta última variable. Las curvas de i vs v permiten observar las zonas correspondientes a los regímenes de flujo laminar, de transición y turbulento para concentraciones de 50% mientras que para concentraciones inferiores a las utilizadas en la instalación semi-industrial en los rangos de flujo, de concentración y de diámetro de la tubería sólo se muestra la región turbulenta. Las pérdidas hidráulicas aumentaron al incrementarse la concentración de sólido en las muestras y disminuyeron con el aumento de la temperatura.

La investigación desarrollada permitió establecer que la velocidad racional de transportación se obtiene para el inicio del régimen turbulento, a una concentración de 45 % de sólido y temperatura de 90 °C a partir de criterios de menor consumo de energía por toneladas de sólido transportadas. Estos parámetros resultan inferiores a los aplicados en la actualidad y a los reportados en la literatura para pulpas bifásicas normales.

El aumento del tráfico de pulpa de cola en las líneas disminuye los costos de producción, lo que proporcionaría una mayor eficiencia productiva, posibilitando el incremento racional de la capacidad productiva de la empresa.

CONCLUSIONES

Al transportar por tuberías colas lateríticas cuyas concentraciones de sólido en peso sean menores de 45%, se manifiestan solamente dos regímenes de flujo: laminar y turbulento.

Para las colas lateríticas de la empresa Comandante Che Guevara los parámetros racionales de transporte se logran al inicio del régimen turbulento, para 45 % de concentración y temperatura de 90 °C.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al laboratorio de Tecnología Química de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Oriente por los análisis químicos, al Departamento de Ingeniería y Proyecto y a la Dirección de la Planta de Recuperación de Amoniaco de la Empresa Ernesto Che Guevara por su asistencia técnica y apoyo en la instrumentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, B.I & KULESHOV, A. 1986. Investigación y establecimiento de los regímenes de la transportación de las colas de beneficio de la fábrica No. 3 Dsheskazgan GMK. Leningrado. Informe técnico.
- DARBY, R. 2001. Take the mystery out of non-newtonian fluids. *Chemical Engineering*, 3 : 66-73.
- DSHUNUSOV, Y. 1988. Elaboración del equipamiento complejo para la sedimentación e hidrotransportación de las pulpas finas dispersas. Tesis de doctorado. Instituto de Minas de Leningrado.
- GARCELL, L. 2001. Flujo por tuberías de suspensiones minerales no newtonianas. Apuntes para una monografía (inédito) 40 p.
- IZQUIERDO, R. 1989. Investigación de los parámetros y elaboración de los regímenes racionales del transporte hidráulico de lateritas utilizados en las condiciones de la Fábrica Cmdte. Pedro Sotto Alba. Tesis de Doctorado. Leningrado, 145 p.
- IZQUIERDO, R. 2001. Hidrotransporte del mineral laterítico en régimen estructural. *Minería y Geología*. 18 (2) : 53-59.
- ROJAS, A.L. & TURRO B., A. 2003. Composición Mineralógica de las colas del Proceso CARON en Moa, Holguín, Cuba, *Minería y Geología* 19 (3 – 4) : 21 – 28.
- SMOLDRIEV, A.E & SAFONOV, Y.E. 1989. *Transporte por tuberías de hidromezclas concentradas*. Moscú. Construcción de Maquinarias, 208 p.
- TURRO B., A.; GARCELL, L. & IZQUIERDO, R. 2002. Influencia de diferentes factores sobre el comportamiento reológico de las suspensiones de desechos lixiviados (colas) del proceso Industrial CARON. *Tecnología Química*, 3 :27-34.