

## ARTICULO ORIGINAL

### **Características reológicas de la pasta para producir cemento portland**

#### **Rheological characteristics of paste for portland cement production**

**\*Benítez Cortés I.<sup>1</sup>; Julián Ricardo M.C.<sup>2</sup>; Caballero Calderón M.<sup>3</sup>; Miño Valdés J.E.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Dr. Ing.Qco. Dpto. de Ingeniería Química, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Circunvalación Norte km 5½, Cuba.

<sup>2</sup>Dra. MSc. Ing. Qca. Dpto. de Ing.Qca, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Cuba.Email: maria.julian@reduc.edu.cu

<sup>3</sup>MSc. Ing. Qco. Dpto. de Ingeniería Química, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Cuba. Email: manuel.caballero@reduc.edu.cu

<sup>4</sup>Dr.MSc. Ing.Qco.Dpto. de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones, Argentina. Email: jemino53@hotmail.com / minio@fio.unam.edu.ar

#### **RESUMEN**

Este trabajo se desarrolla con el objetivo de determinar las características reológicas de la pasta para la producción de cemento Portland en la fábrica "26 de julio" de Nuevitas, Cuba, en función del contenido de humedad. Se prepararon muestras a 38, 40, 42, 45 y 47% de humedad y se midió la viscosidad con un viscosímetro rotacional. Se observó que la pasta tiene un comportamiento pseudoplástico que se ajusta a los Modelos de Ostwald-de Waele y de Metzner-Reed. Se obtuvo la dependencia del índice de flujo "n" y del índice de consistencia "k", en el modelo de Metzner-Reed, resultando que "n" aumentó con el incremento de la humedad mientras que "k" disminuyó. Se obtuvieron las curvas características de las bombas para agua y pasta para la producción de cemento, donde se aprecia un decrecimiento de la eficiencia de la bomba y un aumento de la potencia, cuando se utiliza pasta en comparación con el uso de agua como fluido. Un breve análisis económico muestra que para la capacidad de diseño de la fábrica, una disminución del contenido de humedad de la pasta en dos unidades porcentuales, representa un considerable ahorro de combustible.

**Palabras clave:** pasta, cemento Portland, producción, reología, pseudoplástico.

#### **ABSTRACT**

This work is developed in order to determine the rheological properties of the paste for the production of Portland cement factory " 26 de Julio" of Nuevitas, Cuba, depending on the moisture content. Samples were prepared at 38, 40, 42, 45 and 47% humidity, and the viscosity was measured with a rotational viscometer. It was observed that the pulp has a pseudo plastic behavior that fits models Ostwald de Waele and Metzner-Reed. The relationship between the index flow coefficients "n" and consistency index "k" in the model Metzner-Reed was obtained, resulting in "n" increased with increasing moisture while "k" decreased. The characteristic curves of the water pumps and paste for the

---

**\*Autor Correspondiente: Benítez Cortés I.** Dr. Ing. Qco. Dpto. de Ingeniería Química, Universidad de Camagüey Ignacio Agramonte Loynaz, Circunvalación Norte km 5½, Cuba.

Tel: 0053 32 211419. E-mail: isnel.benites@reduc.edu.cu

Fecha de recepción: febrero 2016; Fecha de aceptación: mayo 2016

production of cement was obtained. When paste is used, the pump efficiency decrease and power increased in comparison with water used. A brief economic analysis shows that for the design capacity of the factory, a decrease in moisture content of the dough into two percentage units, representing a considerable saving of fuel.

**Keywords:** paste, Portland cement, production, rheology, pseudo plastic.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los renglones principales en la industria de materiales para la construcción, lo constituye la fabricación de cemento Portland. En su producción por vía húmeda, el área que más influencia tiene sobre los costos de producción es el de los hornos rotatorios, debido a que una parte importante del consumo de combustible se utiliza en la evaporación del agua contenida en la pasta. Esta pasta resulta de la mezcla de diferentes materias primas y componentes del cemento, tales como piedras calizas altas, margosas y margas, así como minerales de hierro, arenas y arcillas, y es preparada mezclando estos materiales sólidos con agua a diferentes contenidos de humedad. Por tales motivos, las propiedades reológicas de la misma varían en función de la humedad contenida, teniendo una gran influencia en el proceso de bombeo, tanto en el diseño como en la explotación del mismo. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características reológicas de la pasta a diferentes niveles de humedad.

### *Clasificación reológica de los fluidos*

Teniendo en cuenta las características reológicas de los fluidos debido al comportamiento de la viscosidad ( $\mu$ ), estos se pueden clasificar en newtonianos y no newtonianos (Alonso et al, 2012; Bird et al, 2002). Los fluidos newtonianos cumplen con la ley de Newton de la viscosidad:

$$\tau = \mu \left( - \frac{dv}{dy} \right)$$

(ecuación1)

Dónde:

$\tau$  = esfuerzo cortante (Pa)

$\mu$  = viscosidad dinámica (Pas)

$v$  = velocidad del flujo (m/s)

$y$  = dirección axial del fluido, perpendicular al sentido del movimiento (m)

En estos fluidos la  $\mu$  solo depende de la temperatura.

En la práctica industrial existen muchas sustancias que no se comportan según la ley de Newton de la viscosidad, son los denominados no-newtonianos, en estos, la viscosidad es función de la temperatura, la presión y del gradiente de velocidad ( $-du/dy$ ). La mayor parte de estos fluidos son sustancias altamente viscosas y dentro de ellas, se destacan los fluidos cementantes de pozos petroleros con un alto contenido de cemento (Betancur et al, 2014).

También dependiendo de cómo puede variar la  $\mu$  se ha aceptado universalmente la clasificación de los materiales no newtonianos en: independientes del tiempo, dependientes del tiempo y visco-elásticos (responden al modelo de Maxwell) (Alonso et al, 2012). Para describir el comportamiento reológico de las sustancias no-newtonianas se emplea la forma generalizada de la ecuación 1:

$$\tau = \eta \left( -\frac{dv}{dy} \right) \quad (\text{ecuación 2})$$

En la cual  $\eta$  se conoce como viscosidad aparente.

#### *Curvas de flujo del material*

Al representar gráficamente la relación del esfuerzo cortante  $\tau$  en función de  $(-dv/dy)$  se obtienen curvas que describen el comportamiento reológico de los fluidos newtonianos y no-newtonianos. Estas curvas se conocen como curvas de flujo del material y para su construcción se utilizan los viscosímetros rotacionales, donde se somete a la sustancia en estudio a la acción de componentes unidimensionales del  $\tau$  y de la velocidad de deformación para describir matemáticamente la relación entre estas dos variables.

#### *Modelo de flujos no Newtonianos*

Se han propuesto diferentes expresiones empíricas, denominadas modelos reológicos, para describir la relación entre el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad de los materiales no newtonianos, dentro de los más difundidos se encuentran los siguientes:

*Modelo Ostwald-de Waele*: este modelo también es conocido como Ley de la Potencia. La relación entre el esfuerzo cortante  $\tau$  y el gradiente de velocidad  $(-dv/dy)$  se describe a partir de la siguiente ecuación:

$$\tau = k \left( -\frac{dv}{dy} \right)^n \quad (\text{ecuación 3})$$

$n$  = índice de flujo (adimensional)

$k$  = índice de consistencia, Pa.s <sup>$n$</sup>

El parámetro  $n$  es una medida del grado de comportamiento no newtoniano del fluido. En las regiones en que  $k$  disminuye al aumentar el gradiente de velocidad, el comportamiento se denomina pseudoplástico y se le llama comportamiento dilatante cuando  $k$  aumenta con el gradiente de velocidad (Bello et al, 2014). Para  $n=1$ , este modelo se transforma en la Ley de viscosidad de Newton. Por consiguiente, la desviación de  $n$  con respecto a la unidad, es una medida del grado de desviación del comportamiento newtoniano. Cuando  $n < 1$  el comportamiento es pseudoplástico y para  $n > 1$  es dilatante. El parámetro  $k$  constituye una medida del grado de viscosidad del material (Bird et al, 2002). A medida que  $k$  aumenta, también aumenta el grado de viscosidad del material (Mechetti, 2011).

En un fluido pseudoplástico, la curva del esfuerzo cortante versus gradiente de velocidad comienza en el origen y es cóncava hacia arriba, por lo que un incremento en la velocidad genera un menor incremento en el esfuerzo cortante. Ejemplos de este comportamiento lo tienen las pastas de almidón con un calentamiento previo a temperaturas por encima de 90°C y las suspensiones de las harinas preparadas con trozos de yuca (mandioca) pre-cocidos sin y con reposo a baja temperatura (Rodríguez et al, 2006) y las resinas empleadas para producir concreto polimérico así como las pastas de cemento Portland adicionadas con modificadores de viscosidad (Valencia et al, 2010). Una amplia gama de yogurt utilizando diferentes espesantes como goma guar, goma xantana y carboximetilcelulosa entre otros, presentan este tipo de comportamiento (Rocha et al, 2013).

*Modelo Metzner-Reed*: es característico de los fluidos dilatantes. En este caso, la expresión matemática que describe el comportamiento del esfuerzo cortante  $\tau$  en (Pa) es:

$$\tau = k^1 \left( \frac{8V}{D} \right)^n \quad (\text{ecuación4})$$

Siendo el término  $(8V/D)$  el gradiente de velocidad.

**k** = índice de consistencia de flujo

**n** = índice de comportamiento de flujo

D = diámetro del conducto (m)

V = velocidad del fluido (m/s)

La viscosidad efectiva del fluido ( $\mu_e$ ) medida en (Pas) se define como:

$$\mu_e = \frac{\tau}{\left( \frac{8V}{D} \right)} \quad (\text{ecuación5})$$

Aunque se han propuesto numerosas ecuaciones empíricas y modelos para describir la relación entre la viscosidad y el gradiente de velocidad para diferentes fluidos, se hace necesario estudiar la influencia que tiene el contenido de humedad de la pasta para producir cemento observando la viscosidad de la misma con vistas a mejorar el desempeño del sistema de bombeo y reducir los altos consumos energéticos en el área de los hornos rotatorios (Mechetti, 2011; Rodríguez et al, 2006).

#### *Construcción de las curvas características de las bombas*

Las curvas características muestran las interrelaciones de capacidad, carga, potencia y eficiencia de las bombas las cuales se pueden representar gráficamente. La carga, potencia y eficiencia generalmente se trazan contra la capacidad a velocidad constante. El comportamiento de los distintos tipos de bombas difiere cuando trabajan con agua o con algún líquido viscoso. Como la mayor parte de las veces, las bombas se usan para trabajar con agua, al cambiar el fluido por otro más viscoso, se deben hacer ajustes necesarios para corregir el comportamiento de las mismas según (Karassik, 1985).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### *Determinación de la humedad de la pasta*

Se parte de una muestra del retorno del tanque dosificador al horno rotatorio y se agita constantemente. Una vez lograda la homogeneización total, se determina el contenido de humedad utilizando el método gravimétrico. Estos valores a nivel industrial se comportan entre 40-43 %, independiente de la composición de la pasta en base seca. Para ello, se pesa un vidrio reloj en una balanza analítica Sartorium, se enraza y luego se pesan 50g de muestra. La muestra se coloca en una estufa a 100°C por espacio de 24h para eliminar la humedad. Por diferencia de pesadas se determina la humedad removida de la muestra y se expresa el resultado en porcentaje (%). Estos análisis se realizan cinco veces y se obtiene el valor promedio; luego se realizan los balances de masa para preparar muestras de estudio con dos valores porcentuales por

encima y por debajo del valor medio obtenido. De esta forma, quedan fijados los niveles de humedad que se estudian (Safi et al, 2011).

*Determinación de las características reológicas de las muestras*

Una vez establecidos los niveles de humedad a estudiar, se pasa a la caracterización reológica de las muestras a partir de la determinación de los valores de esfuerzo cortante y los gradientes de velocidad en un viscosímetro rotacional utilizando una copa S y un cilindro S<sub>3</sub>.

Los datos se procesan en el Programa NO NEW con el que se obtienen los valores de (8V/D), viscosidad aparente ( $\eta$ ) y viscosidad efectiva ( $\mu_e$ ), además del comportamiento reológico de la pasta. Al graficar la viscosidad efectiva  $\mu_e$  en función de (8V/D) para los diferentes valores de humedad estudiados, se obtienen curvas exponenciales. Para ajustar estas, es necesario llevarlas a ecuaciones lineales para lo cual se usan gráficos log-log. Posteriormente, se realiza el ajuste de las curvas utilizando el Paquete Estadístico Sthographic Plus V.5. Con estos resultados, se construyen las curvas de **k** y **n** en función de la humedad. Para cada una de las humedades estudiadas, se realiza una réplica y se obtienen los valores promedios.

*Determinación de las curvas características de las bombas*

Para esto, se parte de la metodología reportada por (Karassik, 1985). Se realizan mediciones de los impelentes utilizados a través de mediciones directas de sus dimensiones. Se observa un desgaste por la abrasión del fluido, lo que implica su sustitución en períodos pequeños de tiempo provocando encarecimientos del proceso. Por tanto, las curvas se realizan partiendo de impelentes nuevos. Se realiza el balance de energía mecánica del sistema de bombeo y se obtienen las curvas para agua corrigiéndose para la pasta de cemento.

Se parte de las dimensiones de los impelentes como el diámetro del ojo de la bomba, D<sub>1</sub> y diámetro exterior del impelente D<sub>2</sub>, el ancho del álabe W<sub>2</sub> y su espesor en la periferia S<sub>2</sub>, todos expresados en centímetros, así como el número de álabes, Z<sub>2</sub> y la altura en la succión H<sub>s</sub>. Con estos datos se determina la relación de diámetros D<sub>2</sub>/D<sub>1</sub>.

Con esta relación se determina la velocidad específica N<sub>s</sub>, para un tipo de impulsor de admisión sencilla. Con la altura de succión se determinan las constantes de carga y capacidad,  $\phi$  y K<sub>cr</sub>, respectivamente, así como la velocidad en el ojo V<sub>ojo</sub> (m/s), a partir de tablas reportadas por (Karassik, 1985).

Determinación de la velocidad rotativa  $\eta$ , rpm:

$$\eta = \frac{1913V_{ojo}}{D_1}$$

(ecuación 6)

Determinación de la carga de la bomba H, m:

$$H = \left( \frac{D_1 \eta}{8450 \phi} \right)^2$$

(ecuación7)

Calculo del área de descarga del impulsor,  $F_2$ , m:

$$F_2 = W_2 \left( 0,14 D_2 - Z_2 S_2 \right)$$

(ecuación8)

Cálculo de la capacidad de la bomba, l/min

$$Q = 26,5 K_{cr} F_2 \sqrt{H}$$

(ecuación9)

Calculo de la potencia de la bomba

$$Ne = \frac{QH}{4560 \eta_b}$$

(ecuación10)

Donde la eficiencia de la bomba  $\eta_b$  se obtiene por nomograma de la figura 17.31

Con los resultados se traza una curva se trazó con H (m) en función de Q (m<sup>3</sup>/s) y la otra con Ne (kW) en función de Q (m<sup>3</sup>/s).

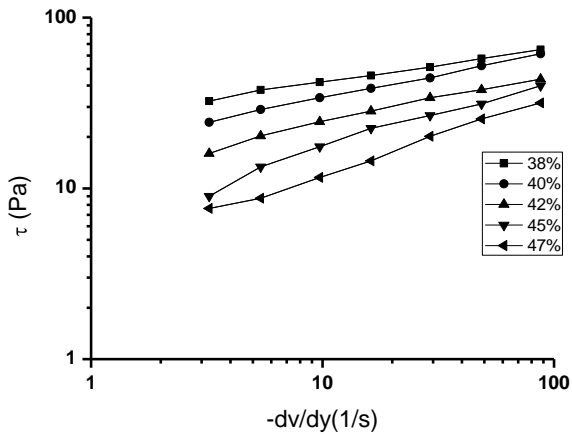
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### *Humedad de la pasta*

La humedad de la pasta presentó un valor de 42%. Al buscar dos niveles de humedad por encima y por debajo de la obtenida experimentalmente, se obtuvieron niveles de 38, 40, 42, 45 y 47%. Estos niveles fueron tomados para el estudio de las características reológicas de la pasta.

### *Características reológicas de las muestras*

La Figura 1 muestra las curvas del esfuerzo cortante  $\tau$  en función del gradiente de velocidad.



**Figura 1.** Esfuerzo cortante en función del perfil de velocidad. (Gráfico logarítmico). Fuente: elaboración propia

Del ajuste de curvas realizado a los valores de  $\mu_e$  vs  $(8V/D)$  a diferentes niveles de humedad, se obtuvieron los modelos ajustados a partir del Análisis de Regresión realizado y ajustando en cada caso los datos a una curva exponencial; se obtuvieron los Coeficientes de Correlación. Estos últimos señalaron una fuerte correlación negativa, por lo que el modelo ajustado es confiable. La Tabla 1 presenta los siguientes resultados.

**Tabla 1.** Resultados de los modelos obtenidos para los diferentes valores de humedad

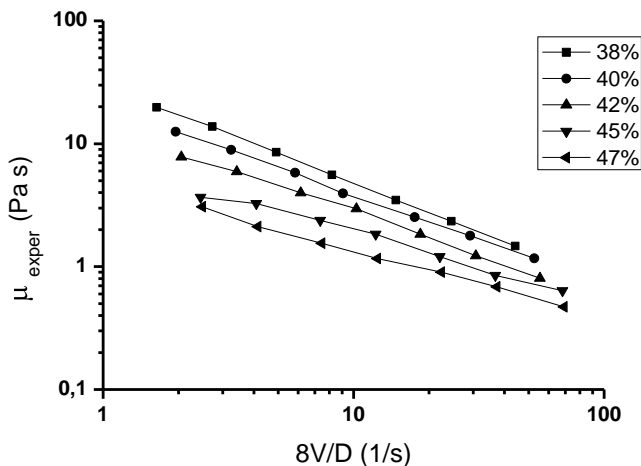
Humedad (%)	Modelo Ostwald-de Waele	Coef. Correl.
38	$\text{Log}\mu_e = 1,4731 - 0,7945 \log(8V/D)$	-
40	$\text{Log}\mu_e = 1,3174 - 0,7281 \log(8V/D)$	0,9998
42	$\text{Log}\mu_e = 1,1512 - 0,7009 \log(8V/D)$	0,9999
45	$\text{Log}\mu_e = 0,8335 - 0,5594 \log(8V/D)$	0,9983
47	$\text{Log}\mu_e = 0,6713 - 0,5409 \log(8V/D)$	0,9945
		0,9989

Fuente: elaboración propia

Los resultados obtenidos indicaron que de todos los modelos matemáticos probados al que mejor se ajustó fue al Modelo de Ostwald-de Waele, (Darby, 2001; Mc Cabe et al, 1991; Safi et al, 2011) con el cual se obtuvieron los mayores valores de los Coeficientes de Correlación, siendo estos de alrededor de 0,99 en todos los casos.

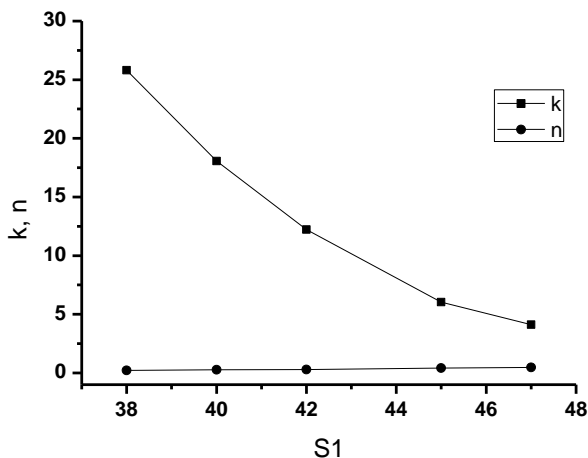
La dependencia entre la viscosidad efectiva  $\mu_e$  y la relación  $(8V/D)$  se presenta en la Figura 2, donde se aprecia un comportamiento inversamente proporcional, a medida que aumenta la relación  $(8V/D)$  la viscosidad disminuye. El Análisis de Varianza realizado demuestra que el modelo está ajustado, pues la probabilidad asociada al Estadígrafo F es mucho menor que 0,05. Del Análisis de los Residuos

se observa que estos datos están distribuidos aleatoriamente con valores de errores pequeños.



**Figura 2.** Relación entre  $\mu_e$  y el término  $(8V/D)$ (Gráfico logarítmico)  
Fuente: elaboración propia

Por su parte, la Figura 3 muestra la relación de los coeficientes **k** y **n** del Modelo de Metzner-Reed.



**Figura 3.** Valores de  $k$  y  $n$  obtenidos del ajuste al Modelo de Metzner-Reed.  
Fuente: elaboración propia

Los resultados muestran que para todos los niveles de humedad estudiados el valor del índice de flujo **n**, se mantiene prácticamente constante y menor que uno, lo que indica un comportamiento pseudoplástico de la pasta. Esto revela

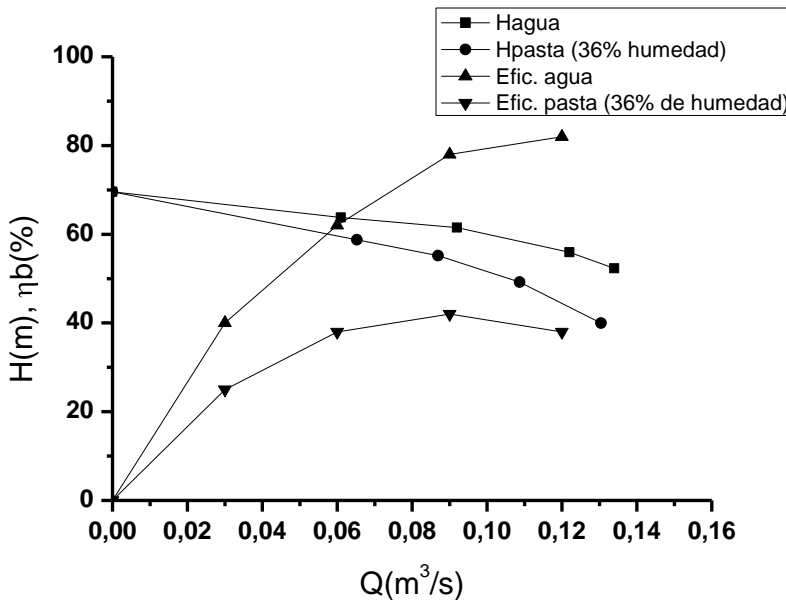


que para este tipo de fluido, no existe una influencia marcada entre la humedad en el rango estudiado y la posibilidad de que el fluido cambie sus características reológicas, acercándose al comportamiento newtoniano. Estos valores de  $n$  son muy cercanos a cero, sobre todo los obtenidos a menor contenido de humedad, lo que hace que se alejen del comportamiento newtoniano. Estudios previos de reología de pastas de cemento puro con lodos de embalse calcinados y escorias granuladas de horno alto, muestran comportamiento pseudoplástico para humedades alrededor de relación agua/sólido de 0,4 (Safi et al, 2011).

Para el caso del índice de consistencia  $k$ , este disminuye considerablemente con el aumento de la humedad en el rango de estudio. Por tanto, la viscosidad de la pasta disminuye considerablemente con el aumento de la humedad. Por tales motivos, se debe lograr un compromiso entre la humedad de esta pasta para facilitar el proceso de bombeo en la industria y el consumo energético posterior en la etapa de evaporación de la misma en el horno rotatorio.

*Curvas características de las bombas y punto de operación*

La Figura 4 presenta en las mismas coordenadas, dos tipos de curvas de operación de las bombas para agua y para pasta con 36% de humedad.



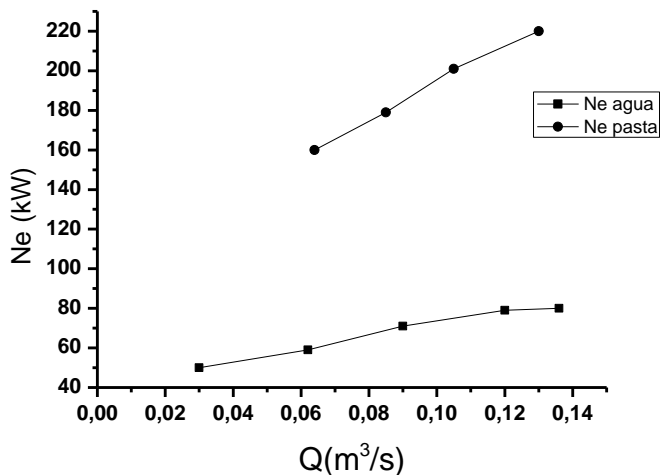
**Figura 4.** Curvas de operación de la bomba (36 % de humedad).  
Fuente: elaboración propia

Se aprecia que la eficiencia de la bomba para ambos fluidos (agua y pasta con 36% de humedad) va aumentando en la medida que aumenta el caudal de la bomba, lo cual es típico para bombas centrífugas. También se observa que a partir de un punto determinado (alrededor de los 0,09 m³/s) la eficiencia comienza a decrecer para la pasta al 36% de humedad; esto indica que debe operarse la bomba por debajo de este caudal. Por otra parte, se aprecia una

reducción en la carga de la bomba cuando la bomba trabaja con pasta al 36% de humedad respecto del agua. En el caso de los valores de eficiencias, esta se reduce a más de la mitad, lo cual afecta considerablemente el sistema de bombeo.

En la Figura 5 se presentan las curvas de la potencia de la bomba (**Ne**) en función del caudal de bombeo cuando se trabaja con agua o con pasta al 36% de humedad. Como era de esperar los resultados obtenidos indican que se necesita mayor potencia (kW) por parte de la bomba para poder trasladar la pasta, esto debido a la mayor viscosidad de la pasta respecto del agua.

Un análisis de estos gráficos muestra que, tanto para el caso del agua como de la pasta de cemento, la carga disminuye con el aumento de la capacidad mientras que la potencia aumenta. Este efecto se hace mayor para el caso del bombeo de la pasta debido a que existe un incremento significativo en la viscosidad del fluido.



**Figura 5.** Potencia de la bomba en función del caudal para agua o pasta al 36% de humedad. Fuente: elaboración propia

Tanto para los resultados mostrados en la Figura 4 como en la Figura 5, para los otros valores de humedad estudiados, estas diferencias se hacen menores a medida que aumenta la humedad, lo cual resulta favorable. No obstante, este incremento en la humedad favorece el proceso de bombeo pero aumentan considerablemente los costos de producción por concepto de uso de fuel oil en el calentamiento y evaporación de esta agua en los hornos rotatorios. Por tales motivos, debe realizarse un estudio de optimización que tenga en cuenta estos efectos contradictorios. Un análisis económico preliminar permite determinar que para la capacidad de diseño de la planta de 300 000 toneladas anuales, al disminuir la humedad de la pasta en dos unidades porcentuales, se ahorran 3291,75 toneladas de petróleo crudo con su consecuente impacto económico.

## CONCLUSIONES

Los resultados experimentales muestran que la pasta de cemento tiene un comportamiento pseudoplástico (no newtoniano) que se ajusta a los modelos de Ostwald-de Waele y de Metzner-Reed.

Los modelos experimentales obtenidos permiten determinar los valores de viscosidad de la pasta para la producción de cemento en el rango de 38 a 47% de humedad así como los valores del índice de flujo y el índice de consistencia, para su comportamiento no newtoniano.

Las curvas características de las bombas para la pasta demuestran que existe una reducción de la eficiencia y la carga con la disminución de la humedad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, M.; Burgos & Montes, O.; Varga, C. y Puertas, F. (2012). *Influencia de aditivos PCE en el comportamiento reológico, mecánico y durable de morteros de CAC*. 3º Congreso Iberoamericano sobre hormigón autocompactante: avances y oportunidades realizado en Madrid, España.
- Bello, J.E.; Balois, R.; Sumaya, M.T.; Juárez, P.; Rodríguez, A.I.; Sánchez, L.M. y Jiménez, E. (2014). Extracción y caracterización reológica de almidón y pectina en frutos de plátano 'Pera' (Musa ABB). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8, 1501-7. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263131168016>.
- Betancur, S.; Alzate, G. y Cortés, F. (2014). Mejoramiento de los fluidos de perforación usando nanopartículas funcionalizadas: reducción de las pérdidas de filtrado y del espesor de la retorta. *Boletín Ciencias de la Tierra*, 35, 5-14. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/43179/0>.
- Bird, R.; Stewart, W. y Lightfoot, E. (2002). *Fenómenos de transporte*. EEUU: John Wiley & Sons.
- Darby, R. (2001). *Chemical Engineering Fluids Mechanics*. New York, EEUU: Marcel Dekker.
- Karassik, I. y Carter, R. (1985). *Bombas centrífugas. Selección, operación y - mantenimiento*. Ciudad de la Habana: Edición Revolucionaria.
- McCabe, W.; Smith, J.; y Harriott, P. (1991). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*, España: McGraw Hill.
- Mechetti, M.; Gómez, A.R. y Balella, A. (2011). Propiedades reológicas de melados de caña de azúcar. *Investigación y Desarrollo*, 33, 1-8. Disponible en: <http://avibert.blogspot.com/2012/01/propiedades-reologicas-del-melados-de.html>.
- Safi, B.; Benmounah, A. y Saidi, M. (2011). Reología y potencial zeta de pastas de cemento con lodos de embalse calcinados y escorias granuladas de horno alto. *Materiales de Construcción*, 61, 353-370. Disponible en: [www.dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3735616](http://www.dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3735616).
- Rocha dos Santos, T.; Silva, K.C.; da Silva, C.L. y Amorin, B. (2013). Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16(1), 12-20. Doi: 10.1590/S1981-67232013005000004.
- Rodríguez, E.; Fernández, A.; Alcalá, L.A. y Ospina, B. (2006). Reología de suspensiones preparadas con harina precocida de yuca. *Ingeniería y Desarrollo*, 19, 17-30. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85201902>.
- Valencia, M.E.; Collazos, P.A.; Mina, J.H. y Toro, E.F. (2010). Caracterización fisicomecánica de concreto polimérico basado en resina poliéster. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 8 (1), 83-93. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105317327008>.