



Análisis de las propiedades reológicas de las suspensiones a partir del ejemplo del caolín

El reómetro RheolabQC de Anton Paar fija nuevos estándares para el control de calidad y puede aplicarse, por ejemplo, en la industria de la cerámica.

Esta nota de aplicación muestra de qué modo el desplazamiento y transporte de lodos cerámicos se ve influenciado por sus propiedades reológicas, por ejemplo, por el límite de fluencia y la viscosidad.



1 Introducción

Las propiedades de mecanizado y transporte de los lodos dependen principalmente de sus propiedades reológicas. Es por ello que a la hora de transportar grandes cantidades de lodo es indispensable conocer los parámetros reológicos.

En este informe se presenta el método de medición destinado a la valoración reológica de los lodos. La curva de flujo sirve para calcular el caudal en el sistema de tuberías y la resistencia de fluencia o la diferencia de presión resultante.

2 La muestra

Caolín: Silicato de aluminio hidratado $Al_4(OH)_8[Si_4O_{10}]$

El caolín (arcilla de porcelana) es un silicato de potasio que contiene el mineral caolinita. Se origina a través de la descomposición y transformación de piedras de silicato. El caolín puro es níveo; mezclado con cuarzo y feldespato adquiere un color gris-amarillento (caolín puro, arena de caolín). El caolín es el resultado de la erosión del granito y del feldespato y se encuentra en muchos lugares del planeta.

La descomposición se realiza a través de una flotación química húmeda y de su posterior limpieza.

El caolín está compuesto principalmente por SiO_2 (35 %) y Al_2O_3 (46 % - 49 %). Su valor de pH es aprox. 5. El tamaño de las partículas se encuentra entre los 2 μm y los 20 μm . La densidad de las sustancias sólidas es de aprox. 2,6 g/cm^3 .

En el caso de la muestra analizada se trata de una suspensión de caolín con una concentración de 10 % de sustancia sólida en agua.

3 Desarrollo del ensayo

Todas las mediciones fueron realizadas con el reómetro *RheolabQC* de Anton Paar, equipado con un sistema de medición de cilindro arenado *CC27* según la norma *ISO 3219*. El arenado reduce el efecto deslizante en la superficie de las paredes tratadas. La norma *ISO 3219* describe el montaje de la geometría del cilindro y fija la relación entre el diámetro del cilindro graduado y el diámetro del cuerpo de medida en 1,0847.

Esto define un estándar industrial para todo el gradiente de velocidad, independientemente de las dimensiones de los sistemas de medición de los diferentes fabricantes.



Fig. 1 El reómetro *RheolabQC* de Anton Paar

Durante la medición de lodos debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- El sistema de medición CC27 puede ser utilizado sin problemas con partículas menores a 100 µm.
- En caso de que el tamaño promedio de las partículas superara por mucho los 100 µm, recomendamos la utilización de un agitador de aspas con cuatro paletas verticales ST22/4V/40 (4 paletas verticales) en el cilindro graduado CC27.

La termostatación del sistema de medición se realiza en el baño de agua del termostato o directamente en el equipo a través de un módulo de medición termostatizable. Además, la temperatura del sistema de medición puede regularse con la ayuda del software Rheoplus. La indicación específica de perfiles de temperatura definidos abre más posibilidades para el análisis de la sensibilidad a la temperatura de los lodos. Así, por ejemplo, es posible fijar una rampa de temperatura de 5 a 40 °C con una tasa de calefacción de 2 K/min (°C/min) y una tasa constante de cizalla de 100 s⁻¹.

4 Condiciones para el ensayo en el software

El control del RheolabQC se realiza en forma manual en el equipo o a través del software *Rheoplus*TM.

El perfil de medición en el software *Rheoplus*TM se compone de un intervalo.



Fig. 2 El perfil de medición en el software *Rheoplus*TM

Intervalo 1: Rampa logarítmica del gradiente de velocidad de 10 s⁻¹ a 1000 s⁻¹ con 30 puntos de medición y una duración de 10 s en cada punto de medición.

5 Resultado y discusión

La función de viscosidad describe el comportamiento de fluencia viscosa en diferentes gradientes de velocidad. El gradiente de velocidad en la pared (b) y el esfuerzo de corte en la pared (c) en sistema de tuberías pueden ser calculadas de acuerdo con la fórmula de Hagen-Poiseuille (a) sobre la base de un flujo laminar o estacionario:

$$(a) \Delta p = \frac{8\eta \cdot L \cdot \dot{V}}{\pi \cdot R^4}; (b) \dot{\gamma}_w = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot R^3}; (c) \tau_w = \frac{R \cdot \Delta p}{2 \cdot L}$$

W = pared de la tubería; L = longitud de la tubería; \dot{V} = volumen de flujo; R = radio de la tubería

Gl. 1 a/b/c: Ecuaciones Hagen-Poiseuille para el cálculo de la diferencia de presión (a) al igual que del gradiente de velocidad (b) y del esfuerzo de corte (c) en la pared de la tubería.

Las fórmulas pueden sintetizarse en los siguientes enunciados:

La resistencia de fluencia o diferencia de presión en el sistema de tuberías es:

- directamente proporcional al esfuerzo de corte:

$$\Delta p \approx \tau_w$$

Descripción de los procesos de fluencia al salir del reposo:

Para el transporte o cizallamiento del lodo es necesario superar las fuerzas elásticas que actúan sobre la estructura (deformación de Hook). En reología, esta "fricción estática" inicial suele denominarse "límite de fluencia" τ_0 . Para superar el límite de fluencia se requiere de una energía sobreporcional. Esto puede verse en la tabla 1:

Tabla 1: Gradiente de velocidad de la pared, caudal y diferencia de presión en un metro de tubería.

Gradiente de velocidad	Caudal Tubería con D = 48 mm	Diferencia de presión Δp en 1 m de tubería
2 s ⁻¹	1,3 l / min	1513 Pa / m
10 s ⁻¹	6,5 l / min	1663 Pa / m
50 s ⁻¹	33 l / min	2005 Pa / m
100 s ⁻¹	65 l / min	2137 Pa / m
200 s ⁻¹	130 l / min	2313 Pa / m

- Para un caudal de 6,5 litros de lodo por minuto se requiere de una diferencia de presión de $\Delta p = 2005$ Pa / m por metro de tubería.
- Para aumentar diez veces el caudal, es decir a 65 litros de lodo por minuto, sólo se requieren de $\Delta p = 2137$ Pa / m, por metro de tubería. Esto representa un aumento de presión de sólo el 6%.

Esta relación entre caudal y diferencia de presión puede verse al observar el proceso de esfuerzo de corte (Fig. 3) con mayor detenimiento.

En los gradientes de velocidad o en caudales pequeños, el esfuerzo de corte o diferencia de presión Δp en la tubería ya es relativamente alta ($\Delta p = 1663 \text{ Pa / m a } 10 \text{ s}^{-1}$). Para aumentar la carga o el caudal de lodo en el sistema de tuberías \dot{V} sólo se requiere de un mínimo aumento de la diferencia de presión. Esto se debe al comportamiento de dilución de cizalla que tiene el lodo, es decir a la disminución de la viscosidad ante el aumento del gradiente de velocidad.

Las propiedades de fluencia en "casi reposo"; es decir, al iniciar el proceso de bombeo o al realizar la descarga (grado de salida), se determinan con gradientes de velocidad bajos. El límite de fluencia $\tau_{0,HB} = 12 \text{ Pa}$ fue calculado según el modelo de *Herschel-Bulkley* (H.B.). De ello resulta la diferencia de presión de $\Delta p = 1000 \text{ Pa / m}$.

Tabla 2: Límite de fluencia y la diferencia inicial de presión en un segmento tubería de un metro de longitud sobre la base de un flujo horizontal y laminar.

Límite de fluencia	Diámetro de la tubería D	Δp por 1 metro de tubería
12 Pa	48 mm	1000 Pa / m

Hasta alcanzar el límite de fluencia aumenta la resistencia o la presión de tubería en forma sobreproporcional, sin alcanzar un volumen de transporte digno de mención.

Es posible obtener mejores propiedades de transporte bajando el límite de fluencia. Los límites de fluencia demasiado altos hacen imposible que el proceso o la bomba vuelvan a arrancar, lo que provoca el "atascamiento" del lodo en la tubería.

Es posible aumentar el volumen de transporte manteniendo el consumo de energía a través de la creación de un lodo que diluya la cizalla (con viscosidad estructural). La viscosidad de la muestra debería reducirse fuertemente al aumentar el caudal.

Las propiedades reológicas pueden verse influidas por la variación de la composición del lodo, es decir, por ejemplo, por la concentración del volumen (porcentaje de agua), los excipientes (sólidos), los aditivos (polímeros, líquidos), los tamaños de las partículas y la temperatura de transporte.

6 Síntesis

Fue posible mostrar que el reómetro RheolabQC, en combinación con un sistema de medición por cilindro arenado CC27 según la norma 3219, puede utilizarse perfectamente para el control de procesos y para la caracterización de lodos. Además de la medición de la curva de flujo y de viscosidad, el límite de fluencia puede calcularse a partir del modelo de *Herschel-Bulkley*. La medición del límite de fluencia y de la viscosidad proporciona datos importantes para comprender mejor el flujo de los lodos en los sistemas de tuberías y para solucionar problemas en los casos de lodos de difícil bombeo.

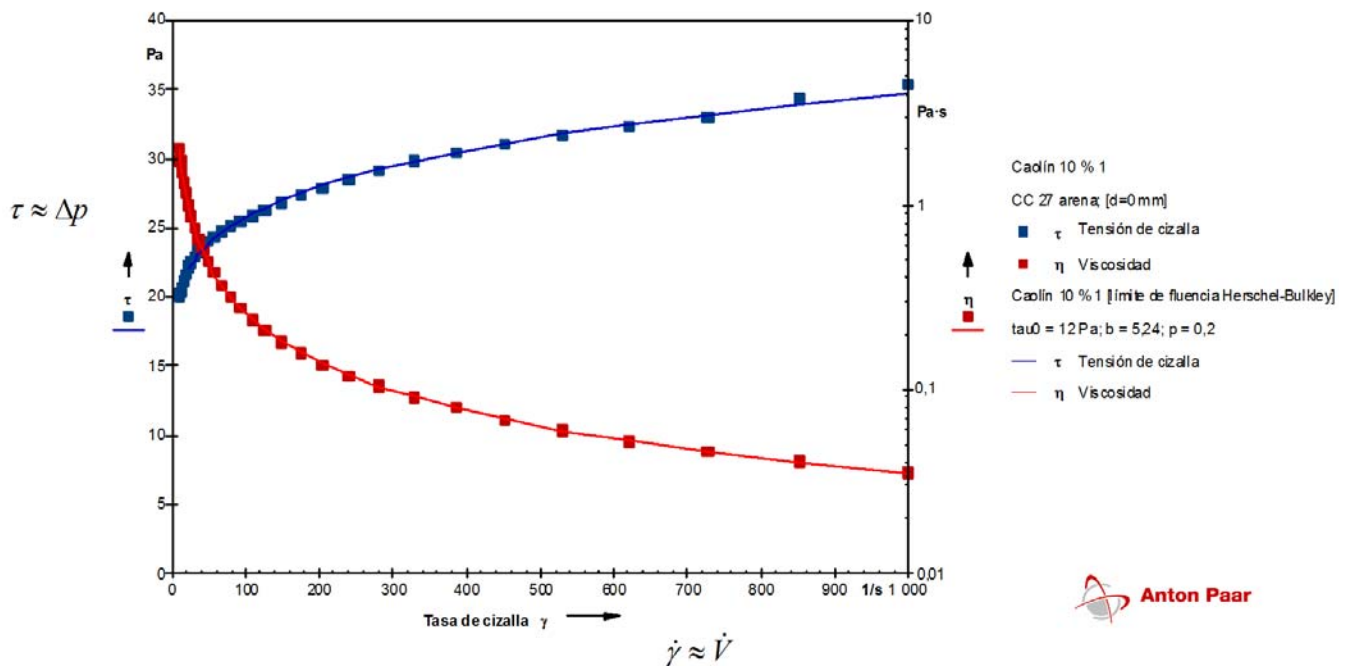


Fig. 3 Curva de flujo y viscosidad con regresión y cálculo del límite de fluencia a partir del modelo de *Herschel-Bulkley*.

7 Palabras clave

Diferencia de presión, caudal, límite de fluencia, curva de flujo, Hagen-Poiseuille, modelo Herschel-Bulkley, ISO 3219 para sistemas de medición con cilindro, lodos, suspensión, viscosidad, flujo

Texto: Klaus Wollny, 2005
Mediciones: Cape Tech., Cape Town, Sudáfrica
Revisión: Margot Brandstätter, 2012

Contacto:

Anton Paar GmbH
Tel.: +43 316 257-0
Fax: +43 316 257 257
info@anton-paar.com
www.anton-paar.com