

## **MEDIDA DE VISCOSIDADES ELEVADAS POR DESCARGA INCOMPLETA DE LA COPA FORD**

**Cuando se miden con la copa Ford viscosidades especialmente elevadas se producen problemas por irregularidad en la fase final de la descarga. Se describe aquí un método que permite soslayar tales dificultades.**

La copa Ford, es, con diferencia, el instrumento para medir viscosidades mas extendido en las fábricas de azulejos y de esmaltes. La mayoría de fábricas no disponen de otro.

El orificio de descarga es casi siempre de 4 mm. de diámetro, aunque se dispone de otros orificios de diámetros distintos que se pueden intercambiar.

Cuando se utiliza la copa Ford, con su habitual orificio de 4 mm. se produce algunas veces la frustración de no conseguir una buena medida porque con líquidos muy espesos el final de la descarga es muy irregular con goteos e interrupciones del chorro, por lo que no se consigue un buen cronometraje.

El método que aquí se propone tiene por objeto conseguir buenas medidas en estos casos en que por exceso de viscosidad la descarga de la copa Ford falla cuando se acerca al final.

El método se basa en cronometrar la descarga de un volumen parcial al principio del vaciado, y calcular por extrapolación cuanto duraria el vaciado total si no aparecieran problemas.

Es necesario intercalar un comentario: Con la copa Ford no se miden realmente viscosidades sino tiempos de vaciado. La viscosidad solo tiene auténtico sentido en líquidos newtonianos, que son aquellos en que los gradientes de velocidad que se producen en el interior del líquido son proporcionales al esfuerzo de cizalla. Los líquidos que se manejan en cerámica (esmaltes, barbotinas y pastas serigráficas) no son newtonianos, sino que tienen características tales como tixotropía y pseudoplasticidad que son las que crean dificultades al final del vaciado con la copa Ford. Así pues, hasta el título mismo de este apunte es incorrecto, ya que en él se habla de “medida de viscosidades”.

Pero aunque la copa Ford no mida rigurosamente hablando viscosidades ni ninguna otra magnitud de las de “libro de física”, sus medidas se utilizan de manera práctica y resultan útiles. Vale pues la pena hacer un poco “la vista gorda” y calcular los tiempos de vaciado por extrapolación. Al fin y al cabo, al principio de la descarga es cuando el flujo está menos afectado por la tixotropía y la pseudoplasticidad.

La deducción matemática de la ley de vaciado alargaría demasiado esta explicación si se incluyera aquí completa. Solo daré el fundamento y el resultado, y luego la forma práctica de proceder.

El fundamento es el siguiente: Cuando un líquido sale por un orificio en régimen laminar, el caudal que sale por el orificio es proporcional a la presión que lo impulsa. Aquí la presión es proporcional a la altura de líquido sobre el orificio de la copa. Así que, basándonos en esta ley se puede establecer una ecuación diferencial para la parte cilíndrica de la copa y otra para la parte cónica, que, integrándolas permiten llegar al siguiente resultado:

$$h = \frac{\text{gramos descargados}}{\text{densidad}}$$

$$\text{t.v. total} = \frac{1.271}{\ln \frac{141.4}{141.4 - h}} \cdot (\text{t.v. parcial})$$

Observando estas dos fórmulas vemos que la primera nos calcula una **h** en función de los gramos de líquido descargados en el vaciado parcial, y la segunda, haciendo uso de esta **h** nos permite calcular el **tiempo de vaciado total** en función del **tiempo de vaciado parcial**.

Una vez descrito el fundamento, veamos su aplicación a dos ejemplos concretos:

En el primero se trata de una cristalina coloreada de monoporosa a densidad 1.80 esta muy espesa y el vaciado total dura 116 segundos, produciéndose un goteo irregular al final del vaciado.

Hacemos un vaciado parcial de 15 segundos de duración, recogido en un vaso tarado. Han descargado 41.6 gramos.

Con los 41.6 g y la densidad de 1.80 g/cm<sup>3</sup> calculamos h con la 1ª fórmula, y se obtiene que h = 23.1

Con los 15 segundos del vaciado parcial y la h calculada aplicamos la 2ª fórmula y obtenemos para el vaciado total calculado 107 segundos.

Con el mismo esmalte hacemos una nueva medida. Ahora recogemos la descarga, siempre partiendo de copa llena, durante 30 segundos, y al pesar obtenemos 75.4 gramos.

Aplicamos la 1ª fórmula y calculamos h, que nos da  $h = 41.9$

Con este h y los 30 segundos aplicamos la 2ª fórmula, que nos da un tiempo de vaciado total por cálculo de 109 segundos.

A la vista de estos resultados, podemos hacer ya unos comentarios : el tiempo de vaciado total experimental es de 116 segundos, mientras que los calculados a partir de los vaciados parciales son de 107 segundos si lo calculamos según la descarga de 15 segundos y de 109 segundos si lo calculamos según la descarga de 30 segundos. Esto nos demuestra que, a medida que avanza la descarga empiezan a actuar factores que frenan el flujo, aparte de la propia viscosidad del líquido. Por lo tanto parece más sensato aceptar el resultado extrapolado de una descarga parcial que el de vaciado total. Recordemos que la copa al final ya goteaba.

En el segundo ejemplo, el material es la misma cristalina anterior, pero su densidad se ha rebajado con agua hasta 1.77 . El vaciado total es regular hasta el final y dura 70 segundos.

Procediendo igual que antes hacemos una descarga parcial de 15 segundos de duración y en ella recogemos 61.6 gramos de esmalte. Aplicamos sucesivamente nuestras dos fórmulas y con ellas obtenemos:

$$h = 34.8$$

$$t. \text{ vaciado total} = 67.5 \text{ seg}$$

Luego hacemos una descarga de 30 seg. de duración y en ella recogemos 104.9 gramos de esmalte (ya no faltaba mucho para llegar a la parte cónica de la copa). Con estos datos aplicamos las dos fórmulas y obtenemos:

$$h = 59.3$$

$$t. \text{ vaciado total} = 70.1 \text{ seg}$$

El comentario que procede aquí es que, como a esta densidad más baja de este segundo ejemplo el esmalte fluye mejor hasta el final del vaciado , los tiempos calculados de 67.5 y de 70.1 segundos concuerdan mejor con el experimental de 70 segundos. El hecho de que la prueba a 30 segundos de descarga parcial haya dado por cálculo 70.1 segundos para la descarga total debe considerarse casualidad. No se debe esperar tanta coincidencia entre el valor calculado y el experimental.

Podemos pues dar un **procedimiento a seguir** para hacer medidas de “viscosidad” (en realidad tiempo de vaciado extrapolado) por vaciado parcial de la copa Ford.

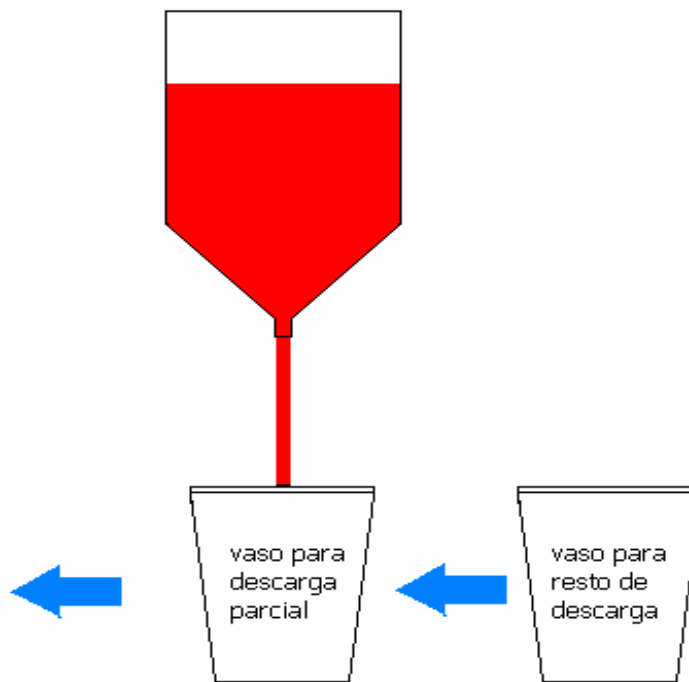
Como materiales, necesitamos:

- Picnómetro
- Cronómetro o reloj con segundero

- Balanza
- Dos recipientes capaces de recibir la descarga de la copa. Van muy bien los vasos desechables de cafetera automática.

Tenemos, necesáriamente que medir la densidad del liquido. Esto en la práctica ya se suele hacer en el uso normal de la copa Ford, pues es casi inimaginable medir la viscosidad sin medir la densidad.

Situamos el cronómetro, en marcha , a la vista. Ponemos un recipiente, tarado, bajo la copa llena, y cuando el cronómetro pase por un segundo que tomemos como inicio de la medida, iniciamos la descarga. Tomamos el otro recipiente, preparado para hacer el cambio cuando el cronómetro llegue al final del tiempo que queremos cronometrar, y recibir así el resto de la descarga, para que no caiga sobre el banco. En la figura se ilustra la sustitución . No he dibujado las manos porque dibujo muy mal.



El tiempo de cronometraje es discrecional. Como no se detiene el cronómetro, ya que las manos se ocupan en manipular el recipiente de medida y el de los restos, es aconsejable escoger un tiempo que sea múltiplo de 5 segundos, para no tener dificultades en leerlo, ni en un cronómetro ni en un reloj. Yo aconsejo un tiempo de 20 o de 30 segundos.

Se puede, si se desea, escoger un tiempo distinto, pero hay que observar que con tiempos mas cortos se incrementa el error relativo en la medida del tiempo, y con tiempos mas largos se corre el riesgo de que la copa se vacie hasta la parte cónica. Esto no se debe permitir porque las fórmulas solo son válidas para la parte cilíndrica.

En lo referente a los cálculos, se pueden seguir dos procedimientos, al gusto de cada cual.

Uno es introducir las dos fórmulas en una hoja de EXCEL a la que se teclean los datos de entrada (peso recogido, densidad y tiempo de vaciado parcial) y se lee el resultado.

El otro es imprimirse, por medio de EXCEL una tabla que nos de valores de la 2ª fórmula en los que **h** sea la variable independiente y el **t.v. total** la función. En este caso es necesario elegir un **t.v. parcial** fijo (p. ej 20 segundos) para hacer la tabla. En este caso, con la tabla y una calculadora de bolsillo para calcular **h** se puede hacer todo en el banco del laboratorio , lo cual parece mas aconsejable.

Como conclusiones se puede decir que el procedimiento descrito es mas laborioso que el habitual de vaciado total, pero que esta pensado para aquellos casos en que el vaciado total no funciona por irregularidades o incluso interrupción de la descarga. En estos casos, obviamente, no podremos comparar un tiempo calculado con un tiempo experimental, como se ha hecho en nuestros ejemplos , ya que no existe un tiempo experimental cuando la descarga total es imposible. El método siempre ayuda cuando hay dificultades en la descarga completa, y es válido tambien para boquillas distintas de la habitual de 4 mm .

Fernando Font