

Método de ensayo de cementos. Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen

FUNDAMENTO

La pasta de cemento de consistencia normal tiene una resistencia especificada a la penetración de una sonda normalizada. El agua requerida para la preparación de dicha pasta se determina por medio de sucesivos ensayos de penetración en pastas con diferentes contenidos de agua.

El tiempo de fraguado se determina observando la penetración de una aguja en una pasta de cemento de consistencia normal, hasta que alcanza un valor especificado.

La estabilidad de volumen se determina observando la expansión volumétrica de la pasta de cemento de consistencia normal, indicada por el desplazamiento relativo de dos agujas.

MATERIAL Y EQUIPOS

Entre otros materiales es necesario disponer de:

- Balanza, capaz de pesar con una precisión de ± 1 g. y bureta o probeta graduada, con una precisión de ± 1 ml.
- Amasadora.
- Agua destilada o desionizada para la preparación de las probetas. Para el hervido y conservación se puede utilizar agua potable.
- Aparato de Vicat, sondas y contenedor para la inmersión de los moldes llenos en agua a $(20,0 \pm 1,0)$ °C durante el almacenamiento.
- Agujas de Le´Chatelier y baño de agua, con medios de calefacción, capaz de contener sumergidas las probetas de Le Chatelier y de elevar la temperatura del agua desde (20 ± 2) °C hasta ebullición en (30 ± 5) min. También armario o cámara húmeda, de tamaño adecuado, mantenido a (20 ± 1) °C, y a una humedad relativa mínima del 90%

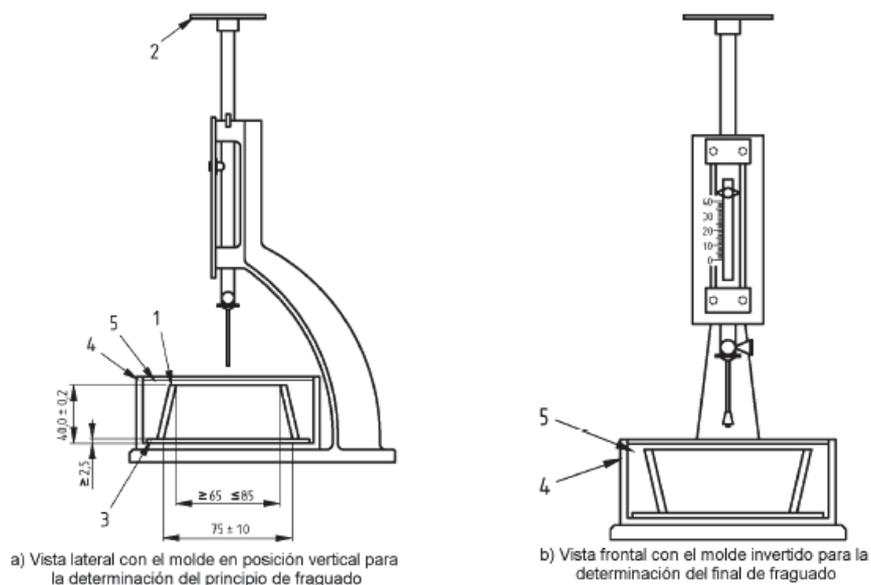


Figura. Aparato de Vicat (medidas en mm) [1]
 Leyenda: 1. Molde, 2.Placa correctora de pesos, 3.Placa Base, 4.Contenedor, 5.Agua

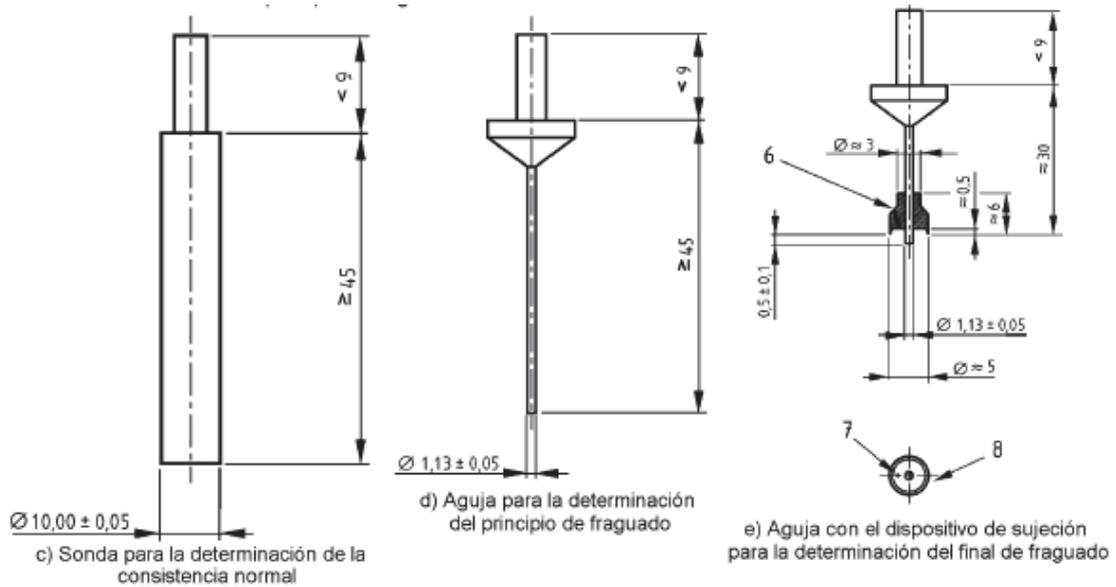


Figura. Sondas para la determinación de la consistencia normal, principio y final de fraguado (medidas en mm) [1]. Leyenda: 6 y 7. Purga de aire, 8 Vista inferior de la aguja con el dispositivo de sujeción para la determinación del final de fraguado.

PROCEDIMIENTO

Para la realización de este ensayo es necesario partir de una pasta de cemento de consistencia normal. Por ello el primer paso es la determinación de la cantidad de agua necesaria para obtener la misma. Una vez, conocida ésta se determina con dicha pasta el principio y final de fraguado, y la estabilidad de volumen.

Determinación de la consistencia normal.

1) Amasado de la pasta de cemento.

Se pesan en una balanza 500 g de cemento con una precisión de ± 1 g y una cantidad de agua, por ejemplo 125 g. Cuando el agua se mide en volumen utilizando la bureta o la probeta graduada se debe medir con precisión de ± 1 ml. Se mezcla mecánicamente cada lote de pasta de cemento utilizando la amasadora según se indica a continuación:

- Se colocan el agua y el cemento en el cazo teniendo cuidado de no perder agua o cemento; se completa la adición en los 10 s posteriores.
- Inmediatamente se enciende la amasadora a velocidad lenta mientras empieza el tiempo de las etapas de amasado. Además, se anota el tiempo al minuto más cercano como tiempo cero que es el momento desde el que se calcula el principio y final de fraguado.

- c) Tras 90 s se detiene la amasadora durante 30 s, tiempo durante el cual se elimina con un rascador de plástico o caucho adecuado toda la masa adherida a las paredes y al fondo del cazo y se coloca en medio del mismo.
- d) Se pone en marcha nuevamente la amasadora a velocidad lenta durante otros 90 s. El tiempo total de amasado debe ser de 3 min.

Se puede utilizar otro método de amasado siempre que haya sido calibrado frente al método de referencia.

2) Llenado del molde.

Se transfiere la pasta inmediatamente al molde ligeramente engrasado, colocado previamente sobre una placa base ligeramente engrasada (se ha demostrado que los aceites de base mineral son adecuados ya que otros aceites tienen efecto sobre el tiempo de fraguado), y se llena hasta rebosar sin compactación ni vibración excesivas.

Se eliminan los huecos de la pasta mediante una serie de ligeros golpecitos con la palma de la mano sobre el molde. Se quita el exceso de pasta con un movimiento de serrado suave con un utensilio de borde recto, de manera que la pasta llene completamente el molde y tenga una superficie superior lisa.

3) Obtención de la consistencia normal.

Se ajusta el aparato de Vicat manual provisto de la adecuada sonda (ver figura anterior). Inmediatamente después de enrasar la pasta, se coloca el molde y la placa base en el aparato de Vicat, situándolos centrados debajo de la sonda. Se baja la sonda suavemente hasta que entre en contacto con la pasta. Se espera entre 1 s y 2 s en esa posición, con el fin de evitar una velocidad inicial o aceleración forzada de las partes móviles. Se sueltan rápidamente las partes móviles y la sonda debe penetrar, entonces, verticalmente en el centro de la pasta.

La liberación de la sonda se debe realizar **4 min ± 10 s** después del tiempo de referencia cero. Se lee la escala al menos **5 s** tras el fin de la penetración o **30 s** después de la liberación de la sonda, lo que ocurra primero. Se anota la lectura de la escala, que indica la distancia entre la cara inferior de la sonda y la placa base, junto con el contenido de agua de la pasta expresada en tanto por ciento de la masa de cemento. Se limpia la sonda inmediatamente después de cada penetración.

Se repite el ensayo con pastas con diferentes contenidos de agua, hasta encontrar una que produzca una distancia de **(6 ± 2) mm** entre la sonda y la placa base. Se

anota el contenido de agua de esta pasta, con una aproximación del 0,5%, **como el agua para la obtención de la consistencia normal.**

Determinación del principio de fraguado.

Se llena el molde de Vicat como se indicó en el apartado anterior con la pasta de consistencia normal. Se introducen el molde lleno y la placa base en el contenedor se añade agua de manera que la superficie de la pasta esté sumergida, al menos, 5 mm, y se almacena en la cámara o recinto de temperatura controlada a $(20,0 \pm 1,0)$ °C.

Después de un tiempo adecuado, el molde, la placa base y el contenedor se llevan al aparato de Vicat y se sitúan debajo de la aguja. Se baja la aguja despacio hasta que entre en contacto con la pasta. Se espera en esta posición entre 1 s y 2 s, con el fin de evitar una velocidad inicial o aceleración forzada de las partes móviles. Se sueltan rápidamente las partes móviles y la aguja debe penetrar verticalmente en la pasta. Se lee la escala cuando haya terminado la penetración, o 30 s después de la liberación de la aguja, lo que ocurra primero.

Se anota la lectura de la escala, que indica la distancia entre el extremo de la aguja y la placa base, junto con el tiempo desde el instante cero. Se repite el ensayo de penetración sobre la misma probeta en posiciones convenientemente separadas, a no menos de 8 mm del borde del molde, o 5 mm entre ellas, y al menos a 10 mm de la última posición, a intervalos de tiempo convenientemente espaciados, por ejemplo 10 min. Entre los sucesivos ensayos de penetración, se mantiene la probeta en la cámara o recinto de temperatura controlada. Se limpia la aguja de Vicat inmediatamente después de cada penetración. Si se tiene que hacer el ensayo de final de fraguado se conserva la probeta.

El tiempo de principio de fraguado del cemento es el tiempo transcurrido entre el tiempo cero y el tiempo en el cual la distancia entre la aguja y la placa base es **(6 ± 3) mm**, medido al minuto más cercano con una aproximación de 5 min.

Determinación del tiempo de final de fraguado

Se invierte el molde lleno utilizado sobre su placa base, de modo que los ensayos de final de fraguado se efectúan sobre la cara de la probeta que originalmente está en contacto con la placa base. Se sumerge el molde y la placa base en el contenedor y se almacena en la cámara o recinto de temperatura controlada a $(20,0 \pm 1,0)$ °C.

Tras un tiempo adecuado, se coloca el contenedor, el molde y la placa base bajo la aguja del aparato de Vicat. Se baja la aguja despacio hasta que entre en contacto con la pasta. Se espera en esta posición entre 1 s y 2 s, con el fin de evitar una velocidad inicial o

aceleración forzada de las partes móviles. Se sueltan rápidamente las partes móviles y la aguja debe penetrar verticalmente en la pasta. Se lee la escala cuando haya terminado la penetración, o 30 s después de la liberación de la aguja, lo que ocurra primero.

Se repite el ensayo de penetración sobre la misma probeta en posiciones convenientemente separadas, a no menos de 8 mm del borde del molde, o 5 mm entre ellas, y al menos a 10 mm de la última penetración, a intervalos de tiempo convenientemente espaciados, por ejemplo a intervalos de 30 min. Entre las sucesivas penetraciones, se mantiene la probeta en la cámara o recinto de temperatura controlada.

Se limpia la aguja de Vicat inmediatamente después de cada penetración. Se anota el tiempo transcurrido desde el instante cero hasta el momento en el que la aguja penetra, por primera vez, **sólo 0,5 mm en la pasta**. Este es el tiempo al cabo del cual el accesorio anular marca la probeta por primera vez, pudiéndose aumentar la precisión reduciendo el intervalo de tiempo entre penetraciones cerca del tiempo de final de fraguado. El tiempo de final de fraguado se debe confirmar repitiendo la medida en otras dos posiciones.

Se anota el tiempo transcurrido entre el tiempo cero y el momento en el que la aguja penetra solamente 0,5 mm en la probeta como el **tiempo de final de fraguado** con una aproximación de 15 min.

Ensayo de estabilidad de volumen

Se prepara una pasta de cemento de consistencia normal. Se coloca el molde de Le Chatelier ligeramente engrasado sobre la placa base, también ligeramente engrasada, y se llena inmediatamente, sin compactación o vibración indebidas, usando sólo las manos y una herramienta de borde recto, si se desea, para engrasar la superficie superior. Durante el llenado se evita que la ranura del molde se abra de forma accidental, por ejemplo, con una ligera presión con los dedos, o con el uso de una goma elástica.

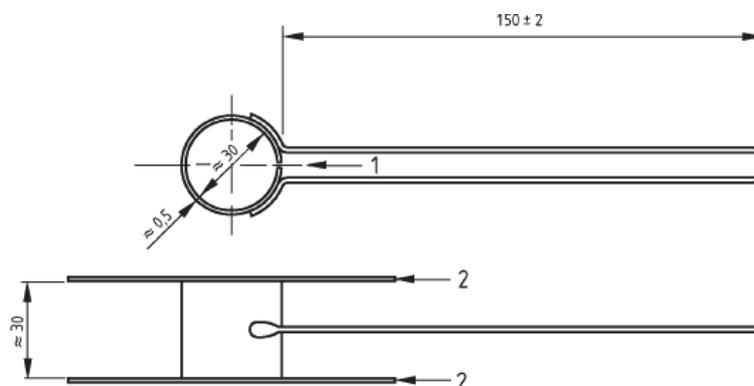


Figura. Equipo de Le Chatelier típico para la determinación de la estabilidad de volumen del cemento (medidas en mm) [1]. Leyenda: 1.Ranura, 2.Placa de cubierta

Se cubre el molde con la placa de cubierta ligeramente engrasada, se añade el peso adicional si fuera necesario, e inmediatamente se coloca el aparato completo en el armario o cámara húmeda. Se mantiene durante $24 \text{ h} \pm 30 \text{ min}$ a $(20 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$ y a una humedad relativa mínima del 90%. También el molde se podría colocar entre sus placas, con la masa adicional, si fuera necesaria, en un baño de agua y mantenerlas sumergidas durante $24 \text{ h} \pm 30 \text{ min}$ a $(20 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$, siempre que este procedimiento se haya calibrado frente al método de referencia.

- *Medida de la distancia (A):* Al final del período de $24 \text{ h} \pm 30 \text{ min}$, **se mide la distancia (A)** entre las puntas de las agujas, con aproximación de 0,5 mm. Se calienta entonces el molde gradualmente hasta ebullición durante $30 \pm 5 \text{ min}$ y se mantiene el baño a la temperatura de ebullición **durante $3 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$** .
- *Medida de la distancia (B):* Al término del período de ebullición, se puede **medir la distancia (B)** entre las puntas de las agujas, con una aproximación de 0,5 mm.
- *Medida de la distancia (C):* Se sacan las probetas del calor, y se dejan enfriar a la temperatura del laboratorio. Se **mide la distancia (C)** entre las puntas de las agujas, con una aproximación de 0,5 mm.

Se anotan las medidas A y C, y se calcula la diferencia (C-A), al milímetro más próximo. Si la expansión excede del límite de especificación para el cemento, se debe llevar a cabo una repetición. Se anota el valor (C-A), o la media de los dos valores cuando el ensayo se haya hecho por duplicado, al milímetro más próximo.

RESULTADOS

La RC-08 establece las prescripciones relativas a las características mecánicas y físicas que deben cumplir los cementos. En cuanto a la estabilidad de volumen, y principio y final de fraguado, los cementos comunes tienen las siguientes prescripciones en función sus clases de resistencia:

Clase de resistencia ⁽¹⁾	Resistencia a compresión UNE-EN 196-1 ⁽²⁾				Tiempo de fraguado UNE-EN196-3		Estabilidad de volumen según UNE-EN 196-3	Calor de hidratación ⁽³⁾	
	Resistencia inicial (N/mm ²)		Resistencia nominal (N/mm ²)		Inicio (min)	Final (h)		Expansión (mm)	UNE-EN 196-9 (J/g)
	2 días	7 días	28 días				41 horas		7 días
32,5 N	—	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$	≥ 75	≤ 12	≤ 10	≤ 270	
32,5 R	$\geq 10,0$	—							
42,5 N	$\geq 10,0$	—	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$	≥ 60				
42,5 R	$\geq 20,0$	—							
52,5 N	$\geq 20,0$	—	$\geq 52,5$	—	≥ 45				
52,5 R	$\geq 30,0$	—							

⁽¹⁾ R = Alta resistencia inicial.

N = Resistencia inicial normal.

⁽²⁾ 1 N/mm² = 1 MPa.

⁽³⁾ Sólo para los comunes de bajo calor de hidratación.

ACTIVIDADES PROPUESTAS

1. Realizar como máximo dos pruebas para obtener una pasta de consistencia normal.

Prueba	Cantidad de agua empleada (ml)	Penetración de sonda (mm)
Primera		
Segunda		

2. ¿Qué valor debe obtenerse en la penetración de la sonda para que la pasta sea considerada de consistencia normal?
3. Consulta la RC-08 y completa la siguiente tabla para los cementos comunes, incluidos los de bajo calor de hidratación.

Clase de resistencia	Tiempo de fraguado		Estabilidad de Volumen
	Inicio (min)	Final (h)	Expansión (mm)
32,5N			
32,5R			
42,5N			
42,5R			
52,5N			
52,5R			

4. ¿Por qué se debe evitar el contacto de la piel con la pasta húmeda de cemento?
5. Para el engrasado del molde y la placa aceite, ¿qué tipo de aceite es adecuado? ¿por qué debemos emplear ese tipo de aceite?

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *UNE-EN 196-3*. Métodos de ensayo de cementos. Parte 3: Determinación del tiempo de fraguado y de la estabilidad de volumen
- [2] *RC-08*. (2008). Instrucción para la recepción de cementos. RC-08. Ministerio de Fomento.
- [3] *González, E.* (en elaboración). Vídeos de prácticas (II) de Materiales de Construcción para dispositivos móviles.