

**UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA  
"JOSE SIMEON CAÑAS", UCA**

Departamento de Mecánica Estructural, Apartado Postal (01)168, Autopista Sur, San Salvador, El Salvador, América Central Tel: +503-2210 6600. Fax: +503-2210 6664

**Laboratorio de: MATERIALES DE CONSTRUCCION**

**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL  
Y FINAL DEL CEMENTO**

**NORMAS**

- ASTM C 191-01 "Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle"  
(Método estándar de ensayo para tiempo de fraguado del cemento hidráulico por aguja de Vicat).
- ASTM C 266-99 "Standard Test Method for Time of Setting of Hydraulic Cement paste by Gillmore Needles"  
(Método estándar de ensayo para tiempo de fraguado de pasta de cemento hidráulico por agujas de Gillmore).
- ASTM C 187-98 "Standard Test Method for Normal Consistency of Hydraulic Cement"  
(Método estándar de ensayo para consistencia normal del cemento hidráulico)
- ASTM C 305-99 "Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency"  
(Práctica estándar para mezclado mecánico de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica).

**OBJETIVOS**

- a) Conocer el procedimiento que se utiliza para determinar el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico por medio de la aguja de Vicat.
- b) Introducir al estudiante sobre el procedimiento que se utiliza para determinar los tiempos de fraguado inicial y final en pastas de cemento por medio de las agujas de Gillmore.
- c) Conocer algunas especificaciones ASTM para diferentes tipos de cemento, en cuanto a tiempos de fraguado.

## DISCUSIÓN TEÓRICA

(Basado en **Diseño y control de mezclas de concreto**, Steven H. Kosmatka y William C. Panarese, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992. y de <http://www.arqhys.com/construccion/concreto-fraguado.html>, abril 2007)

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

La determinación de estos dos estados, cuyo lapso comprendido entre ambos se llama tiempo de fraguado de la mezcla, es muy poco precisa y sólo debe tomarse a título de guía comparativa. El tiempo de fraguado inicial es el mismo para los cinco tipos de cemento enunciados en la norma ASTM C-150 y alcanza un valor entre 45 a 60 minutos; el tiempo de fraguado final se estima en 10 horas aproximadamente. En resumen, puede definirse como tiempo de fraguado de una mezcla determinada, el lapso necesario para que la mezcla pase del estado fluido al sólido. Así definido, el fraguado no es sino una parte del proceso de endurecimiento. Es necesario colocar la mezcla en los moldes antes de que inicie el fraguado y de preferencia dentro de los primeros 30 minutos de fabricada. Cuando se presentan problemas especiales que demandan un tiempo adicional para el transporte del concreto de la fábrica a la obra, se recurre al uso de “aditivos químicos retardantes” del fraguado, de igual manera, puede acelerarse el fraguado con la adición de sustancias alcalinas o sales como el cloruro de calcio

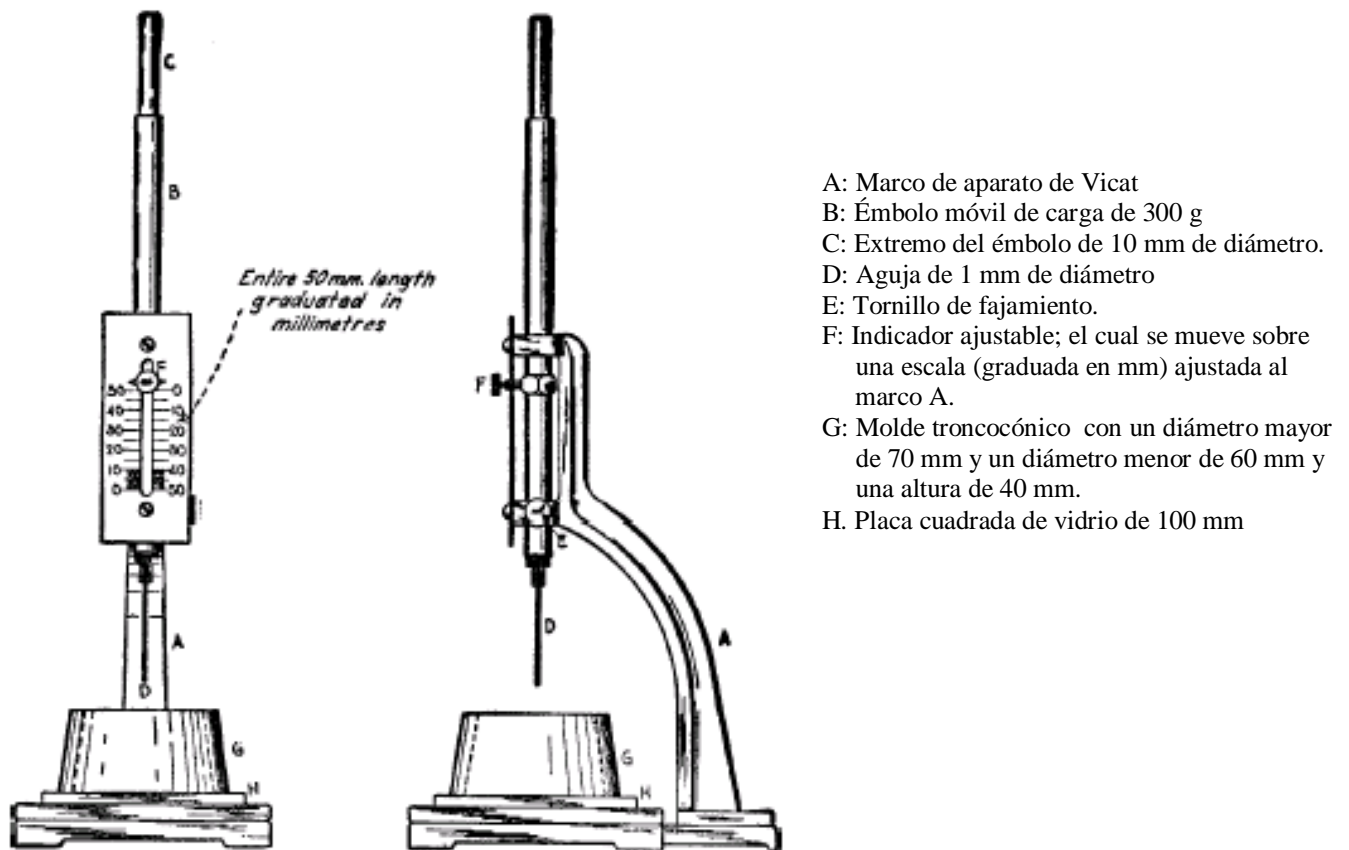
El fraguado inicial de la pasta de cemento no debe ocurrir demasiado pronto, así como tampoco debe ocurrir demasiado tarde el fraguado final. Los tiempos de fraguado indican si la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso, incluido dentro del cemento, regula el tiempo de fraguado, pero también influye la finura del cemento, la relación agua/cemento y los aditivos usados. Los tiempos de fraguado de los concreto no están relacionados directamente con los tiempos de fraguado de las pastas debido a la pérdida de agua en el aire (evaporación) o en los lechos debido a las diferencias de temperatura en la obra en contraste con la temperatura controlada que existe en el laboratorio.

Para determinar los tiempos de fraguado inicial y final de un determinado tipo de cemento, se utilizan 2 aparatos que son:

### **1-La aguja de Vicat (ver fig 5-1).**

En este método se utiliza el aparato de Vicat que se utilizó en la determinación de la consistencia normal, con la diferencia de que en el extremo inferior, en lugar del émbolo, se coloca una aguja de 1 mm de diámetro. El procedimiento resumido es que primero se elabora una pasta con el contenido de humedad determinado en la prueba de consistencia normal, que se introduce en un molde tronco cónico de dimensiones estándar, en cuya parte superior se coloca la aguja de 1 mm de diámetro, el cual soporta un émbolo con una masa de 300 g y se deja que penetre en la pasta de cemento por su propio peso durante un lapso de 30 s. La primera lectura se realiza en 30 minutos luego que se moldea sin ser alterada en un cuarto de curado y luego se realizan lecturas a

intervalos de 15 minutos hasta que se obtenga una penetración de 25 mm o menor. Con esta serie de datos se determina por interpolación el tiempo correspondiente a una penetración de 25 mm y éste será el tiempo de fraguado inicial del cemento. Posteriormente se realizan penetraciones hasta determinar el primer instante en el cual la aguja no deja huella visible en la pasta endurecida de cemento, y se registra como el tiempo de fraguado final.



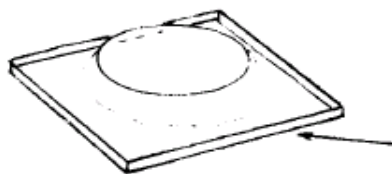
**Fig. 5-1: Esquema del aparato de aguja de Vicat**

Nota: existen 2 métodos denominados A y B: el método A es para un aparato de aguja de Vicat que es operado manualmente y el método B utiliza un aparato de Vicat Mecanizado.

## 2- Las agujas Gillmore

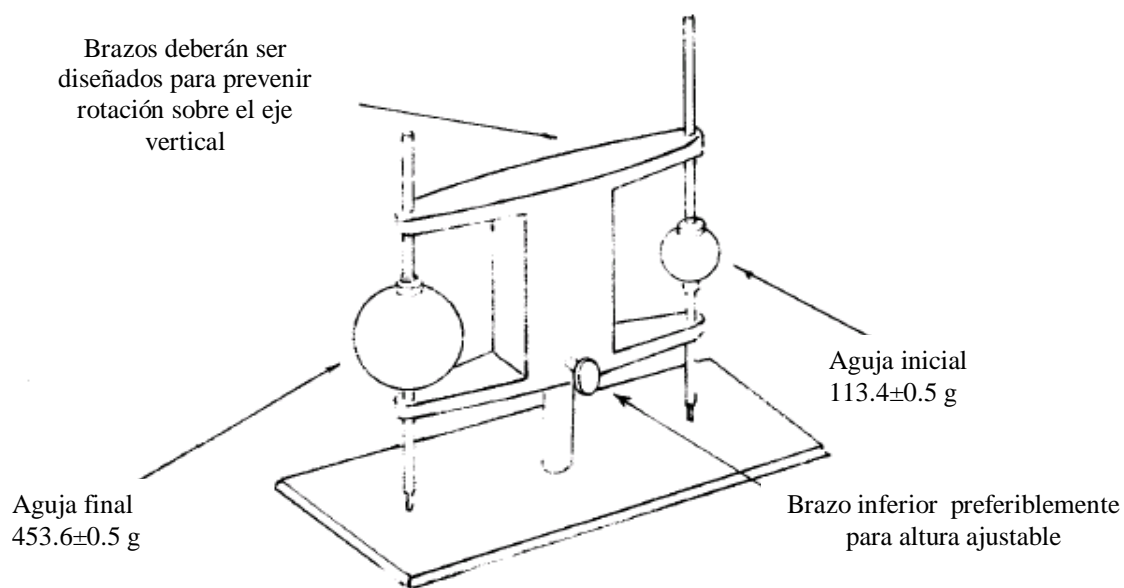
En este método se elabora una pastilla delgada de diámetro especificado y se coloca en el aparato de Gillmore (ver Fig. 5-2) el cual consta de 2 agujas con diferente masa.

Masilla de pasta de cemento  
 Diámetro base  $76 \pm 13$  mm  
 Diámetro superior  $50 \pm 13$  mm  
 Espesor central  $13 \pm 3$  mm



Placa plana no absorbente cuadrada  
 $102 \pm 3$  mm

(a) Masilla con superficie superior aplanada para la determinación del tiempo de fraguado por el método de Gillmore



(b) Aparato de Gillmore

Diámetro de punta  
 Inicial:  $2.12 \pm 0.05$  mm  
 Final:  $1.06 \pm 0.05$  mm

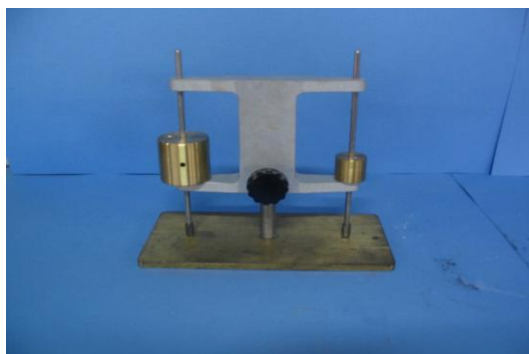
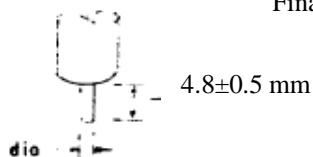


Fig. 5-2: Detalle del aparato con agujas de Gillmore

Para determinar el tiempo de fraguado inicial, se coloca la masilla de pasta cemento bajo la acción del peso de la aguja inicial y se anota el tiempo requerido para el primer momento en que la aguja se sostenga sin apreciable indentación. De similar manera se determina el tiempo de fraguado final, sustituyendo la aguja por la aguja para fraguado final hasta determinar el tiempo en que no exista indentación apreciable.

Dependiendo el tipo de cemento se establecen diversas especificaciones para tiempos de fraguado como puede observarse en la tabla 5-1.

Tipo de cemento	Norma ASTM	Aparato	Tiempo mínimo de fraguado	Tiempo máximo de fraguado
Cemento de mampostería	C 91-03	Gillmore	90* y 120** min	1440 min
Cemento Portland	C 150-02	Gillmore	60 min	600 min
		Vicat	45 min	375 min
Cemento hidráulico mezclado	C 595-03	Vicat	45 min	7 horas
Cemento hidráulico mezclado	C 1157-02	Vicat	45 min	420 min

\* Cemento tipo N

\*\* Cemento tipo S y M

En la presente práctica sólo se utilizará el aparato de Vicat.

## MATERIAL Y EQUIPO

### a) Material

- Cemento Pórtland
- Agua destilada (1000 ml)

### b) Equipo

- Balanza de 0.1 g de precisión con juego de pesas
- Probeta de 250 ml de capacidad
- Conjunto de aparato de Vicat con aguja de 1 mm de diámetro
- Placa de vidrio
- Termómetro con escala en grados centígrados
- Par de guantes de hule
- Mezclador de pasta de cemento, según especifica ASTM C 305.
- Charola
- Espátula plana pequeña
- Enrasador de metal o llana
- Gabinete para curado o cuarto húmedo
- Cronómetro
- Hielo (lo proporciona el estudiante)

## PROCEDIMIENTO

### Temperatura y humedad

La temperatura del aire en la vecindad del equipo de mezclado, cemento seco, molde y placa base deberá mantenerse entre 20 y 27.5°C. La temperatura del agua de mezclado y el gabinete húmedo o cuarto húmedo no deberá variar de  $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ . La humedad relativa del laboratorio no deberá ser menor de 50%. El gabinete húmedo o cuarto húmedo deberá construirse de tal manera que permita facilidades de almacenamiento para especímenes de ensayo a una humedad relativa de no menos del 90%.

### Mezclado de la pasta de cemento

Elaborar una pasta de cemento con 650 g de cemento; según el procedimiento de mezclado de pastas realizado en la práctica de determinación de consistencia normal del cemento y con la cantidad de agua que se determinó en esa práctica (para reproducir esa condición de consistencia normal).

### Colocación de la pasta en molde de aparato de Vicat

Inmediatamente luego después de la finalización del mezclado, moldear el espécimen de prueba haciendo una bola con los guantes de hule, pasándola seis veces de una mano a otra, manteniendo las manos apartada en 6" aproximadamente.

Sostener la bola, descansando en la palma de la mano e introducirla dentro del extremo mayor del anillo troncocónico G y llenarlo con la pasta hasta que sobresalga en el otro extremo. Remover el exceso en el extremo mayor por un solo movimiento de la palma de la mano.



Fig 5-3. Colocación de pasta en el cono troncocónico y remoción de exceso

Colocar el molde troncocónico con su extremo mayor en una placa de vidrio H y cortar el exceso de pasta en la parte superior del extremo menor por una sola pasada de una llana de borde recto sostenido a un ligero ángulo con la parte superior del molde troncocónico.

Suavizar la superficie del espécimen si es necesario con uno o dos toques ligeros del borde de la llana. Durante la operación de corte y alisado, tomar el cuidado de no de no comprimir la pasta.

Inmediatamente después del moldeado, colocar el espécimen de prueba y la placa de vidrio en un gabinete húmedo o en un cuarto húmedo y dejarlo reposar hasta que las determinaciones de penetración se realicen.

### **Determinación del tiempo de fraguado inicial**

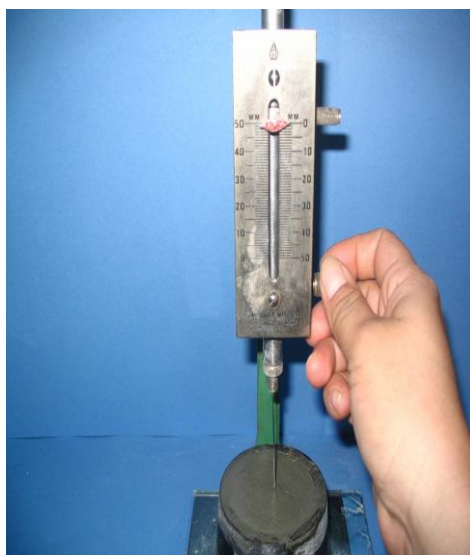
Dejar reposar el espécimen y a placa de vidrio en el gabinete húmedo por 30 minutos luego del moldeado sin ser alterado.

Montar el espécimen y la placa de vidrio en el aparato de Vicat y colocar la aguja de 1 mm de diámetro debajo del émbolo.

Colocar la aguja en la parte superior de la pasta de cemento y fijar el tornillo de sujeción y registrar la lectura inicial.

Soltar el émbolo y dejar que la aguja se asiente por 30 s y registrar la lectura de penetración.

Retirar la aguja y limpiarla, y tomar lecturas sucesivas a intervalos de 15 minutos (a cada 10 minutos para cementos tipo III) hasta que una penetración de 25 mm o menor sea obtenida.



**Fig 5-4 Penetración y toma de lectura de la aguja de vicat**

Nota: mantener una distancia de al menos 5 mm con respecto a una penetración previa y al menos de 10 mm del borde del molde.

## Determinación del tiempo de fraguado final

Continuar las penetraciones hasta determinar el tiempo transcurrido en el primer instante en que la aguja no haga una marca visible en la pasta endurecida. Éste tiempo será reportado como el tiempo de fraguado final. La precisión encontrada para un solo operador es una desviación estándar de 12 minutos para el tiempo de fraguado inicial. A través del rango de 49 a 202 minutos, y de 20 minutos para un tiempo de fraguado final que esté dentro del rango de 185 a 312 minutos.

## CALCULOS

Determinar por interpolación el tiempo requerido para una penetración correspondiente a 25 mm, el cual se reportará como el tiempo de fraguado inicial.

## EJEMPLO ILUSTRATIVO

### a) Preparación de los especímenes de prueba

En esta fase se utiliza el % de agua obtenido como resultado en la práctica sobre consistencia normal del cemento.

Datos:

% de agua a utilizar : 33.2%

Peso de cemento : 650 g

Volumen de agua\* :  $650 \times (33.2/100) = 215.8 \text{ g} \equiv 215.8 \text{ cm}^3 \equiv 215.8 \text{ ml}$

\* Asumiendo una densidad del agua de  $1.0 \text{ g/cm}^3$ .

### b) Registro de pares de lectura tiempo- penetración

Lectura No.	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Temperatura (°C)	Observaciones
1	30	41.0	24.2	
2	45	41.0	24.2	
3	60	41.0	23.8	
4	75	41.0	23.8	
5	90	41.0	23.6	
6	105	41.0	23.6	
7	120	40.0	23.8	
8	135	39.0	24.0	
9	150	30.0	24.0	
10	165	20.0	24.0	
11	180	7.0	24.0	
12	195	2.0	24.2	
13	210	2.0	24.4	
14	225	1.5	24.6	
15	240	1.0	24.8	
16	255	1.0	25.0	
17	270	0.0	25.2	No se aprecia marca visible



**a) Tiempo de fraguado inicial**

En este caso por simple inspección se observa que la penetración de 25 mm se encuentra entre las lecturas No. 9 y No. 10 (la mitad entre 20 y 30 mm) y le corresponde por interpolación a un tiempo de  $157.5 \approx 158$  minutos (promedio entre 150 y 165 minutos)

**b) Tiempo de fraguado final**

En este caso, la primera lectura en la que no se aprecia marca visible es la No. 17 que corresponde a 270 minutos.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**Vol. 04.01 Annual Book of ASTM Standards.** American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 2003.

**Diseño y control de mezclas de concreto,** Steven H. Kosmatka y William C. Panarese, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.