

Normalización del cemento

Tiempo de fraguado: algunos comentarios sobre el método de ensayo

Prof. Dr. DEMETRIO GASPAR-TEBAR
I.E.T.c.c.

1. INTRODUCCION

El tiempo de fraguado de los cementos es una de las características físicas y mecánicas de cumplimiento obligatorio de los mismos en el Pliego RC-75 (1) y en las normas de los distintos países del mundo relacionadas con el cemento (2) (3).

Los profesionales de la construcción exigen que la industria del cemento proporcione un producto homogéneo, que tenga un tiempo apropiado de manipulación, que sea capaz de suministrar elementos constructivos con resistencias mecánicas mínimas a edades tempranas, así como en períodos largos de tiempo y una durabilidad óptima (4) (5), de tal modo que asegure el buen comportamiento de los morteros y hormigones. De aquí que sea necesario tener un conocimiento del tiempo de fraguado, entre otras variables, de los cementos y, de un modo especial, del correspondiente al principio del fraguado.

La determinación del tiempo de fraguado de los cementos se realiza, prácticamente, en todo el mundo por el método de Vicat (6) (7), por medio del cual se mide la resistencia que ejerce una pasta de cemento a lo largo del tiempo, amasada solamente con agua, a la penetración de una aguja metálica, de forma cilíndrica, que tiene una sección de 1 mm^2 y una masa de $300 \pm 1 \text{ g}$.

Mientras que la aguja de Vicat penetra completamente dentro de la pasta de cemento, es decir, hasta que comienza el fraguado (principio del fraguado), la trabajabilidad de dicha pasta permanece prácticamente constante, siendo la variable que más importa en los trabajos en donde se emplea el cemento, ya que permite conocer el tiempo de que se dispone para la mezcla, transporte, colocación en obra y compactación correcta de los morteros y hormigones. Todos estos hechos determinan la importancia de conocer el tiempo del fraguado inicial de los cementos, característica especificada en las distintas normas (8).

El desarrollo del comercio exterior exige un conocimiento adecuado de las normas que más se utilizan en estos casos, según se señaló en (9), y de un modo especial de aquellas que son el resultado de un esfuerzo común de Grupos de Trabajo de diversos países, como sucede con las normas elaboradas por el Comité Europeo de Normalización (CEN). Por ello, en el presente trabajo se da cuenta del proyecto de norma pr EN 112 "Méthodes d'essai des ciments. Détermination du temps de prise et de la stabilité" preparado por el GT2 del CEN/TCS1 "Ciments" (*) que, por el Comité Técnico, está previsto se someta en diciembre de 1980, a ser posible, a voto final por los países miembros del CEN, una vez se realice la puesta a punto del texto modificado de dicho pr EN 112.

(*) GT = Grupo de Trabajo; CEN/TC = Comité Europeo de Normalización/Comité Técnico.

2. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LA DETERMINACION DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE LOS CEMENTOS

La evolución que, a lo largo del tiempo, experimenta el sistema cemento-agua (y eventualmente una tercera fase que puede ser el aire), con un gran contenido de fase sólida —aproximadamente 70 a 77 % en peso—, como consecuencia de las reacciones que tienen lugar, se ha seguido experimentalmente por medio de numerosos métodos (químicos, térmicos, eléctricos, mecánicos, sónicos, reológicos, etcétera) según la(s) variable(s) que se midan (9) a (23). Así se puede seguir por:

- a) La variación de la concentración iónica en el agua (disolución intersticial) y/o la evolución de los compuestos del sistema cemento-agua por técnicas instrumentales, por ejemplo: análisis térmicos, difracción de rayos X, espectroscopía infrarroja, análisis microscópico, resonancia magnética nuclear, espectrometría mossbauer, etc. (Métodos químicos).
- b) El desprendimiento energético que se produce como consecuencia de las reacciones exotérmicas de hidratación. (Métodos térmicos)
- c) La modificación de las propiedades eléctricas del sistema cemento-agua. (Métodos eléctricos).
- d) Las variaciones de las características físico-mecánicas de la pasta de cemento a lo largo del tiempo, por ejemplo: la plasticidad y las resistencias mecánicas, las cuales se pueden seguir por ensayos de penetración (equipo de Vicat, sonda de Tetmajer, aparato de Gillmore, etc.) o por técnicas sónicas que permiten detectar puntos singulares.
- e) La evolución de las características físicas, como por ejemplo las propiedades reológicas, bien por medio del viscosímetro de cilindros coaxiales, bien por la transmisión de presiones a la pasta de cemento, bien por sondas dinamométricas (18), bien por aparatos rotativos (23), etc. (Métodos reológicos).

El método normalizado para determinar el tiempo de fraguado en todos los países del mundo utiliza, prácticamente, la aguja de Vicat (3). Dicho método, junto con el de Gillmore que se emplea en algunos países como comparativo, trata de fijar, a efectos de utilización práctica de los cementos, el intervalo de tiempo durante el cual se pueden trabajar los hormigones o los morteros antes de que se inicie el fraguado.

Se ha probado, desde un punto de vista experimental, que cuando se mezcla un cemento con una cantidad apropiada de agua, de tal modo que se obtenga una consistencia definida (consistencia normal), se obtiene una masa plástica que conserva su plasticidad durante un tiempo determinado; a continuación se produce un aumento brusco de su viscosidad, a la vez que un incremento de la temperatura de la pasta, que se pone de manifiesto por la resistencia que la masa ejerce a la penetración de una aguja (principio del fraguado).

A partir de este momento la masa va adquiriendo mayor rigidez y su resistencia a la penetración va aumentando, hasta que cesa su deformabilidad y se transforma en un bloque rígido (final del fraguado); su determinación es convencional ya que la reacción de hidratación continúa a lo largo del tiempo y las resistencias mecánicas del bloque (endurecimiento) crecen regularmente.

En la figura 1 se ha representado la resistencia a la penetración (en mm) de la aguja de Vicat a lo largo del tiempo (en horas) de una pasta fabricada con un cemento portland; en ella se puede apreciar que existen tres zonas perfectamente diferenciadas. La primera,

zona AB, corresponde al período plástico del sistema cemento-agua; la segunda, zona BC, al período del fraguado y la tercera, a partir del punto C, al período de endurecimiento. Los puntos B y C corresponden al principio y final del fraguado, respectivamente.

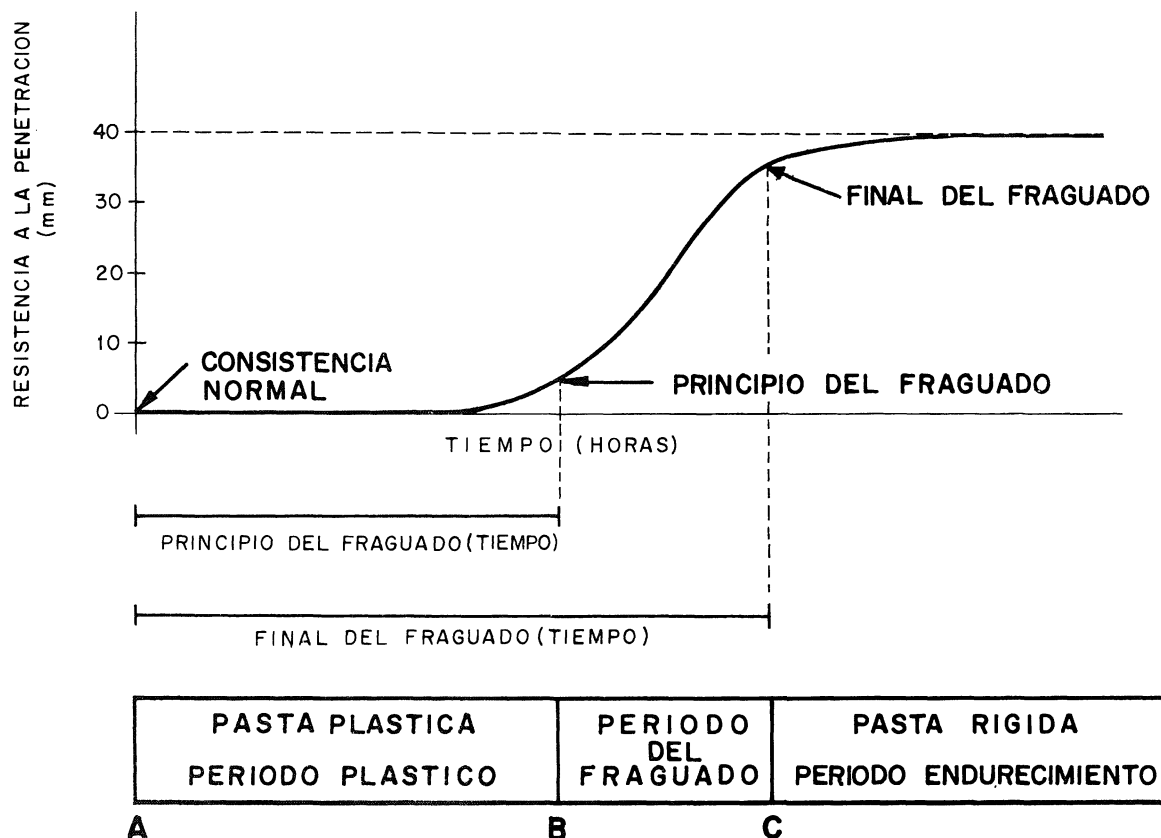


Fig. 1.—Resistencia a la penetración de una pasta de cemento portland (consistencia plástica).

Implicítamente se establece un paralelismo entre la evolución físico-química del sistema cemento-agua (cemento/agua ~ 70 a 77% / 30 a 23% , en peso) y la de sus propiedades mecánicas; para el método de Vicat el tiempo de fraguado (principio y final) es el aspecto mecánico de los fenómenos de hidratación (15) (18) (24) (25).

El método de Vicat es, en definitiva, un ensayo convencional por medio del cual se determinan los tiempos correspondientes al principio y al final del fraguado, períodos de tiempo que se encuentran comprendidos entre el comienzo del amasado del cemento con el agua hasta que la aguja de Vicat, con una masa total de 300 g y un diámetro de $1,13\text{ mm}$ (1 mm^2 de superficie), se detiene a una distancia determinada de la placa de apoyo o alcanza una profundidad dada — 35 mm , según el Pliego RC-75— (principio del fraguado) y hasta cuando sólo penetra en la masa una cantidad especificada — 5 mm , según el Pliego RC-75 o menos, según otras normas— o no penetre y deje en dicha masa una huella apenas perceptible (final del fraguado). El tiempo transcurrido desde el principio hasta el final es la duración del fraguado.

Para poder apreciar de un modo más preciso el final del fraguado algunas normas han modificado y modifican la aguja colocando en su extremo una corona o dedal, de tal modo que, dejando caer dicha aguja, su extremo produce una impresión en la pasta y no el borde de la corona, el cual queda $0,5\text{ mm}$ más alto que el extremo de la aguja; de este modo se observa la penetración de la mencionada aguja con un error menor de $0,5\text{ mm}$ (26) (27).

La pasta de consistencia normal se consigue cuando el cemento amasado, mecánica o ma-

nualmente, con una cierta cantidad de agua y durante un tiempo especificado, permite que la sonda con un diámetro de 10 mm y una masa de 300 g penetre una distancia normalizada. La penetración de la sonda no debe ser mayor de 10 ± 1 mm, según unas normas, por ejemplo el Pliego RC-75, o hasta 6 ± 1 mm del fondo, es decir, 34 ± 1 mm, según otras, por ejemplo determinadas normas europeas.

En la cantidad de agua de amasado necesaria para conseguir una pasta de consistencia normal, así como en el tiempo de fraguado, principio y final, influyen:

- a) Las características del cemento; fundamentalmente su composición y el tamaño de las partículas (finura de molido).
- b) La pureza del agua.
- c) La temperatura.
- d) El procedimiento utilizado para realizar el amasado y el tiempo de amasado, con objeto de conseguir un conjunto homogéneo.

En las figuras 2 y 3, tomadas de (28) y (29), correspondientes a los ensayos interlaboratorios patrocinados por el CERILH, hechos por 145 y 147 participantes de la industria del cemento, de empresas constructoras, de laboratorios de control y de centros de investigación, se ha representado la cantidad de agua de amasado necesaria para obtener la pasta de consistencia normal con dos cementos franceses: CPA-400 (*) en la figura 2 y CLK-325 (**) en la figura 3. Como puede apreciarse para el CPA se necesita $\bar{x} = 25,9$ % de agua, con los límites del entorno $Lm = 24,6$ % y $LM = 27,1$ % (***) y para el CLK $\bar{x} = 28,2$ %, siendo $Lm = 26,3$ % y $LM = 30,0$ %, hechos que están de acuerdo con la composición de dichos cementos. Ambas gráficas tienen una distribución gaussiana, más pura la correspondiente al cemento CPA y con una dispersión menor que la del cemento CLK, en donde es posible que existan dos familias, una comprendida entre 26,3 % y 28,2 % de agua y otra entre 28,2 % y 30,0 %, producidas probablemente por una falta de homogeneización de la mezcla, que puede dar muestras heterogéneas con curvas granulométricas distintas, o por el método que se haya utilizado para el amasado del sistema tixotrópico cemento-agua.

Para que el agua actúe, por una parte, como tal fase líquida del sistema heterogéneo cemento-agua y como reactivo, por otra, dando lugar a las reacciones de hidratación, se debe utilizar un agua patrón, por lo que muchas normas especifican que sea destilada o de pureza similar; no obstante se prevé que se pueda emplear cualquier agua, siempre que con ella se obtengan los mismos resultados que con el agua patrón especificada.

La temperatura influye, lo mismo que por regla general en cualquier equilibrio físico o químico, en los fenómenos del fraguado y, por consiguiente, en el tiempo de fraguado de la mayoría de los cementos al modificar la viscosidad del agua y la velocidad de las reacciones de hidratación; así, por ejemplo, mientras que a 5°C dicho tiempo de fraguado es de 8 horas, a 20°C es de 3 horas, a 50°C de 1 hora y a 100°C de 15 minutos (24).

La forma de hacer el amasado, el tiempo de duración del mismo, la temperatura y la humedad relativa del ambiente influyen en la cantidad de agua de amasado necesaria para preparar la pasta de consistencia normal para un mismo cemento. El amasado mecánico

(*) CPA = Cemento portland artificial con, al menos, 97 % de clinker. Superficie específica Blaine = 3.012 cm²/g.

(**) CLK = Cemento que contiene, al menos, 80 % de escoria. Superficie específica Blaine = 4.026 cm²/g

(***) LM ó $Lm = \bar{x} \pm \sigma t$; $\bar{x}$ = media aritmética, σ = desviación típica, t es un valor dado por la tabla de distribución de Student para el grado de confianza elegido y para el grado de libertad $n = N - 1$.

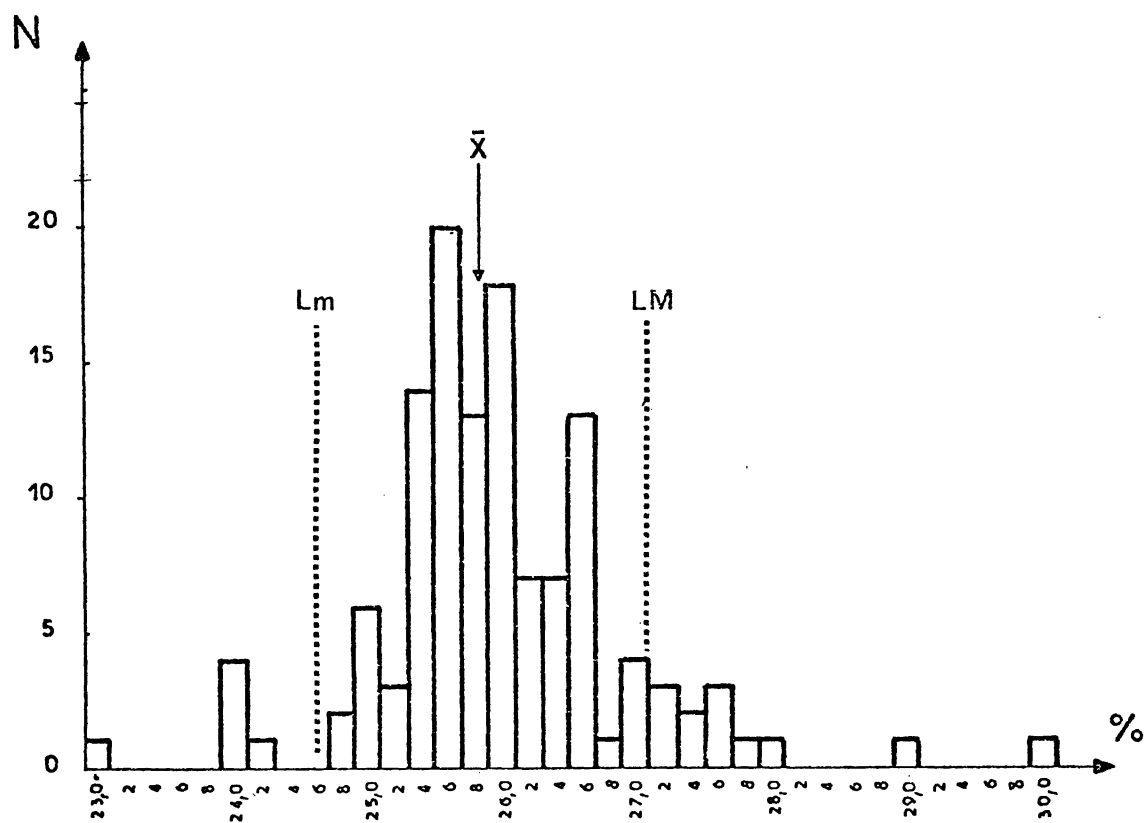


Fig. 2.—Pasta de consistencia normal; agua de amasado. Cemento CPA-400.

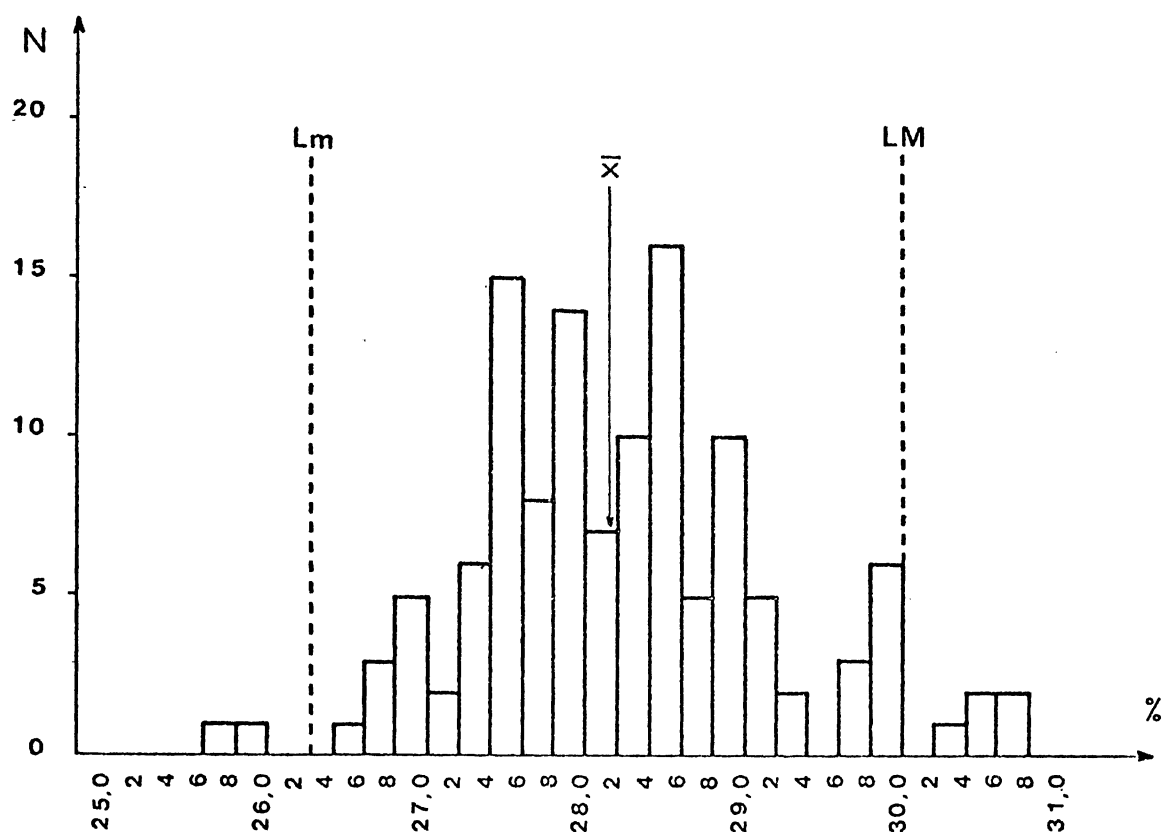


Fig. 3.—Pasta de consistencia normal; agua de amasado. Cemento CLK-325.

proporciona pastas normales con menor contenido de agua debido a la mayor energía y regularidad de amasado, factor que influye en un material tixotrópico como es la pasta de cemento (28) (29) (30).

En la figura 4, tomada de (30) y reproducida en (28) y (29), en donde se recogen los ensayos interlaboratorios hechos en 1964 patrocinados por el CERILH, se ha representado la influencia del sistema de amasado, manual o mecánico, para determinar la cantidad de agua de amasado con la que se obtiene la pasta de consistencia normal en distintas muestras, teóricamente la misma, de un cemento, poniéndose de manifiesto lo expuesto anteriormente.

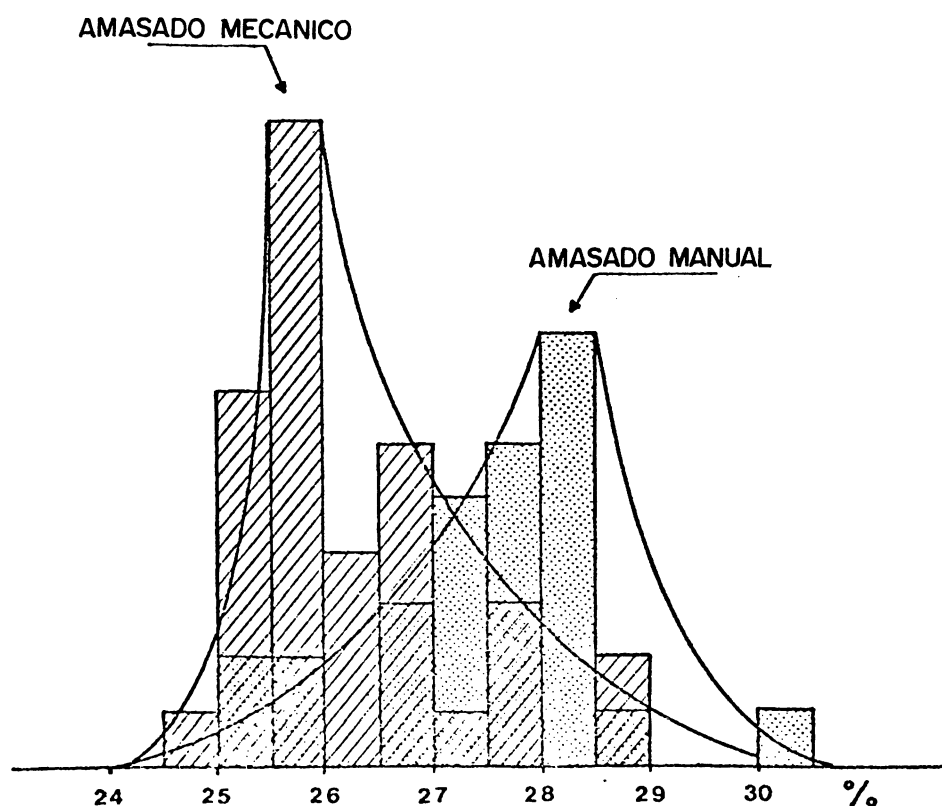


Fig. 4.—Influencia del sistema de amasado. Pasta de consistencia normal, agua de amasado.

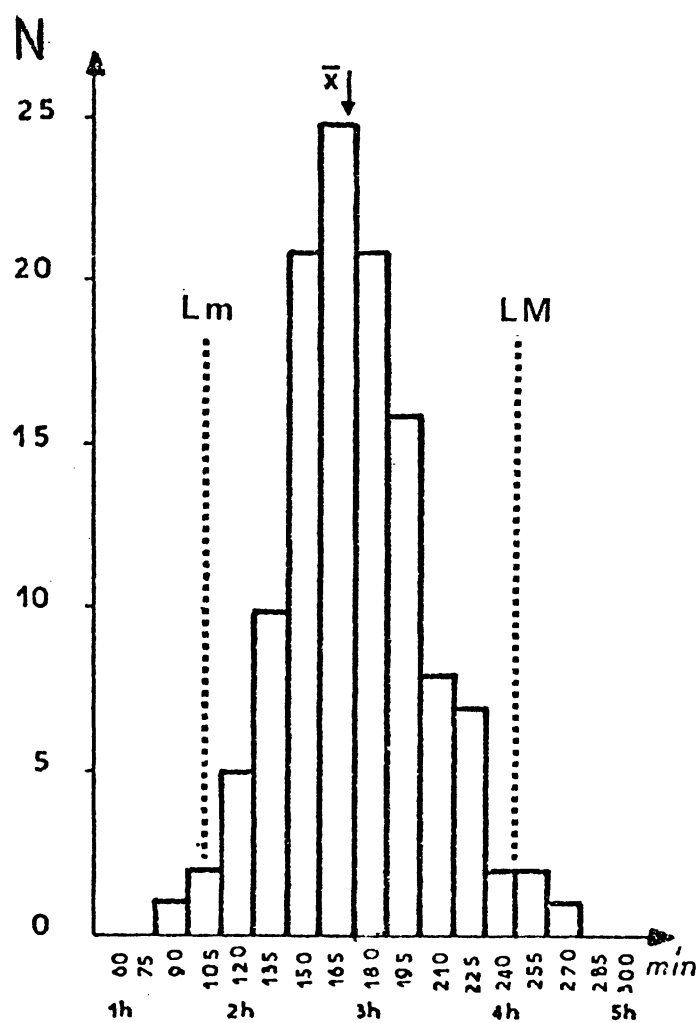
El amasado mecánico de la pasta de cemento para los ensayos de consistencia y de fraguado ha sido adoptado por las normas de determinados países (27) (31) (32) (33) con objeto de eliminar los errores debidos al factor personal de los operadores (34) y, en definitiva, conseguir una mezcla más homogénea de tal modo que se pueda mejorar la reproducibilidad (7) y la repetibilidad.

La amasadora utilizada es la especificada en las normas correspondientes para preparar los morteros normalizados, inspiradas en el método ISO (RILEM-CEMBUREAU).

Todo ello hace que en las distintas normas se especifiquen las condiciones de amasado, clase de agua para el amasado y la conservación, en su caso, de la probeta, temperatura y humedad relativa ambiente, así como el medio en el que debe realizarse el ensayo, etc.

La determinación del tiempo de fraguado por el método de Vicat, a pesar de su empirismo, es un ensayo suficientemente reproducible (15). Así, experimentalmente se ha probado que la distribución de los tiempos de fraguado, cuando se efectúa un número suficiente de ensayos con distintas muestras de un cemento, es gaussiana (figuras 5 y 6).

Principio del fraguado



Final del Fraguado

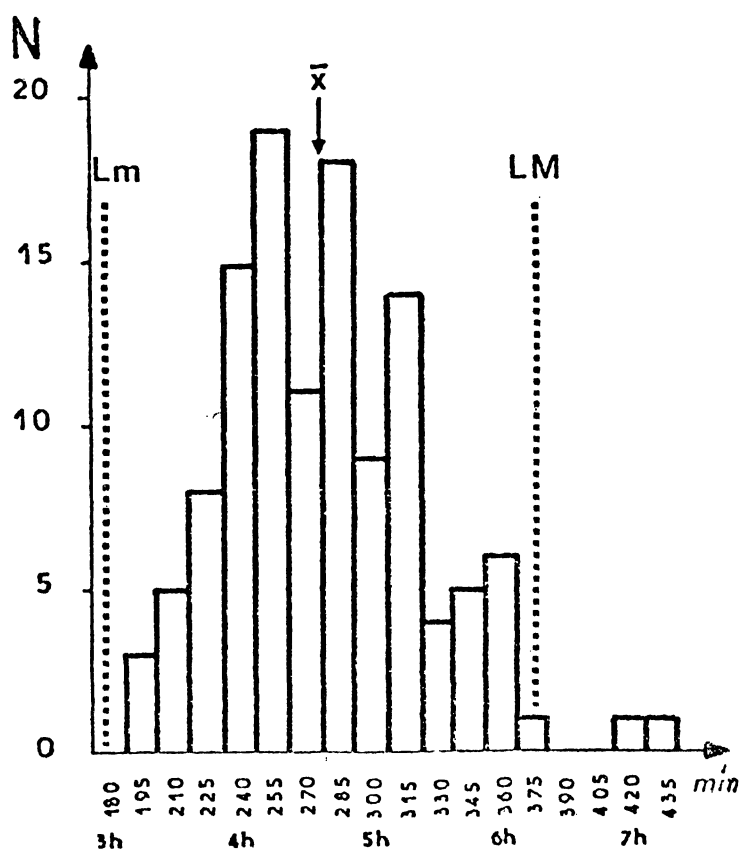


Fig. 5.—Principio y final del fraguado. Cemento CPA-400.

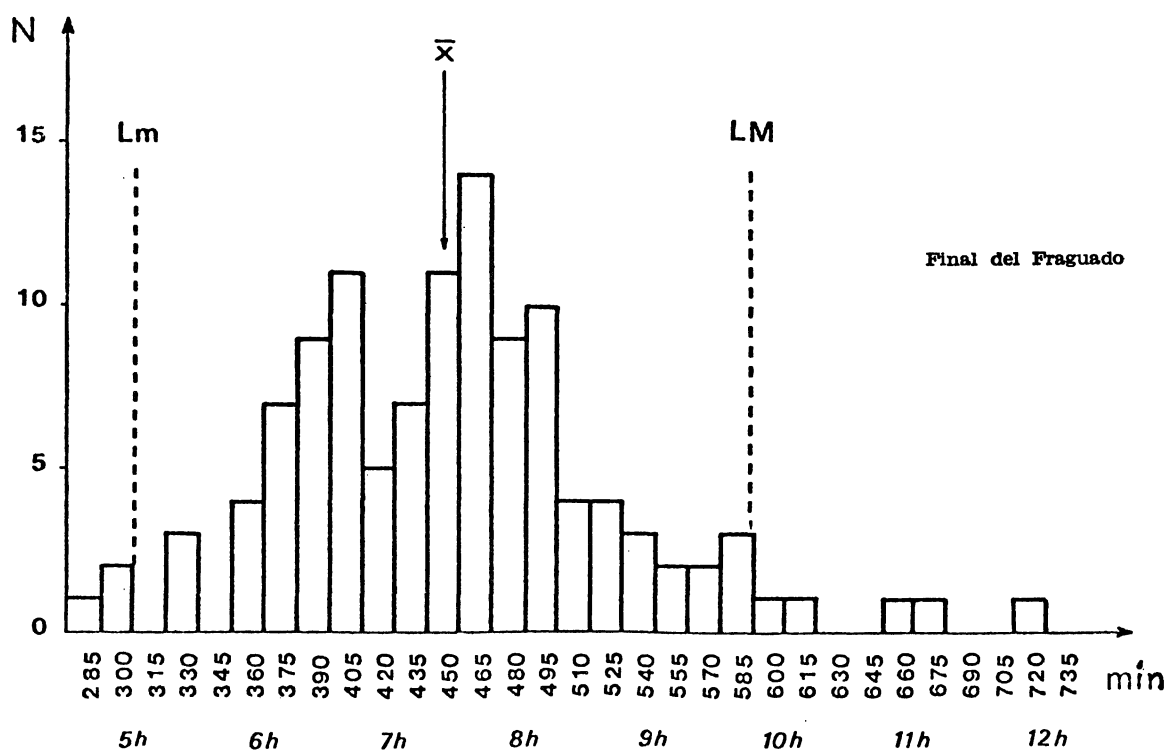
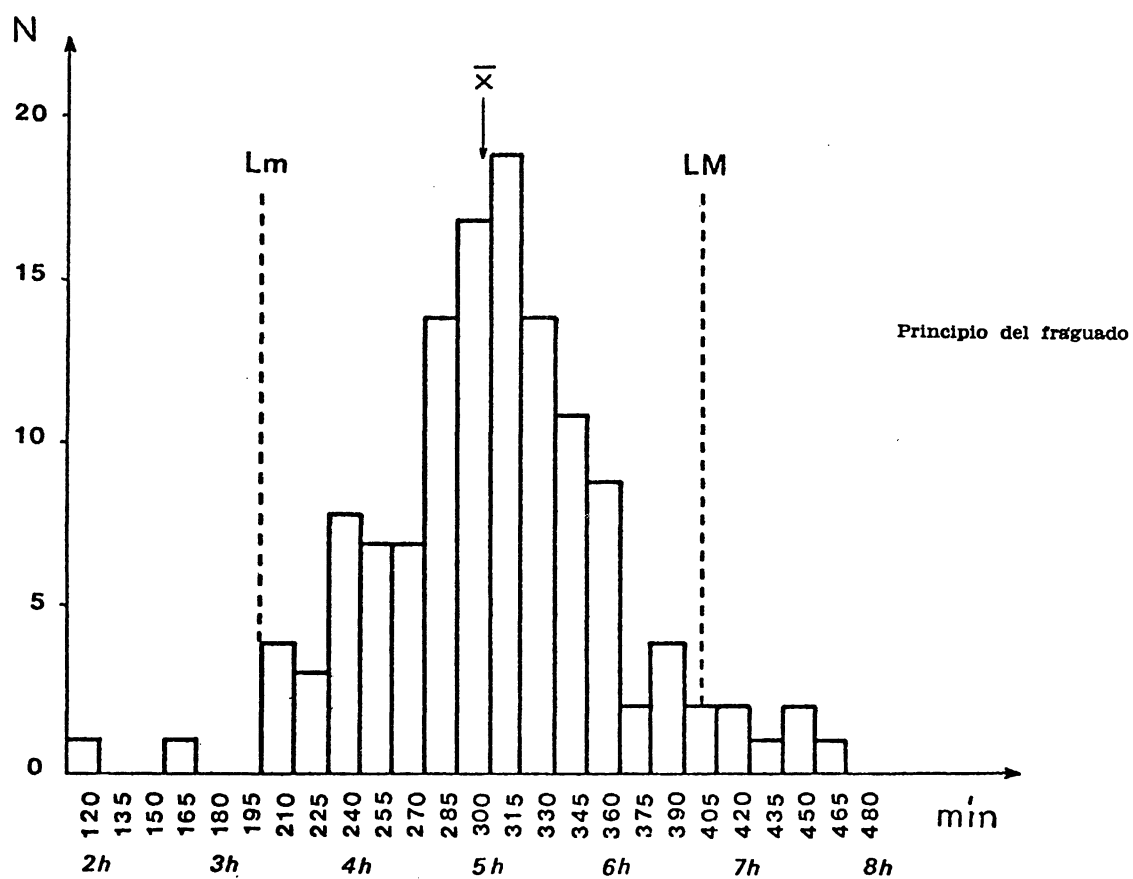


Fig. 6.—Principio y final del fraguado. Cemento CLK-325.

En las figuras 5 y 6, tomadas de (28) y (29), se encuentran representados los histogramas correspondientes al principio y al final del fraguado de las distintas muestras del cemento portland (CPA) y del cemento con escorias (CLK), reseñados anteriormente (pág. 4); la cantidad de agua de amasado utilizada es la que se encuentra en las figuras 2 (CPA) y 3 (CLK). La reproducibilidad no es muy buena (7); en efecto, los coeficientes de variación llegan a ser del 16 % al 19 % (28) (29), debido probablemente a la influencia que tienen en la velocidad del fraguado del cemento la temperatura, la cantidad de agua de amasado y el grado de homogeneización del sistema cemento-agua, y aun dentro de la propia fase sólida, sobre todo en el caso del cemento con adiciones (figura 6), particularmente por las posibles diferencias en la distribución de granos por tamaños.

Los ensayos de repetibilidad hechos, a título orientativo, por el CERILH sobre 30 y 28 probetas de los cementos mencionados presentan un coeficiente de variación del 5,2 % y 4,2 % para el principio del fraguado y del 4,0 % y 3,3 % para el final del fraguado, según se trate del CPA o del CLK.

En la técnica constructiva, en general, tiene gran importancia el principio del fraguado por su aplicación a la práctica, aun cuando no se conocen datos que permitan predecir si los resultados obtenidos con la aguja de Vicat se pueden trasladar directamente al comportamiento de los morteros y hormigones (7); es decir, si con dos cementos que tengan un principio de fraguado de x horas y $2x$ horas se obtienen, en igualdad de las restantes condiciones, hormigones que tengan un tiempo de manipulación a y $2a$, respectivamente.

A continuación se incluyen, por considerarlo de interés, el tiempo correspondiente al principio y al final del fraguado especificado en 50 casos distintos, tomados de (3):

TABLA 1
Tiempos de fraguado (principio y final) especificados

PRINCIPIO DEL FRAGUADO		FINAL DEL FRAGUADO	
Tiempo, (en minutos) después de	Casos	Tiempo, (en horas) antes de	Casos
30	3	6	2
40	1	8	3
45	19	10	23
60	25	12	11
90	1	15	2
No muy anterior a 150	1	3 a 12	1
		No especifican	8

3. ESTUDIO DEL METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO, pr EN 112

3.1. Generalidades

- a) El proyecto de norma pr EN 112 "Méthodes d'essai des ciments. Détermination du temps de prise et de la stabilité" del Comité Europeo de Normalización (CEN), elaborado por el Grupo de Trabajo 2 (GT 2) del Comité Técnico 51 (TC 51) "Ciments",

describe una técnica de trabajo para determinar el tiempo de fraguado y otra para la estabilidad de volumen de los cementos.

- b) El tiempo de fraguado se define, según lo hacen otras normas, como el necesario para que, desde el comienzo del amasado mecánico, la penetración de una aguja cilíndrica de acero en una pasta de cemento de consistencia normal alcance los valores especificados para el principio y para el final del fraguado. La penetración de la aguja ha de ser hasta una distancia de 4 ± 1 mm de la placa base del molde (ha de penetrar en la probeta 36 ± 1 mm) para el principio del fraguado y hasta 0,5 mm de la superficie superior, o menos, de la probeta para el final del fraguado.

La aguja tiene $1,13 \pm 0,05$ mm de diámetro y una masa total, incluidas las partes móviles, de 300 ± 1 g. Para determinar el final del fraguado la aguja tiene en su extremo un accesorio en forma de corona o dedal (figura 8).

- c) Se dice que una pasta de cemento tiene la consistencia normal cuando el cemento amasado mecánicamente durante 3 minutos, con una cantidad apropiada de agua, permite que la sonda cilíndrica, de $10 \pm 0,05$ mm de diámetro y con una masa de 300 ± 1 g, penetre hasta una distancia de 6 ± 1 mm de la placa base del molde; es decir, que alcance una profundidad de 34 ± 1 mm en la probeta.
- d) El amasado del sistema cemento-agua se hace mecánicamente con la amasadora especificada en el método de ensayo para determinar la resistencia mecánica de los cementos (9). El mencionado proyecto de norma pr EN 112 admite el amasado por cualquier otro método, mecánico o manual, siempre que se obtengan los mismos resultados que con el método especificado.

3.2. Condiciones del laboratorio

Los laboratorios en donde se realicen las diversas operaciones, que comprende la técnica de trabajo de este método de ensayo, han de reunir las siguientes condiciones:

- a) La temperatura y la humedad relativa del ambiente del laboratorio, en donde se efectúa la determinación de la cantidad de agua de amasado para la pasta de consistencia normal, así como la preparación de dicha pasta, han de ser $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y superior o igual a 65 %, respectivamente.

Estas condiciones, que también son necesarias para preparar las probetas de mortero a partir de las cuales se determinan las resistencias mecánicas, son fáciles de conseguir como se indicó en (9), climatizando el laboratorio o instalando un equipo de aire acondicionado, en la mayoría de los casos, capaz de mantener en las distintas épocas del año las condiciones mencionadas.

La temperatura del laboratorio y la humedad relativa del ambiente, especificadas en el Pliego RC-75, han de estar comprendidas entre 18 y 25°C , la primera, y no ser inferior a 50 %, la segunda.

- b) Para determinar el tiempo de fraguado el laboratorio debe tener una sala o un armario húmedo, de volumen conveniente, con equipos apropiados para mantener una temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad relativa en el ambiente de, al menos, 90 %.

Si la conservación de la probeta se hace bajo agua se necesita un baño que permita tener el agua a $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

El Pliego RC-75 especifica que la temperatura de la sala donde se verifica la prueba para determinar el tiempo de fraguado debe estar comprendida entre 18° y 25°C y la humedad relativa del aire no debe ser inferior al 50 %. Las probetas de pasta se conservan bajo agua a una temperatura de $21^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ y cuando la inmersión de la probeta se sustituye por su conservación en aire debe ser en un ambiente saturado de humedad.

- c) Asimismo, la temperatura y la humedad relativa del ambiente de las zonas en donde se encuentran las cámaras o armarios húmedos, las de los recipientes de conservación y las de los equipos de trabajo se deben mantener en los límites fijados anteriormente.
- d) Como puede apreciarse las condiciones reseñadas son análogas a las especificadas para preparar y conservar las probetas de mortero (9). Consideramos que las dos variables, temperatura y humedad relativa, de los laboratorios, así como de los medios de conservación, se deben medir y registrar, como ya se señalaba en (9), aun cuando el pr EN 112 no lo indica.

3.3. Condiciones de los materiales

Los materiales, cemento y agua, necesarios para preparar las probetas de pasta han de cumplir las siguientes condiciones:

- a) El cemento y el agua de amasado deben estar a la temperatura de $20^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

La temperatura correcta de los materiales de ensayo se consigue manteniéndolos en una zona del laboratorio climatizado, con temperatura y humedad relativa controladas.

La humedad relativa de la atmósfera en la sala de amasado debe ser, al menos, del 65 %.

- b) El agua especificada que se utilice para amasar y para conservar las probetas debe ser destilada o desionizada.

Además se puede utilizar cualquier agua, siempre que se pueda probar que con ella se obtienen los mismos resultados que con el agua especificada.

- c) La cantidad de cemento que se utiliza es 500 g, pesados en una balanza que tenga una precisión de 0,5 % sobre la cantidad pesada.
- d) La cantidad de agua para preparar la pasta de consistencia normal se debe pesar en el recipiente de acero de la amasadora, con una precisión de 0,5 % sobre la cantidad pesada, y debe verterse a partir de una probeta graduada.
- e) El Pliego RC-75 utiliza 500 g de cemento y la cantidad precisa de agua, sin especificar sus características, para preparar la pasta de consistencia normal.

La temperatura de las herramientas y materiales, excepto la del agua de amasado y conservación que debe ser $21^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$, debe estar comprendida entre 18° y 25°C. La humedad relativa del ambiente no debe ser inferior a 50 %.

3.4. Aparatos y equipos empleados. Condiciones

Los aparatos y equipos especificados en el pr EN 112 son los siguientes:

- Balanza para pesar los materiales (cemento y agua); debe tener una precisión de 0,5 % sobre la cantidad pesada.
- Probetas graduadas para medir el agua, en su caso; deben tener una precisión de 1 % sobre la cantidad medida.
- Amasadora para conseguir la mezcla del sistema cemento-agua y preparar la pasta de consistencia normal; es análoga a la descrita en (9) utilizada para elaborar el mortero, con el que se fabricarán las probetas correspondientes para determinar las resistencias mecánicas del cemento.
- Aparato de Vicat (figuras 7 y 8) con la sonda para los ensayos de consistencia y la aguja para los de fraguado.

La sonda (figura 7) debe ser de metal no corroible, de forma cilíndrica y con las siguientes características:

- longitud efectiva 50 ± 1 mm
- diámetro $10 \pm 0,05$ mm
- masa total de las partes móviles 300 ± 1 g

La aguja (figuras 7 y 8) debe ser de acero, derecha, de forma cilíndrica y tener las siguientes características:

- longitud efectiva 50 ± 1 mm
- diámetro $1,13 \pm 0,05$ mm
- masa total de las partes móviles 300 ± 1 g

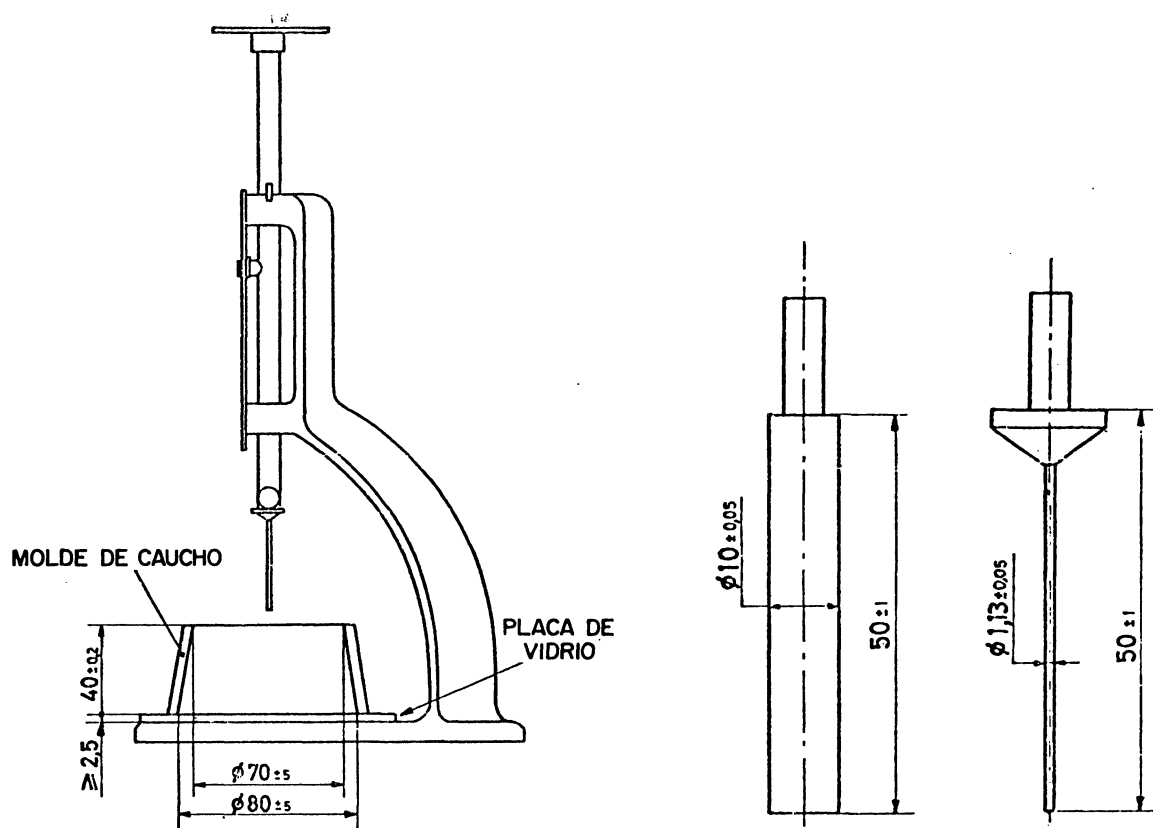


Fig. 7.—Aparato de Vicat, sonda y aguja, para determinar la consistencia normal y el principio del fraguado de los cementos. (Dimensiones en mm).

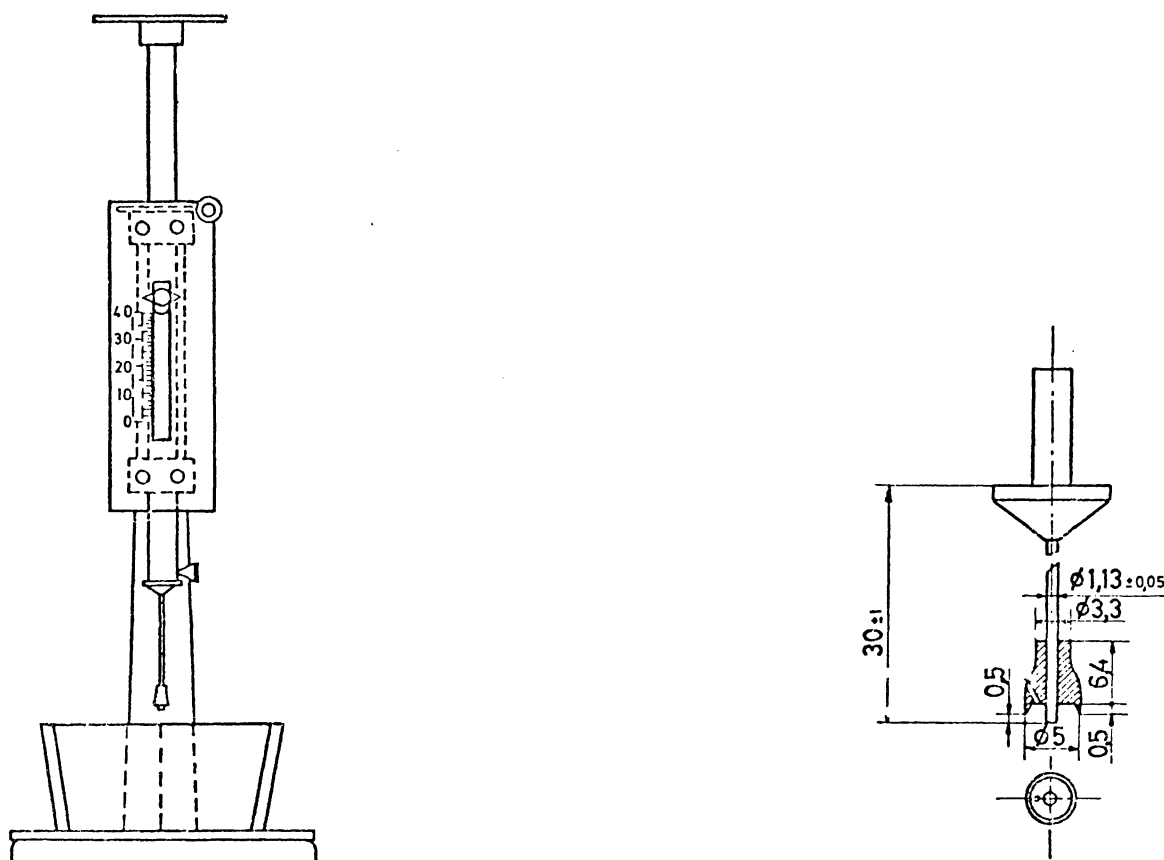


Fig. 8.—Aparato de Vicat y aguja para determinar el final del fraguado de los cementos. (Dimensiones en mm).

La aguja utilizada para determinar el final del fraguado tiene un accesorio, corona o dedal, para facilitar la observación precisa de pequeñas penetraciones de la aguja en la probeta (figura 8).

- e) Moldes destinados a contener la pasta durante el ensayo; deben ser rígidos, de caucho duro y tener forma tronco-cónica. Las dimensiones son las siguientes:

— altura	40 ± 0,2 mm
— diámetro interior superior	70 ± 5 mm
— diámetro interior inferior	80 ± 5 mm

Como moldes se pueden utilizar otros metálicos o de material plástico (no corroibles y no absorbentes), siempre que con ellos se pueda probar que se obtienen los mismos resultados que con el molde tronco-cónico especificado de caucho duro.

Además, se debe contar con placas planas de vidrio para utilizarlas como base-soporte de los moldes; sus dimensiones deben ser mayores que las del diámetro mayor del molde y su espesor de, al menos, 2,5 mm.

- f) El Pliego RC-75 especifica, para determinar el tiempo de fraguado, los siguientes accesorios:

— Sonda cilíndrica de 1 cm de diámetro cuyo peso (masa) sea de 300 g. No se dan tolerancias.

- Aguja de Vicat, constituida por una varilla cilíndrica delgada, de metal pulimentado, terminada por una sección recta y lisa de 1 mm² de superficie (1,13 mm de diámetro) y cargada de modo que el peso total (masa total) sea de 300 g; tampoco se especifican tolerancias.

Esta aguja se utiliza lo mismo para determinar el principio como el final del fraguado.

- Moldes troncocónicos (no se fija material) de las siguientes dimensiones:

- altura 40 ± 1 mm
- diámetro de la base superior 80 ± 3 mm
- diámetro de la base inferior 90 ± 3 mm

- Placas metálicas o de cristal para emplearlas como apoyo (base-soporte) de los moldes.

3.5. Técnicas operatorias

En el presente apartado se incluyen las diferencias más importantes de las diversas operaciones del pr EN 112 con relación a las técnicas de trabajo descritas en el Pliego RC-75.

- a) Pasta de consistencia normal. Determinación de la cantidad de agua de amasado.

Operaciones	pr EN 112	Pliego RC-75
Mezcla: Materiales Cemento Agua (ver apartado 3.3.)	• 500 g pesados en una balanza que tenga una precisión de 0,5 % sobre la cantidad pesada. • x g pesados, en el recipiente de la amasadora, en una balanza con una precisión de 0,5 % sobre la cantidad pesada. El agua se debe introducir a partir de una probeta graduada.	• 500 g; no se especifica precisión de la pesada. • x g ó ml; no se especifica.
Amasado: Tiempo:	• Mecánicamente, en la amasadora especificada para preparar el mortero con el que se elaboran las probetas para determinar las resistencias mecánicas. a) 5 a 10 segundos para poner el cemento y el agua en el recipiente de la amasadora. (Final operación = tiempo CERO). b) 90 segundos amasado a velocidad lenta. c) 15 segundos para recoger la pasta adherida a las paredes del recipiente. d) 90 segundos amasado, nuevamente, a velocidad lenta. • Tiempo total funcionamiento amasadora 3 minutos.	• Manual; las manos se protegen con guantes de goma. • 2,5 minutos.
NOTA:	• Se puede utilizar cualquier otro método, mecánico o manual, siempre que con él se obtengan los mismos resultados que con el método especificado.	• Tiempo total de: 2,5 minutos.

(continuación)

Operaciones	pr EN 112	Pliego RC-75
Llenado del molde:	a) Se coloca la parte inferior del molde (figura 7) sobre la placa de vidrio engrasada. b) Se llena el molde con la pasta, sin apisonamiento ni vibración excesiva. c) Se elimina el exceso de la pasta con un útil (movimiento va y ven con precauciones). d) Se enrasa la superficie.	a) Se introduce la pasta, en forma de bola, por la parte más ancha del molde. b) Lleno el molde y sobresaliendo la pasta por la base menor, se elimina con la mano el sobrante de la bola en la base mayor del molde. c) Se coloca el molde sobre la placa metálica o de vidrio. d) Se enrasa y alisa la superficie superior.
Sondeo:	a) Se coloca el aparato de Vicat, con la sonda en el centro de la probeta, de tal modo que el extremo de la sonda toque la superficie de la pasta. b) 4 minutos después (del tiempo CERO) se deja descender la sonda. c) Al final de la penetración ó 30 segundos después de la liberación de la sonda se efectúa la lectura de la penetración. d) Se tiene la CONSISTENCIA NORMAL cuando la sonda penetra hasta 6 ± 1 mm de la placa base (penetración = 34 ± 1 mm). e) Se repite ensayo con distintas cantidades de agua hasta conseguir la consistencia normal.	a) Como pr EN 112 b) 30 segundos después de terminado el amasado se deja descender lentamente la sonda. c) Se efectúa la lectura de la penetración. d) Se tiene la CONSISTENCIA NORMAL cuando la sonda penetra 10 ± 1 mm. e) Como pr EN 112.
Expresión de los resultados:	• El contenido en agua de la pasta se expresa en % ($\sim 0,5$ %) con relación a la masa de cemento.	• No se especifica.

b) Determinación del principio del fraguado (figura 7).

Operaciones	pr EN 112	Pliego RC-75
Preparación de la probeta:	• La preparación de la pasta de consistencia normal y el llenado del molde se hace como se señala en el apartado a) del punto 3.5.	• La preparación de la pasta de consistencia normal y el llenado del molde se hace como se señala en el apartado a) del punto 3.5.
Conservación de la probeta:	• La conservación se hace en una sala o armario húmedo, a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y humedad relativa ≥ 90 %.	• La placa, el molde y la pasta se sumergen en agua dulce a $21 \pm 2^\circ\text{C}$. NOTA.—Se pueden conservar en un ambiente saturado de humedad.
Ensayo:	a) Se deja descender la aguja con precaución hasta que se encuentre en contacto con la probeta. b) Se espera 1 a 2 segundos y a continuación se deja penetrar la aguja verticalmente en la pasta.	a) A intervalos de tiempo se saca el molde del agua con la placa y la pasta que contiene. b) Se coloca debajo de la aguja de Vicat.

Operaciones	pr EN 112	Pliego RC-75
	c) Se realiza la lectura al final de la penetración ó 30 segundos después de la liberación de la aguja. d) Se repiten las penetraciones a intervalos de 10 minutos, espaciados unos 10 mm del borde del molde o una de la otra. e) La aguja se limpia después de cada penetración.	c) Se deja penetrar la aguja y se anota la distancia de penetración. d) A continuación se sumerge en agua. e) Se repiten los ciclos anteriores.
Principio del fraguado:	• Cuando la distancia entre la aguja y la placa base-apoyo sea 4 ± 1 mm (o la penetración sea 36 ± 1 mm).	• Cuando la aguja penetra 35 mm.
Tiempo del principio del fraguado:	• Período de tiempo comprendido desde el "tiempo CERO" hasta el principio del fraguado.	• Período de tiempo comprendido desde que empieza el amasado hasta el principio del fraguado.

c) Determinación del final del fraguado (figura 8).

Operaciones	pr EN 112	Pliego RC-75
Preparación y conservación de la probeta:	a) Como se señala en el apartado b) (anterior) del punto 3.5. b) Es la misma probeta.	a) Como se señala en el apartado b) (anterior) del punto 3.5. b) Es la misma probeta.
Ensayo: Aguja:	a) Una vez iniciado el principio del fraguado se le da la vuelta al molde, de modo que en la zona superior quede la cara de la probeta que estuvo en contacto con la placa base. b) La aguja utilizada tiene un accesorio anular o corona (figura 8). c) Los intervalos de tiempo de penetración son de aproximadamente 30 minutos.	a) Se continúan los ensayos de penetración en la probeta utilizada para determinar el principio del fraguado. La posición es la misma. b) Se utiliza la misma aguja que para el principio del fraguado.
Final del fraguado:	• Cuando la aguja penetra en la probeta 0,5 mm (cuando el accesorio anular no deja marca sobre la probeta).	• Cuando la aguja penetra en la probeta 5 mm.
Tiempo del final del fraguado:	• Período de tiempo comprendido desde el "tiempo CERO" hasta el final del fraguado.	• Período de tiempo comprendido desde que empieza el amasado hasta el final del fraguado.

4. CONCLUSIONES

Primera

El método de ensayo para determinar la consistencia normal de los cementos y el tiempo de fraguado, objeto del proyecto de norma (CEN) pr EN 112, tiene diferencias de consideración con relación al descrito en el Pliego RC-75, las cuales han quedado señaladas en el texto precedente.

Segunda

Las cantidades utilizadas de cemento se pesan, tanto en el pr EN 112 como en el Pliego RC-75; sin embargo, las de agua se pesan en el primero y no se especifica en el segundo, así como la calidad de dicha agua, destilada o desionizada (pr EN 112), y la precisión de las medidas.

Como tiempo CERO se toma en el pr EN 112 el final de la operación de poner en contacto el cemento con el agua y en el Pliego RC-75 desde que comienza el amasado.

Tercera

La preparación de la pasta de cemento de consistencia normal se hace mecánicamente, durante 3 minutos, método especificado en el pr EN 112; este proyecto admite otros procedimientos, mecánicos o manuales, siempre que se obtengan los mismos resultados que con el método especificado.

La elaboración de la pasta de consistencia normal, en el Pliego RC-75, se efectúa manualmente durante 2,5 minutos.

Cuarta

Cuando la sonda penetra en la probeta hasta 6 ± 1 mm de la placa base o, lo que es lo mismo, cuando la penetración es 34 ± 1 mm, se obtiene la pasta de consistencia normal, según el pr EN 112, mientras que en el Pliego RC-75 dicha penetración debe ser de 10 ± 1 milímetros.

Quinta

La conservación de las probetas para determinar el tiempo de fraguado se hace, según el pr EN 112, en un recinto a $20^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ y con una humedad relativa del aire igual o superior a 90 %. En el Pliego RC-75 las probetas se conservan sumergidas en agua dulce a $21^\circ \pm 2^\circ\text{C}$, admitiendo la conservación en un ambiente saturado de humedad.

Sexta

Se admite que el principio del fraguado tiene lugar cuando la aguja penetra en la probeta hasta 4 ± 1 mm de la placa base (la penetración es de 36 ± 1 mm) o hasta una profundidad de 35 mm, según el pr EN 112 o el Pliego RC-75, respectivamente.

Se considera que el fraguado ha terminado cuando la aguja penetra en la probeta 5 mm (Pliego RC-75) o cuando la aguja provista de un accesorio anular penetra, a lo sumo, 0,5 mm o cuando el mencionado accesorio anular no deja marca en dicha probeta (pr EN 112).

5. BIBLIOGRAFIA

- (1) Pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos (RC-75): B.O.E. n.º 206, 18197-18213, (28-agosto-1975) y n.º 207, 18299-18311 (29-agosto-1975).
- (2) GASPAR-TEBAR, D. y FRAGA-SANCHEZ, S.: Contribución al estudio de las normas, de diferentes países, para el cemento portland. *Ultimos Avances de Mat. de Const.*, 57 (n.º extraordinario), (1954).
- (3) ANONIMO: Cement standards of the world portland cement and its derivations. Cembureau; Paris, 1968.
- (4) ADAM, M.: L'evolution des ciments vue par les constructeurs. *Ann. de l'Inst. Tech. du Bât. et des Trav. Publ.*, 353, 113-135, (1977).
- (5) HERRERO NUÑEZ, E.: El Cemento, ese gran desconocido.—Influencia del cemento en la uniformidad de la resistencia del hormigón. *Mat. de Const.*, 145, 37-42, (1972).
- (6) BERL-LUNGE-D'ANS: Métodos de análisis químico industrial. Tomo III (primera parte). Edit. Labor, S. A., Barcelona, Madrid, Buenos Aires, Río de Janeiro, (1945), págs. 385-386.
- (7) WISCHERS, G.: Normalización del cemento: Notas y explicaciones respecto a la reelaboración de la norma alemana del cemento DIN 1164; redacción junio (1970). *Mat. de Const.*, 145, 50-52, (1972).
- (8) CZERNIN, W.: La Química del Cemento; Edic. Palestra. Barcelona (1962), págs. 51-54.
- (9) GASPAR-TEBAR, D.: Normalización del cemento. Resistencias mecánicas: Algunos comentarios sobre el método de ensayo. *Mat. de Const.*, 177, 11-25, (1980).
- (10) TRIVIÑO, F.: Hidratación del cemento portland: estudio por diversas técnicas; *ION*, 380, 123-133, (1973) y 381, 188-200, (1973).
- (11) VAZQUEZ, T.: Contribución al estudio de las reacciones de hidratación del cemento portland por espectroscopia infrarroja. Tesis doctoral, Facultad Ciencias Químicas de la Univ. Complutense. Madrid, 1975.
- (12) BARBIC, L.; KOCUVAN, I.; URSIC, J. et LAHAJVAR, G.; BLIN, R.; ZUPANCIC, I.; ROZMARIN, M.: Recherches de l'hydratation et des résistances des ciments par la résonance magnétique nucléaire; *Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux*, 3, 172-174, (1979).
- (13) MEMMLER, K.: Ensayos de Materiales, 3.ª edic.—Edit. Labor, S. A., Barcelona, Madrid, Buenos Aires, Río de Janeiro, (1949), pág. 223.
- (14) BOGUE, R. H.: La Química del Cemento. Edit. Dossat. Madrid (1962), págs. 541 y siguientes.
- (15) LEA, F. M. y DESCH, E. H.: Química del Cemento y del Hormigón. Edit. Tipografía Artística. Madrid (1960), págs. 356 y siguientes.
- (16) CALLEJA, J.: Nuevas técnicas para el estudio del fraguado y endurecimiento de los aglomerantes hidráulicos y similares. Monografía n.º 109 del ITCC. Madrid, noviembre 1950.
- (17) LE BOT, J.; RAOULT, F. et BARON, A.: Variation du potential électrochimique du ciment Portland en cours d'hydratation; *Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux*, 4, 207-208, (1979).
- (18) BOMBLED, J. P.: Rheographe pour l'étude rhéologique du raidissement des pâtes: Application à la prise du ciment. *Rev. des Mat.*, 673, 256-277, (1971).
- (19) TOBIO, J. M.: Estudio del proceso de fraguado. Comportamiento dieléctrico de varios cementos españoles. Monografía n.º 158 del ITCC. Madrid, junio 1955.
- (20) RAOULT, F.; LE BOT, J. et BARON, A.: Hydratation et prise des ciments dès les premiers instants du gâchage; *Rev. des Mat. de Cons.*, 698, 37-40, (1976).
- (21) BOMBLED, J. P.: Prismétrie des pâtes de ciment-Rhéographe et prismètre automatique CERILH; *Rev. des Mat. de Const.*, 699, 113-124, (1976) et *Ciments-Bétons-Plâtres-Chaux*, 709, 355-362, (1977).

- (22) JOISEL, A.: Prise et fausse prise des ciments. Publ. Techn. CERILH n.º 204, oct. 1969.
- (23) TOBIO, J. M.: Tiempo de fraguado del cemento (examen crítico de algunos métodos). ION, 231, 589-600, (1960).
- (24) PAPADAKIS, M. et VENUAT, M.: Fabrication et Utilization des Liants Hydrauliques. Imprim. Jouve, Paris (1966), págs. 193-197.
- (25) GOMA, F.: El cemento portland y otros aglomerantes. Edit. Tecn. Asoc., S. A., Barcelona (1979), páginas 20-22.
- (26) GONZALEZ, F.: Ensayos de cementos. Edit. Imp. Militar Centro Electrónico. Madrid (1926), págs. 58-68.
- (27) ANSI/ASTM C 191-77: Standard test Method for time of setting of hydraulic cement by Vicat needle. Annual Book of ASTM Standards 1978, part. 13.
- (28) BOMBLED, J. P. et BARROT, H.: Essais interlaboratoires (1977/78). Comptes rendus CERILH; Paris, 1978.
- (29) BOMBLED, J. P. et BARROT, H.: Essais interlaboratoires (1978/79). Comptes rendus CERILH; Paris, 1979.
- (30) BOMBLED, J. P.: Les essais interlaboratoires conduits par le CERILH. Rev. des Mat. de Const. 687, 103-112, (1974).
- (31) DIN 1164: redacción junio 1970; según WISCHERS, loc. cit., pág. 51.
- (32) ANSI/ASTM C 187-77: Standard test Method for normal Consistency of hydraulic cement. Annual Book of ASTM Standards 1978, part. 13.
- (33) ANFOR P 15-414: según PAPADAKIS et VENUAT, loc. cit., pág. 193.
- (34) CALLEJA, J.: Las nuevas normas españolas para cemento. Mat. de Const., 164, 5-23, (1976).