

Normalización del cemento

Resistencias mecánicas: Algunos comentarios sobre el método de ensayo

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

1. INTRODUCCION

Como es sabido la categoría de los distintos tipos y clases de los cementos del Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos (RC-75) (1) viene fijada por la resistencia mecánica a compresión, en kp/cm^2 , que como valor mínimo se exige a los 28 días al mortero normal, sin tener un límite máximo; criterio que se sigue en las normas de numerosos países.

Por el contrario, las normas de otros países [por ejemplo la norma francesa NF P-15-301 (2) y la alemana DIN 1 164 (3)] a pesar de designar la categoría de los cementos por la resistencia a compresión, a 28 días, de las probetas de mortero normalizado exigen dos límites nominales: uno inferior y otro superior. En la norma francesa las mencionadas resistencias a compresión son el valor medio de un entorno definido por los dos límites nominales, y en la norma alemana son el valor mínimo del entorno, análogo al de la norma francesa. Ambas normas establecen subclases en determinadas categorías, en cuyos casos fijan, además, un límite inferior mínimo de las resistencias a compresión a la edad de 2 días (cementos que tienen resistencias iniciales más elevadas).

El desarrollo del comercio exterior y la necesidad de exportar cemento exige un conocimiento adecuado de las normas que más se utilizan en estos casos 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); de aquí que en el presente trabajo se dé cuenta del proyecto de norma del GT 1 del CEN/TC 51 (DOC. 51 N 141), titulado "Méthode d'essai de résistance mécanique des ciments" que, a reserva de introducir algunas modificaciones de detalle, está previsto por el Comité Técnico que se someta a voto preliminar, por los países miembros del CEN, el próximo mes de junio de 1980.

2. ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE EL METODO RILEM-CEMBUREAU

El método de ensayo Rilem-Cembureau para determinar la resistencia mecánica de los cementos, a flexión y a compresión, de probetas prismáticas de mortero plástico se encuentra recogido en la Recomendación ISO R 679 "Méthode d'essais mécaniques des ciments.—Résistance à la compression et à la flexion du mortier plastique (Méthode Rilem-Cembureau)" (4), que fue elaborada por el Comité Técnico ISO/TC 74, Aglomerantes Hidráulicos, siendo el resultado de un esfuerzo común de las organizaciones Cembureau y

Rilem. Los trabajos comenzaron en 1962 y terminaron en 1964 con la adopción de un Proyecto de Recomendación ISO (n.º 772); en enero de 1965 se sometió a encuesta de todos los Comités Miembros de ISO, siendo aprobado, a reserva de algunas modificaciones de tipo de redacción, por los 25 Comités siguientes:

Alemania, Argentina, Austria, Bélgica, República de Corea, Dinamarca, Francia, Hungría, India, Irlanda, Israel, Italia, Japón, Noruega, Países Bajos, Polonia, Portugal, R.A.U., Rumanía, Inglaterra, Suecia, Checoslovaquia, Turquía, U.R.S.S. y Yugoslavia.

Otros dos Comités Miembros (U.S.A. y Nueva Zelanda) se declararon opuestos a su aprobación.

El mencionado Proyecto de Recomendación ISO fue aceptado, en marzo de 1968, por el Consejo de ISO como RECOMENDACION ISO.

La Recomendación ISO/R 679-1968 utiliza como arena normal una arena natural belga, lo más cuarzosa posible, sobre todo en la fracción fina —menor de 0,15 mm—, de granos redondeados. Esta arena normal belga es la arena normal de referencia; cada país intentará encontrar una arena, según dicha Recomendación, suficientemente equivalente a la mencionada arena normal belga.

El mortero está compuesto, en masa, por una parte de cemento, tres partes de arena normal perfectamente seca y media parte de agua potable (la relación agua/cemento es 0,50). Las cantidades utilizadas para fabricar tres probetas son: 450 g de cemento, 1.350 g de arena y 225 g de agua.

El Pliego Español de Condiciones para la Recepción de Conglomerantes Hidráulicos de 1961 (P.C.C.H.-61) (5), aprobado por Orden de 31 de diciembre de 1959 y publicado en el n.º 22 del B.O.E. de 26 de enero de 1960, así como las modificaciones aprobadas por Orden del 26 de julio de 1960, B.O.E. n.º 187 del 5 de agosto de 1960, recoge un método de ensayo para determinar las resistencias mecánicas de los cementos que, prácticamente, coincide con la mencionada Recomendación ISO/R 679-1968; este método de ensayo utiliza 500 g de cemento, 1.500 g de arena normal de Segovia y 250 g de agua.

El método de ensayo de la Recomendación ISO para determinar las resistencias a flexión y compresión del mortero plástico (método Rilem-Cembureau) está recogido en las normas de numerosos países (6), empleando arenas de diversos orígenes con granulometrías análogas o distintas a la de la arena normal utilizada en dicha Recomendación. Por regla general el mortero se fabrica, en las distintas normas a las que nos referimos en el presente trabajo, con relaciones cemento/arena (1:3) y agua/cemento tales que permitan obtener un mortero plástico; esta relación agua/cemento suele ser 0,50 en la mayoría de las normas, en otras es 0,65; 0,60 y 0,40 (por ejemplo las de Japón, en el primer caso; las de Austria, Finlandia, Alemania Este, Polonia, en el segundo; y las de Rusia, en el tercero).

Estados Unidos tiene las tres normas siguientes, relacionadas con este método ISO (RILEM-CEMBUREAU) de ensayo:

- a) La norma ANSI/ASTM C 305-65 (Reapproved 1975) (7) que describe un método para efectuar mecánicamente la mezcla de pastas de cemento y morteros de consistencia plástica; la amasadora utilizada es análoga a la descrita en la mencionada Recomendación ISO, con ligeras modificaciones.

- b) La norma ANSI/ASTM C 348-77 (8) que incluye un método para determinar la resistencia a flexión de probetas prismáticas de $40 \times 40 \times 160$ mm de mortero de cemento y un procedimiento para preparar dichas probetas; las proporciones de los materiales, la consistencia y la mezcla del mortero normal son las de la norma ANSI/ASTM C 109-77 (9). La compactación de las probetas se hace con pisón y el curado y conservación como en el método descrito en la norma anteriormente mencionada ANSI/ASTM C 109-77.

El coeficiente de variación de este método para ensayos hechos con un mismo cemento y a la misma edad, en laboratorios distintos o en un laboratorio, es 8,4 % y 5,1 %, respectivamente.

- c) La norma ANSI/ASTM C 349-77 (10) recoge un método de ensayo para determinar la resistencia mecánica a compresión de morteros de cementos hidráulicos, empleando los trozos de los prismas rotos a flexión (8); este método puede utilizarse como alternativo del descrito en (9) y no como sustitución en los ensayos de recepción.

El coeficiente de variación de este método para ensayos hechos en laboratorios distintos es 6,3 % y en un mismo laboratorio 3,5 %.

El método de ensayo de la Recomendación ISO, para determinar las resistencias mecánicas a flexión y compresión de los cementos, de acuerdo con el estado técnico presente, se puede calificar como el mejor procedimiento en cuanto a la expresividad y reproducibilidad a pesar de requerir gran cuidado. Sólo en aquellos laboratorios convenientemente equipados y acondicionados para cumplir con todas las especificaciones (por ejemplo: climatización, equipos de garantía, técnica de trabajo adecuada para realizar los ensayos, etc. y que cuenten con personal adiestrado y capacitado que, a su vez, realice permanentemente estos ensayos) se puede alcanzar una desviación típica (σ) de 10 a 15 kp/cm² en pruebas de repetición con un mismo cemento, proporcionando un coeficiente de variación del orden del 2 % (11). Estos hechos se han podido comprobar en ensayos realizados con un mismo cemento, con una arena de la misma procedencia y análoga granulometría, en un laboratorio y en laboratorios distintos; los coeficientes de variación, a 28 días, han sido 5 % para los resultados de flexión y 6,5 % para los de compresión cuando se trabaja en laboratorios distintos (12).

Experimentalmente se ha probado que la distribución estadística de las resistencias, cuando se efectúa un gran número de ensayos en un buen laboratorio, es gaussiana; esto significa que se ha dedicado gran atención a todos los errores sistemáticos y a los accidentales de gran magnitud, siendo una demostración del alto grado de perfeccionamiento alcanzado (13). Todo ello hace que el método de ensayo de la Recomendación ISO/R 679-1968, para determinar las resistencias mecánicas de los cementos, sea un procedimiento que permite una medida correcta de las mismas, proporcionando resultados poco dispersos y comparables de un laboratorio a otro (14).

3. ESTUDIO DEL METODO DE ENSAYO DE RESISTENCIA MECANICA DE LOS CEMENTOS, DOC. 51 N 141 DEL CEN

3.1. Generalidades

El proyecto de norma del Comité Europeo de Normalización (CEN), DOC. 51 N 141 (15), elaborado por el Grupo de Trabajo 1 del Comité Técnico 51 (TC 51) del CEN, describe un método de ensayo para determinar la resistencia mecánica a compresión y a flexión (fa-

cultativa) de un mortero de cemento de consistencia plástica, preparado mecánicamente; las relaciones cemento/arena y agua/cemento utilizadas son 1:3 y 0,5, respectivamente. Este método no se aplica a los cementos que tengan, a 20°C, un tiempo de fraguado inferior a 15 minutos.

El método de ensayo del mencionado DOC. 51 N 141, CEN/TC 51, que está basado en la Recomendación ISO/R 679-1968 "Método Rilem-Cembureau" (el del Pliego español RC-75 coincide en gran parte) tiene dos objetivos y aplicaciones fundamentales, que incluye como novedad, por lo que se puede utilizar para realizar:

- a) Ensayos de control de calidad, que permiten definir si un cemento cumple con las prescripciones de las normas.
- b) Ensayos de aceptación, bien para variantes de materiales (por ejemplo la arena) o bien para variantes de equipos (por ejemplo el equipo o métodos de compactación); de este modo se pueden utilizar arenas de diversa procedencia o tipos distintos y técnicas de compactación, siempre que los resultados sean estadísticamente equivalentes a los obtenidos con la arena normal CEN de referencia o con la compactadora de choques especificada en el proyecto de norma CEN.

Los estudios realizados han probado que las dos variantes o condiciones más importantes y que más influencia tienen en el presente método de ensayo son la arena y el sistema de compactación; de aquí que se incluyan dos ensayos: uno para poder aceptar y utilizar distintas clases de arena por su origen, siempre que hayan sido preparadas de acuerdo con lo que se especifica en el mencionado proyecto de norma, y otro para, asimismo, poder aceptar equipos y técnicas de compactación diferentes al método de compactación especificado, que utiliza una compactadora de choques, la cual se admite como aparato de referencia CEN.

Estos hechos facilitarán el campo internacional de aplicación de la norma CEN, en su día, al poder emplear arenas de países distintos y dar entrada a otros métodos de compactación usados en determinadas normas y adoptados como consecuencia de las variantes aceptadas por la Recomendación ISO/R 679-1968 o de una modificación del método ISO.

Como es sabido la precisión de una técnica de trabajo se caracteriza por su repetibilidad y su reproducibilidad. Para el control de calidad es necesaria la segunda, es decir, la reproducibilidad, y para los ensayos de control de producción y de aceptación la primera (repetibilidad); ambas son expresiones cuantitativas de error íntimamente relacionado con los resultados de los ensayos correspondientes a las resistencias a compresión, a 28 días, de probetas de mortero.

Por resultado del ensayo se entiende, según el Proyecto de Norma, el valor medio de 6 resultados de las resistencias a compresión de las dos mitades de tres probetas de mortero de 40 × 40 × 160 mm, seleccionadas para la reproducibilidad entre tres o dos moldes, por consiguiente, de tres o de dos amasadas distintas, según las edades consideradas para determinar las resistencias; excepcionalmente se puede utilizar un solo molde. Sin embargo, el resultado de ensayo para la repetibilidad es la media de los valores correspondientes a tres probetas de una amasada (un solo molde).

La reproducibilidad y la repetibilidad entre laboratorios experimentados del presente método de ensayo, expresadas como coeficiente de variación, es menor del 6 % la primera y del 3 % la segunda.

Las probetas de mortero se preparan a partir de diversas muestras de un cemento, de tal modo que nominalmente son iguales, por operadores distintos trabajando en laboratorios y momentos diferentes, utilizando equipos y arenas también diferentes para determinar la reproducibilidad y por un mismo operador, el mismo equipo, la misma arena, cortos intervalos de tiempo, etc., es decir, en condiciones teóricamente idénticas, para determinar la repetibilidad.

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 preparan las probetas de mortero han de ser $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y superior o igual a 65 %, respectivamente; para ello, es necesario climatizar el laboratorio o instalar un equipo de aire acondicionado, en la mayoría de los casos, capaz de mantener en las distintas épocas del año las condiciones reseñadas de temperatura y de humedad relativa. El Pliego RC-75 especifica que la temperatura ha de estar comprendida entre 18 y 25°C y que la humedad relativa del ambiente no debe ser inferior a 50 %.
- b) El laboratorio debe tener un lugar apropiado para conservar durante las primeras 24 horas los moldes con las probetas de mortero recién preparadas. Es suficiente una cámara húmeda o un armario con equipos adecuados para mantener la temperatura a $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, en lugar de $21 \pm 2^{\circ}\text{C}$ como especifica el Pliego RC-75, y la humedad relativa del ambiente igual o superior a 90 %, como en dicho Pliego RC-75.
- c) La conservación de las probetas desmoldeadas, hasta el momento de su rotura, se hará sumergiéndolas por completo en el agua potable, a $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$, contenida en un recipiente adecuado. La temperatura especificada en el mencionado Pliego RC-75 es $21 \pm 1^{\circ}\text{C}$.
- d) Asimismo, la temperatura y la humedad relativa del ambiente de las zonas en donde se encuentren 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.
- e) Las dos variables señaladas, temperatura y humedad relativa, de los laboratorios, así como de los medios de conservación y curado, se deben medir y registrar; es recomendable el empleo de registradores automáticos.

3.3. Condiciones de los materiales

Los materiales (cemento, arena y agua) necesarios para preparar las probetas de mortero cumplirán las condiciones que se citan a continuación:

- a) El cemento, la arena y el agua de amasado deben estar a la temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$. 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 ≥ 65 %.
- b) Si el cemento se debe conservar durante más de 24 horas antes del ensayo, se coloca-

rá en recipientes de material inerte frente al cemento, cerrados herméticamente y llenos por completo. Cada envase debe tener cantidad suficiente para realizar una serie completa de ensayos.

- c) El agua de amasado del mortero debe ser destilada (*), ésta se toma como agua de referencia; el agua potable se admite como variante.
- d) Como arena para fabricar las probetas de mortero se utilizará la “arena normal CEN núm. ...” preparada en los distintos países. Dicha arena debe estar provista del certificado CEN correspondiente, expedido por los organismos competentes nacionales de normalización.

Para extender el certificado anterior de la “arena normal CEN núm. ...”, así como para realizar los ensayos de control de la misma se necesita la arena normal de referencia CEN, según se especifica en el DOC. CEN/TC 51 N 141 en donde, además, se incluye un método de ensayo para la concesión de dicho certificado y otro para su verificación, exigido para la renovación anual.

La arena de referencia CEN es una arena natural, de tipo silíceo y de granos redondeados, con un contenido de SiO₂ igual o superior al 98 %, separada en cuatro tamaños que se mezclan en unas cantidades dadas, de tal modo que el tamaño de todos los granos sea inferior a 2 mm y que su composición granulométrica esté comprendida dentro de los límites que figuran en la tabla 1.

TABLA 1

Luces de los tamices de malla cuadrada (mm)	Retenido (%)
2,00	0
1,60	7 ± 5
1,00	33 ± 5
0,50	67 ± 5
0,16	87 ± 5
0,08	99 ± 1

Las luces de los tamices son las de la serie R 20 de la norma ISO 565.

La humedad de la arena, pérdida de masa de la muestra representativa cuando se somete durante 2 horas a la temperatura de 105-110°C, debe ser inferior a 0,2 %, expresada en % de la masa de la muestra seca.

La arena se puede suministrar en bolsas de plástico con un contenido de 1.350 ± 5 g, cantidad que se utiliza para preparar tres probetas.

- e) Las cantidades de cemento, arena y agua que se utilizan para preparar, en una sola amasada, tres probetas de mortero son 450 g, 1.350 g y 225 g, respectivamente. Las cantidades especificadas en el Pliego RC-75 son 500 g, 1.500 g y 225 g. Las pesadas se deben efectuar en una balanza que tenga una precisión de ± 1 g. El agua se puede dosificar, en vez de pesarla, por medio de pipetas automáticas que tengan una precisión de 225 ± 0,5 ml.

(*) El agua destilada puede ser sustituida por otra de pureza equivalente.

3.4. Aparatos y equipos empleados. Condiciones

Los principales aparatos y equipos necesarios para la realización del ensayo son los descritos en el Pliego RC-75, pero con unas tolerancias, de sus características, más estrictas que las de dicho Pliego, las cuales son necesarias para obtener resultados correctos. Las condiciones especificadas de los distintos equipos se deben controlar periódicamente y cuando las tolerancias se encuentran fuera de norma, el equipo correspondiente se debe rechazar, rectificar o reparar si es posible; el valor de las medidas realizadas en los controles periódicos se deben conservar.

Además del equipo normal de laboratorio, se deben utilizar balanzas de lectura fácil y pipetas automáticas con una precisión de ± 1 g, las primeras, y $225 \pm 0,5$ ml, las segundas.

A continuación se reseñan los equipos especificados en el DOC. CEN/TC 51 N 141, así como las principales características.

a) Amasadora

La amasadora para preparar el mortero consta principalmente de un recipiente de acero inoxidable con una capacidad de aproximadamente 5 l (*), la del recipiente de la amasadora descrita en el Pliego RC-75 es de $5,75 \pm 0,25$ l, y de una batidora, también de acero inoxidable, movida por un motor eléctrico de velocidad controlada, la cual tiene un movimiento de rotación sobre sí misma, acompañado de otro planetario alrededor del eje del motor. Los dos sentidos de rotación son opuestos y la relación de las dos velocidades no puede ser número entero.

La amasadora debe disponer de dos velocidades, una lenta y otra rápida, análogas a las descritas en el Pliego RC-75.

El recipiente y la batidora tienen la forma y dimensiones que se indican en la figura 1. Las tolerancias de dimensiones se deben verificar mensualmente; para ello basta con un juego de galgas.

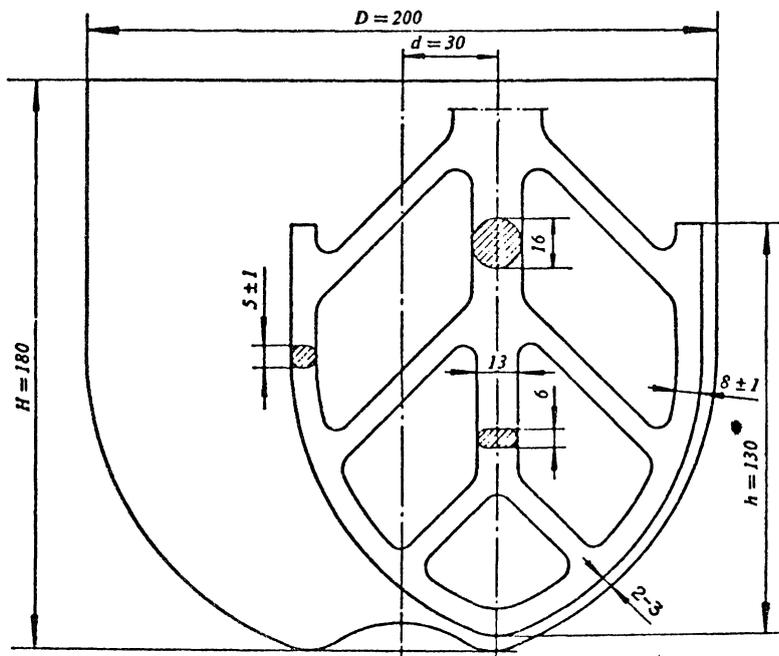


Fig. 1.—Recipiente y batidora de la amasadora. Dimensiones en mm; la batidora y la pared del recipiente vacío deben estar lo más próximo posible.

(*) La capacidad del recipiente, de acuerdo con las medidas señaladas en el croquis de la norma, es de $\approx 4,7$ litros.

b) Moldes

Los moldes son análogos a los que se describen en el Pliego RC-75; tienen tres compartimentos iguales que admitan la preparación simultánea de tres probetas prismáticas con una sección transversal de 40×40 mm y una longitud de 160 mm; el molde se debe construir de tal modo que permita el desmoldeo de las probetas sin que éstas experimenten daño alguno. En la figura 2 se incluye, a título de ejemplo, un tipo de molde.

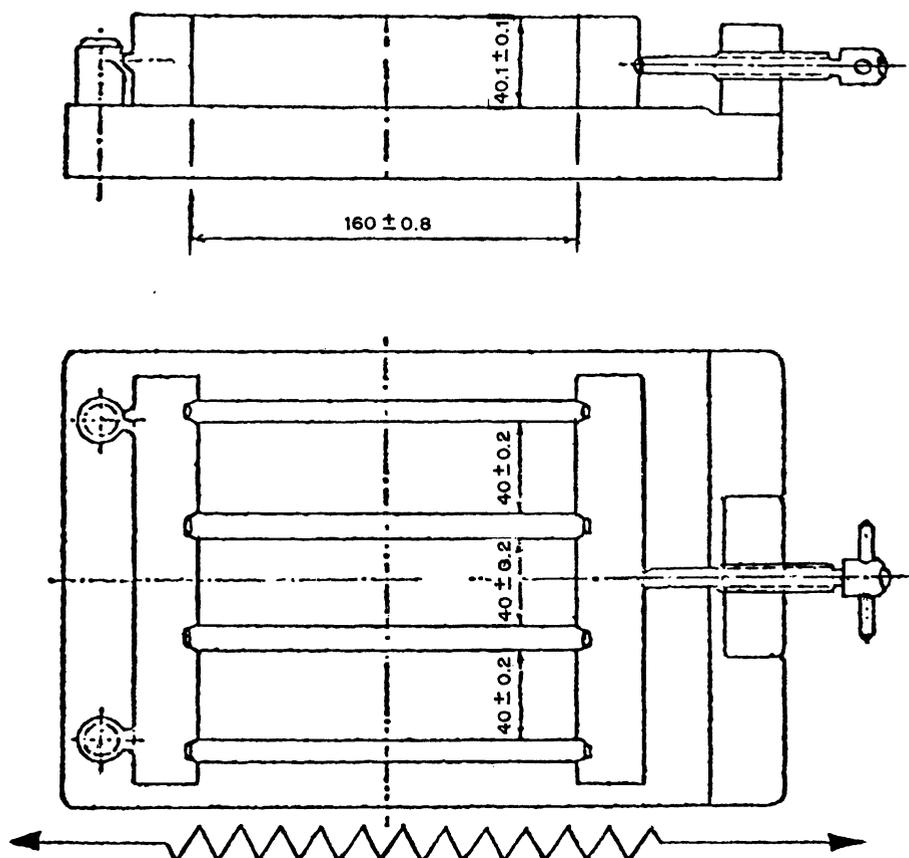


Fig. 2.—Ejemplo de molde. Dimensiones en mm.

La dureza de la superficie de cada cara interior debe ser, al menos, de 200 Vickers; se recomienda, como mínimo, 400 Vickers.

Las distintas piezas que componen el molde deben tener una marca para su identificación, con el fin de facilitar el montaje asegurando la conformidad a las tolerancias especificadas; estas piezas no deben ser intercambiables con las de otros moldes.

La placa de la base debe asegurar un contacto adecuado con la mesa de la compactadora y ser bastante rígida para evitar las vibraciones secundarias.

Las dimensiones interiores y las tolerancias de cada compartimento, basadas en cuatro medidas repartidas, son: longitud = $160 \pm 0,8$ mm; ancho = $40,0 \pm 0,2$ mm y profundidad = $40,1 \pm 0,1$ mm. Las caras interiores deben ser planas con una tolerancia, sobre la totalidad de cada superficie, de 0,03 mm y la de perpendicularidad, con relación a los pla-

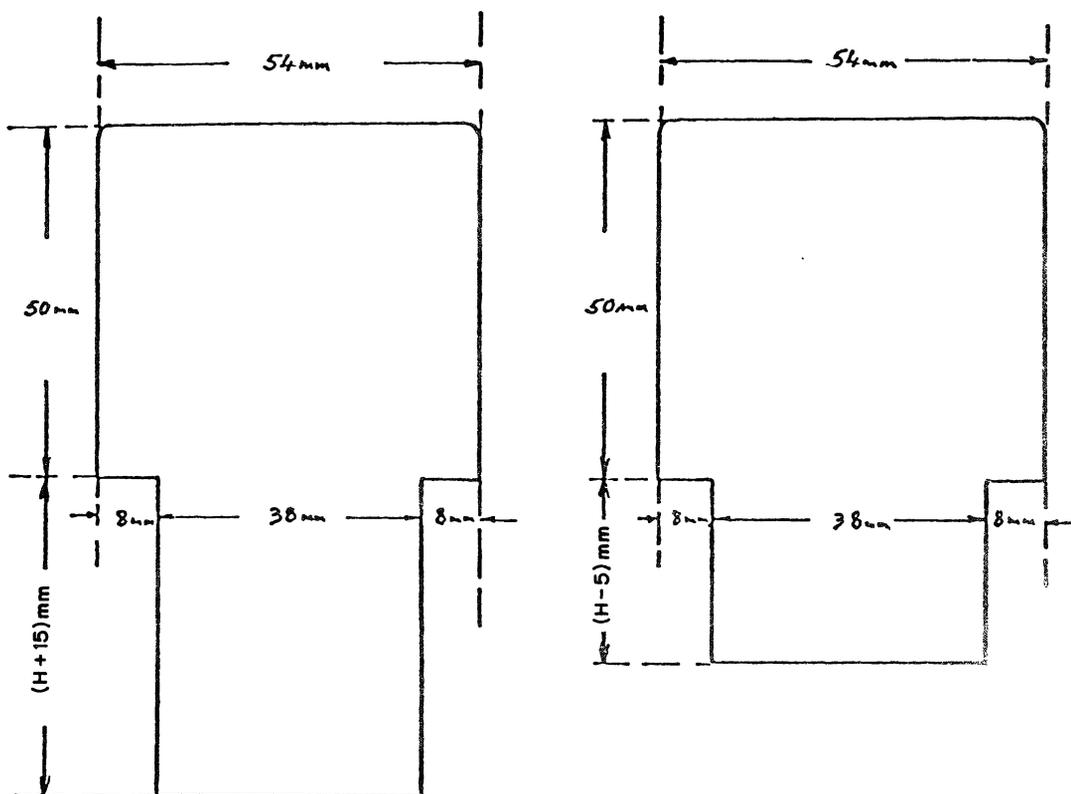
nos de referencia (placa base y caras adyacentes interiores), de 0,2 mm. El Pliego RC-75 señala que todas las dimensiones deben diferir en menos de $\pm 0,1$ mm, que las caras interiores deben ser planas con un error menor de 0,05 mm y que los ángulos serán de $90 \pm 0,50$ grados sexagesimales.

Cuando una de las dimensiones del molde supera a las tolerancias especificadas debe ser reemplazado.

Los moldes deben tener la masa que se indica en el apartado siguiente "c) Compactadora de choques" y además contar con los accesorios que se citan a continuación:

- Tolva para facilitar el llenado del molde, que debe ser de metal bien acoplado y de paredes verticales, de 20 a 40 mm de altura (el Pliego RC-75 fija 40 mm).
- Dos espátulas metálicas y una regla, también metálica, como las de la figura 3, que se utilizan para el enmoldado de las probetas.

ESPATULAS METALICAS



REGLA METALICA

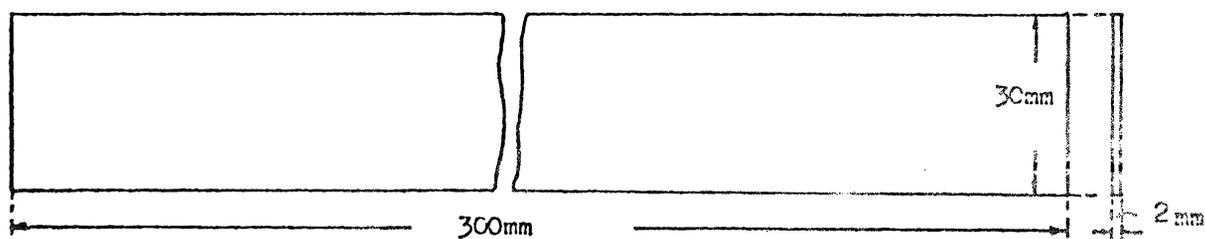


Fig. 3.—Juego de espátulas metálicas y regla metálica. Dimensiones en mm.
H = Altura de la tolva ($20 \text{ mm} < H < 40 \text{ mm}$).

c) Compactadora de choques

Las partes fundamentales de este aparato, una mesa rectangular unida rígidamente por dos brazos ligeros a un eje de rotación (figura 4), son análogas a las de la compactadora especificada en el Pliego RC-75, presentando las siguientes modificaciones:

El conjunto formado por la mesa (comprendidos los brazos), el molde vacío, la tolva y el sistema de fijación debe tener una masa de $20,0 \pm 0,5$ kg, en vez de 20 ± 1 kg como señala el Pliego RC-75 para el tablero, molde, tolva y medios de sujeción; además el DOC. CEN/TC 51 N 141 fija las características de los brazos: rígidos, de tubos redondos, con un diámetro exterior comprendido entre 17 y 22 mm y una masa de $2,25 \pm 0,25$ kilogramos.

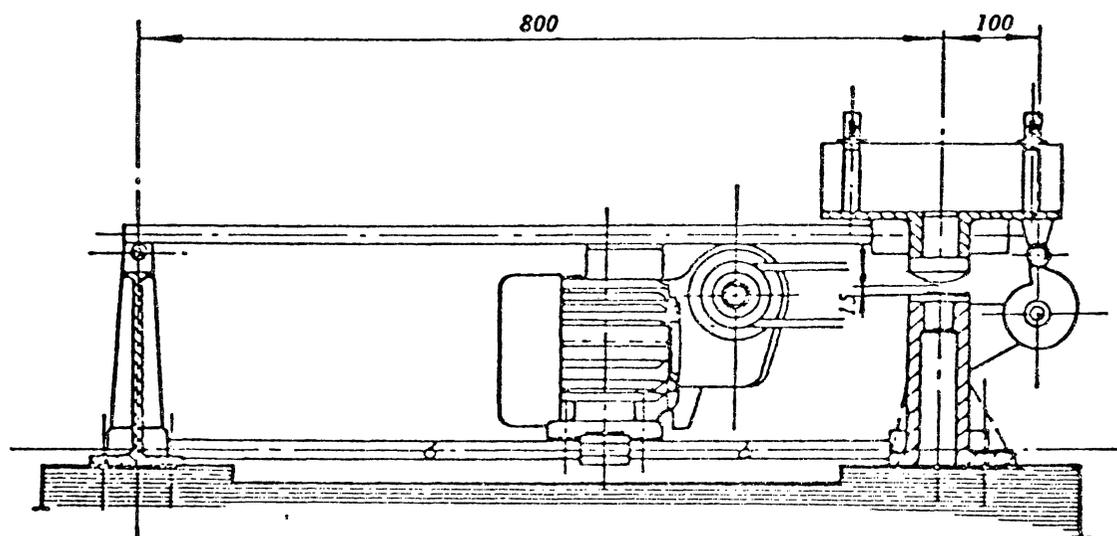


Fig. 4.—Compactadora de choques (ejemplo). Dimensiones en mm.

La ca da del tablero debe ser desde una altura de $15 \pm 0,3$ mm entre el martillo, pieza de acero de la base de la mesa, y el centro del yunque. Por otra parte, el desplazamiento horizontal del centro del tablero, debido al juego del eje, no debe ser superior a 1,0 mm.

La instalación de la compactadora es análoga a la que figura en el Pliego RC-75, con la salvedad de sustituir las cuatro zapatas de goma de $10 \times 10 \times 1$ cm, que se colocan en cada esquina de la bancada de hormigón, por una lámina de caucho de, al menos, 10 mm de espesor con una dureza DIDC (Degr  International de Duret  du Caoutchouc) de 50 ± 5 .

Se puede utilizar, como variante, otro método de compactación distinto al descrito en el mencionado DOC. CEN/TC 51 N 141, siempre que éste tenga el certificado de aceptación correspondiente, expedido por un organismo apropiado; dicho documento describe un ensayo de aceptación para un método de compactación, bien para verificar el prototipo de equipo antes de iniciar su fabricación a gran escala o bien para cualquier equipo que se est  fabricando industrialmente. Este ensayo está basado en un criterio de aceptación comparativo, de tal manera que un método de compactación que, con las probetas de mortero preparadas con muestras de cementos seleccionados utilizando dicho método de compactación, d  a 28 días (exactamente) la misma resistencia a compresión que con las pro-

betas elaboradas, teóricamente, con los mismos materiales, empleando el método de compactación especificado en el DOC. CEN/TC 51 N 141, o que difiera (exactamente) 5 %, tiene una probabilidad del 95 % de ser aceptado como variante, primer caso, o de ser rechazado, segundo caso.

3.5. Técnicas operatorias

En este apartado se incluyen las diferencias más importantes de las diversas operaciones del Proyecto de Norma CEN (DOC. CEN/TC 51 N 141) con relación a las técnicas análogas de trabajo descritas en el Pliego RC-75.

a) Amasado del mortero

Como se ha señalado anteriormente las cantidades que se utilizan para preparar tres probetas de mortero en una amasada son: 450 g de cemento, 1.350 g de arena y 225 g de agua.

El cemento se puede añadir a través de un embudo que tenga un tamiz de malla cuadrada de 0,5 mm, en el centro del recipiente de la amasadora ; de este modo se reduce la formación de grumos.

Los tiempos de funcionamiento y reposo de la amasadora deben hacerse con una precisión de ± 1 segundo.

El resto de las operaciones coincide con las reseñadas en el Pliego RC-75.

b) Enmoldado. Preparación y selección de las probetas

Para llenar y enrasar el mortero en los moldes se utilizan las espátulas metálicas y la regla metálica que se han representado en la figura 3.

Las tres probetas que se utilizan para determinar las resistencias a cada edad, se deben elegir de amasadas distintas y excepcionalmente de una amasada cuando se desean conocer sólo a una edad. Así, si son tres o dos edades las probetas se eligen de tres o de dos moldes como se indica en el esquema de la figura 5.

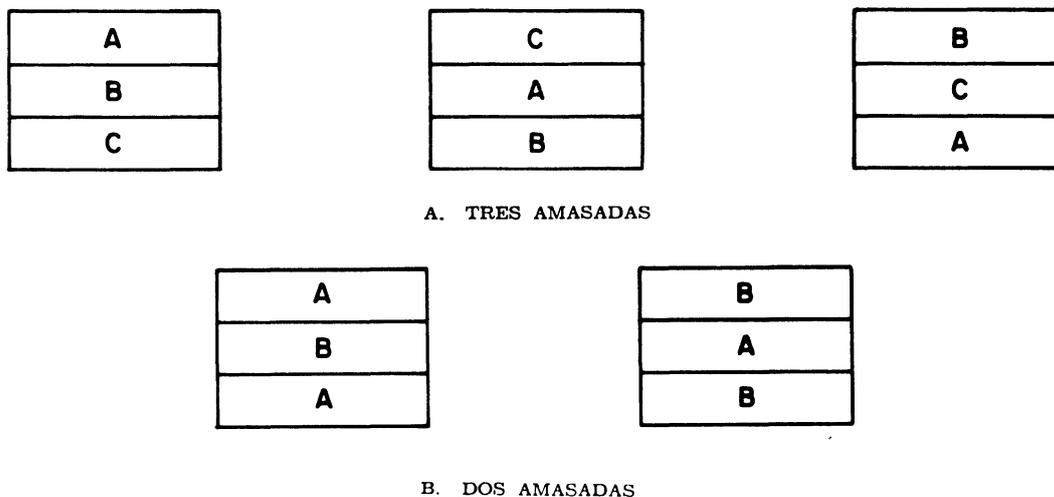


Fig. 5.—Esquema de selección de probetas de mortero.

Las restantes manipulaciones son análogas a las del Pliego RC-75.

c) Conservación de las probetas de mortero

La conservación de las probetas se hace, esencialmente, como se especifica en el Pliego RC-75, presentando las siguientes variaciones:

— Almacenamiento de las probetas antes de desmoldar:

Sobre el perímetro del molde se pone cuidadosamente una junta rectangular de caucho, de tal modo que la arista interior de la junta quede distante del mortero plástico algunos milímetros. Sobre dicha junta, y con el fin de evitar la evaporación del agua de amasado, se coloca una placa plana de vidrio de 210 mm × 185 mm, con un espesor de 6 mm; esta placa se puede sustituir por otra de acero o de cualquier material impermeable, de masa y dimensiones análogas.

Los moldes se colocan en la cámara o armario húmedos a $20 \pm 1^\circ\text{C}$ y al menos con el 90 % de humedad relativa. Se debe procurar que el aire húmedo tenga acceso a todos los lados del molde; de ningún modo se pondrán apilados.

— Desmoldeo de las probetas:

Cuando se tienen que determinar las resistencias a 24 horas el desmoldeo de las probetas se hace, a lo sumo, 20 minutos antes y entre 20 y 24 horas para edades mayores.

Como comprobación de la homogeneidad de la mezcla, del grado de compactación y del contenido de aire de las probetas de mortero se recomienda pesar las distintas probetas.

— Conservación de las probetas:

Las probetas de mortero se sumergen horizontal o verticalmente en el agua potable, a $20 \pm 1^\circ\text{C}$, contenida en un recipiente adecuado; cuando se conservan horizontalmente, las caras laterales (de moldeo) de las mencionadas probetas (caras de compresión) deben quedar verticales, con relación a la base del recipiente, y la cara alisada en la zona superior.

Las probetas se colocan sobre rejillas que no se corroan; no conviene que sean de madera. Deben estar las probetas separadas unas de otras para que el agua pueda acceder libremente a todas sus caras; en ningún momento la lámina de agua, que cubre dichas probetas, debe ser inferior a 5 milímetros.

El agua no debe cambiarse por completo durante el tiempo de conservación de las probetas, y en un mismo recipiente se pondrán sólo las probetas hechas con cementos que tengan una composición química comparable.

Desde que se sacan las probetas del recipiente de conservación hasta el momento de su rotura, éstas se deben cubrir con un paño húmedo.

— Tiempo de conservación de las probetas:

El tiempo de conservación de las probetas se cuenta a partir del momento del amasado (mezcla cemento y agua) hasta el de su rotura.

Las tolerancias admitidas para las distintas edades son las de la tabla 2.

T A B L A 2

Edad	Tolerancia
24 horas	± 15 minutos
48 horas	± 30 minutos
72 horas	± 45 minutos
7 días	± 2 horas
28 días y siguientes	± 8 horas

d) Rotura de probetas y expresión de resultados

— Resistencia a flexión:

Para determinar la resistencia a flexión de las probetas de mortero cuando se exija, ya que es facultativa, se utiliza un sistema de carga concentrada en el centro. Para ello se deben usar máquinas (prensas) capaces de medir cargas de 10 kN con una precisión de $\pm 1,0 \%$ en las 4/5 partes superiores de la escala; la velocidad de carga recomendada es 50 ± 10 N/seg.

La prensa debe estar provista de un dispositivo de flexión compuesto por dos cilindros de apoyo de acero, distantes entre sí $100 \pm 0,5$ mm, y otro (de carga) equidistante de los dos anteriores. El diámetro de estos cilindros debe ser de $10 \pm 0,5$ mm y su longitud debe encontrarse comprendida entre 45 y 50 mm.

La probeta se coloca apoyada, por una de sus caras laterales de moldeo, sobre los dos cilindros de apoyo, quedando su eje longitudinal en posición normal con relación a dichos cilindros. La carga se aplica verticalmente por medio del tercer cilindro (de carga) sobre la cara lateral opuesta.

— Resistencia a compresión:

La determinación de la resistencia a compresión se efectúa sobre las dos caras laterales de moldeo de cada uno de los dos trozos del prisma roto por flexión, cuando se pide, o por un medio adecuado. Cada trozo de la probeta se debe colocar centrado lateralmente a $\pm 0,5$ mm, con relación a los platos de la prensa, y longitudinalmente de modo que el extremo (cabecera) del prisma quede sin apoyar en el plato aproximadamente 10 mm.

La prensa, para determinar la resistencia a compresión de las probetas de mortero, debe tener una capacidad de carga adecuada a la resistencia que se tiene que medir, una precisión de $\pm 1,0 \%$ de la lectura realizada y una velocidad de carga de 2.400 ± 200 N/seg.

El eje vertical del pistón de la prensa debe coincidir con su eje vertical y la dirección del movimiento del pistón, durante la puesta en carga, debe ser paralela a dicho eje vertical de la máquina; la superficie del plato inferior de la prensa es normal a su eje, quedando en esta posición durante la puesta en carga.

El centro de la rótula del plato superior está situado en el punto de intersección del eje vertical de la prensa con el plano de la superficie inferior de dicho plato, con una tolerancia de ± 1 mm.

La prensa posee dos placas auxiliares de acero (con una dureza Vickers de al menos 600) o preferentemente de carburo de tungsteno, las cuales deben tener $40 \pm 0,1$ mm de ancho por 40,0 mm de largo y 10 mm, como mínimo, de espesor. Dichas placas deben ser planas con una tolerancia de 0,01 mm sobre toda la superficie de contacto y deben estar centradas, con relación al eje del sistema, con una precisión de $\pm 0,05$ mm.

Cuando la rótula esférica de la prensa esté bloqueada, cuando su diámetro sea superior a 120 mm o cuando dicha rótula no exista, se debe emplear un dispositivo apropiado de compresión del que, en el Proyecto de Norma, se incluye un croquis como ejemplo.

— *Expresión de los resultados:*

Los valores de las resistencias mecánicas, a flexión y compresión, se expresan en newtons por milímetro cuadrado (N/mm^2).

4. CONCLUSIONES

Primera

El método de ensayo para determinar las resistencias mecánicas a flexión y compresión de los cementos, objeto del Proyecto de Norma CEN (DOC. CEN/TC 51 N 141), basado en la Recomendación ISO/R 679-1968 coincide, en gran parte, con el descrito en el Pliego RC-75 presentando determinadas variaciones, las cuales quedan señaladas en el texto precedente.

Segunda

El método de ensayo tiene como fundamento la determinación de las resistencias a compresión y a flexión, siendo estas últimas facultativas, de probetas de mortero plástico de $40 \times 40 \times 160$ mm, preparadas mecánicamente a partir de una parte de cemento y tres de arena normal CEN, con una relación agua/cemento = 0,50.

Tercera

La aplicación del mencionado método, en el campo internacional, permite el empleo de arenas normales de diversa procedencia, es decir, de distintos países, o tipos diferentes y técnicas de compactación como variante, siempre que los resultados sean estadísticamente equivalentes a los obtenidos con la arena normal CEN de referencia, o con el método de compactación especificado, que utiliza la compactadora de choques.

Cuarta

El método de ensayo reseñado tiene dos objetivos y aplicaciones fundamentales para realizar: a) ensayos de control de calidad y b) ensayos de aceptación, bien para variantes de materiales (por ejemplo la arena) o bien para variantes de equipos (por ejemplo el equipo o el método de compactación).

Quinta

Los hechos señalados facilitan el campo internacional de aplicación del método de ensayo comentado, para determinar las resistencias mecánicas a flexión y compresión de los cementos, al poder emplear arenas distintas y dar entrada, como variante, a otros equipos o métodos de compactación.

5. BIBLIOGRAFIA

- (1) Pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos (RC-75): B.O.E. n.º 206, 18.197-18.213 (28 agosto 1975) y n.º 207, 18.299-18.311 (29 agosto 1975).
- (2) NF P15-301, December 1978: Liants Hydrauliques. Définitions, Classification et Specifications des Ciments.
- (3) Nueva Norma alemana para los cementos DIN 1164: Cemento-Hormigón 445, 315-317 (1971).
- (4) Recommendation ISO/R679-1968: Méthode d'essais mécaniques des ciments. Résistance à la compression et à la flexion du mortier plastique (Méthode RILEM-CEMBUREAU); 1.^{er} Edition (mars 1968).
- (5) Pliego de condiciones para la recepción de conglomerantes hidráulicos, P.C.C.H. 61: B.O.E. n.º 22 del 26 de enero de 1960 y n.º 187 del 5 de agosto de 1960. Normas y manuales del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento; Madrid 1961.
- (6) Anónimo: Cement Standards of the World Portland Cement and Its Derivations. Cembureau, Paris, 1968.
- (7) ANSI/ASTM C305-65, (Reapproved, 1975): Standard method for mechanical mixing of hydraulic cement pastes and mortars of plastic consistency.
- (8) ANSI/ASTM C348-77: Standard test method for flexural strength of hydraulic cement mortars.
- (9) ANSI/ASTM C109-77: Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using 2-in. or 50-mm cube specimens).
- (10) ANSI/ASTM C349-77: Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (Using portions of prisma sbroken in flexure).
- (11) WISCHERS, G.: Zur Normung von zement. Anmerkungen und erläuterungen zur neubearbeitung der deutschen zementnorm DIN 1164, Fassung Juni 1970; Beton 4, 147-150 (1971) y 5, 193-194 (1971). Normalización del cemento: Notas y explicaciones respecto a la reelaboración de la Norma alemana de cemento DIN 1164; redacción junio 1970. Materiales de Construcción, 145, 43-56 (1972) y 146, 67-83 (1972).
- (12) BOMBLED J. P.: Les essais interlaboratoires conduits par le CERILH. Rev. des Mat., 687, 103-112 (1974).
- (13) PELTIER, R.: Les nouvelles normes du ciment et les ciments de l'avenir. Ann. de l'Inst. du Bât. et des Trav. Pub., 24, 79-92 (1973).
- (14) CALLEJA, J.: Criterios sobre normas para cementos. ION, Vol. XXVII, 253-266 (1967).
- (15) DOC. CEN/TC 51 N 141 F. 1979-12-28: Méthode d'essai de résistance mécanique des ciments.