

## **Métodos de ensayo de cementos. Determinación de resistencias mecánicas.**

---

### **FUNDAMENTO.**

El método comprende la determinación de las resistencias a compresión, y opcionalmente a flexión, de probetas prismáticas de dimensiones 40 mm x 40 mm x 160 mm. Las probetas se fabrican con un mortero plástico, compuesto de una parte en masa de cemento, tres partes en masa de arena normalizada CEN, y media parte de agua (relación agua/cemento de 0,50).

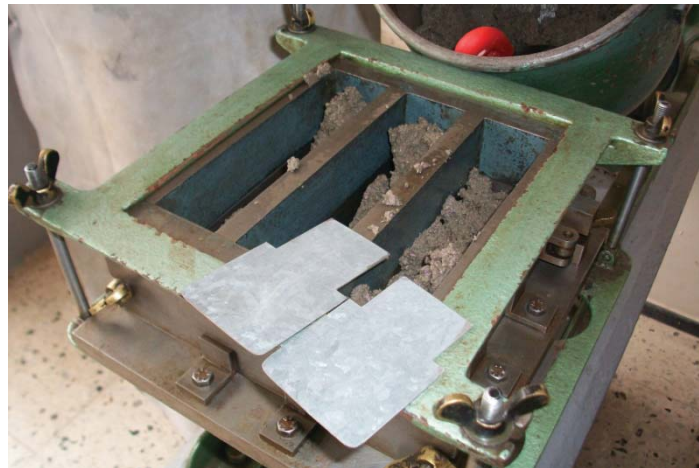
### **MATERIAL Y EQUIPOS**

En el procedimiento de referencia, el mortero se prepara por amasado mecánico y se compacta en un molde utilizando una compactadora. Entre otros materiales es necesario disponer de:

- *Amasadora.* Debe constar esencialmente de un recipiente de acero inoxidable de una capacidad aproximada de 5 l y una pala de acero inoxidable accionada por un motor eléctrico de velocidades controladas, con movimientos de rotación sobre su propio eje, y con un movimiento planetario alrededor del eje del recipiente. Los dos

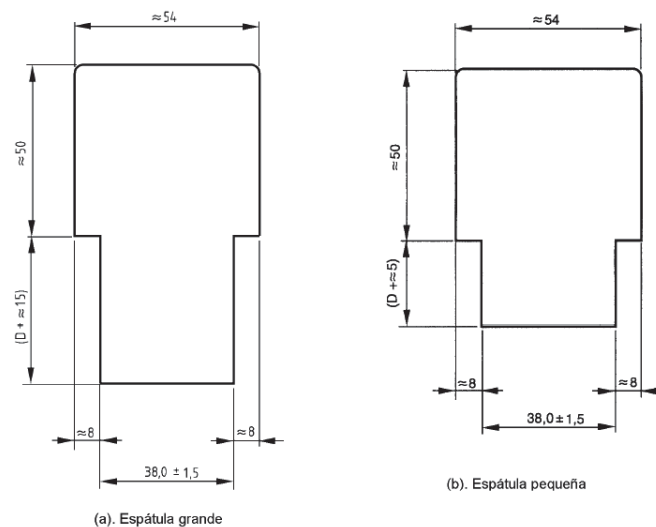
sentidos de rotación deben ser opuestos, y la relación entre las dos velocidades no debe ser un número entero.

- *Moldes* de tres compartimentos horizontales, de forma que se puedan preparar simultáneamente tres probetas prismáticas de 40 mm x 40 mm de sección transversal y 160 mm de longitud.



**Figura.** Moldes y espátulas sobre la compactadora

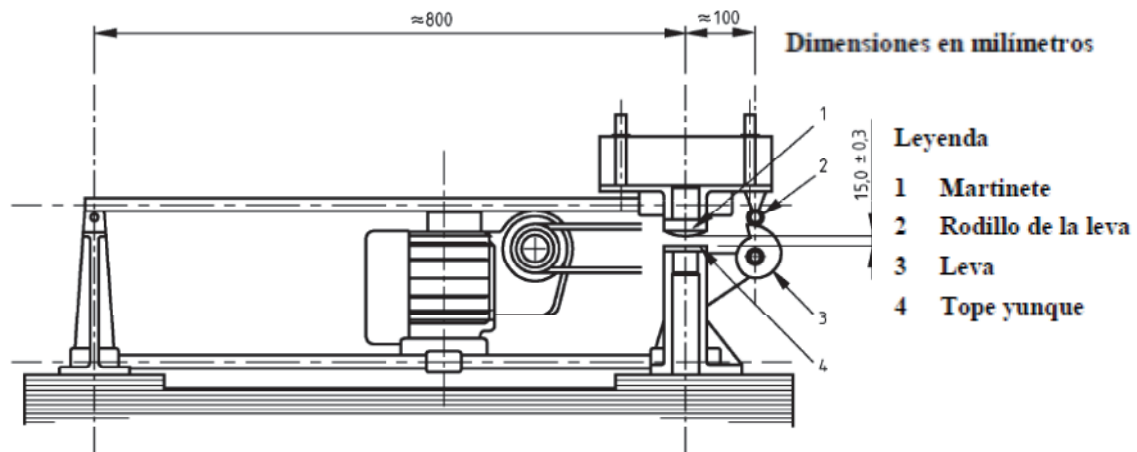
*Espátulas y una regla metálica para extender y enrasar el mortero.*



**Figura.** Espátulas (UNE-EN 196-1)

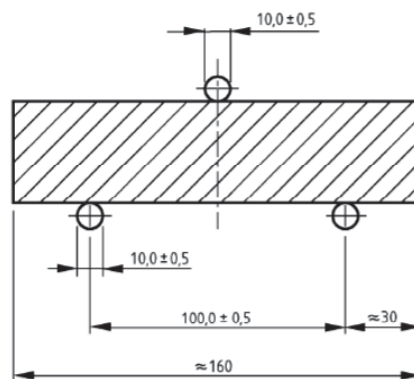
- *Compactadora.* Se compone esencialmente de una mesa rectangular unida rígidamente por dos brazos ligeros a un eje de rotación, que dista 800 mm del

centro de la mesa. La mesa debe estar provista, en el centro de su cara inferior, de un martinete de superficie redondeada. Debajo del martinete debe existir un pequeño yunque, cuya cara superior sea plana. En su funcionamiento, la mesa es levantada por una leva que le permite una caída libre desde una altura de  $(15,0 \pm 0,3)$  mm, entre el martinete y el yunque. Se dispondrá de un mecanismo de control y un contador para asegurar una compactación exacta de 60 golpes en  $(60 \pm 3)$  s.



*Figura. Compactadora (UNE-EN 196-1)*

- *Máquina de ensayo para resistencia a flexión.* La máquina debe estar provista de un dispositivo de flexión que incorpore dos rodillos de apoyo de acero de  $(10,0 \pm 0,5)$  mm de diámetro, distantes uno del otro  $(100,0 \pm 0,5)$  mm, y un tercer rodillo de carga de acero del mismo diámetro que los anteriores y equidistante de los otros dos. La longitud de estos rodillos debe estar comprendida entre 45 mm y 50 mm.



*Figura. Vista frontal del dispositivo de carga para la determinación de la resistencia a flexión (UNE-EN 196-1)*

- *Máquina de ensayo para la resistencia a compresión.* Debe estar provista de platos deben ser como mínimo de 10 mm de espesor, de  $(40,0 \pm 0,1)$  mm de anchura y  $(40,0 \pm 0,1)$  mm de longitud.

- *Arena de referencia CEN.* Es una arena natural, silíceas, de granos redondeados, y cuyo contenido en sílice es al menos del 98%. Su distribución granulométrica está comprendida entre los límites definidos en la figura siguiente:



Dimensiones de la malla cuadrada (mm)	2,00	1,60	1,00	0,50	0,16	0,08
Residuo acumulado sobre tamices (%)	0	7±5	33±5	67±5	87±5	99±1

*Figura. Distribución granulométrica de la arena de referencia CEN (UNE-EN 196-1)*

- *Cemento a ensayar y agua.* Para los ensayos de validación se debe utilizar agua destilada, o desionizada. Para otros ensayos se puede utilizar agua potable. En caso de litigio se debe emplear agua destilada o desionizada.

## PROCEDIMIENTO

### Preparación del mortero

La composición en masa debe ser 1 parte de cemento, 3 partes de arena normalizada CEN y 1/2 parte de agua (relación agua/cemento 0,50). Cada amasada para tres probetas debe estar compuesta de  $(450 \pm 2)$  g de cemento,  $(1\ 350 \pm 5)$  g de arena y  $(225 \pm 1)$  g. de agua. El procedimiento de amasado debe ser el siguiente:

- Se vierte el agua y el cemento dentro del recipiente, teniendo cuidado para evitar pérdidas de agua o de cemento;
- Inmediatamente después de entrar en contacto el agua y el cemento, se pone en marcha la amasadora a velocidad lenta, iniciándose los tiempos de amasado.

Adicionalmente se registra el tiempo, al minuto más cercano, como tiempo cero (referencia a partir de la cual se calculan los tiempos de desmoldeado de las probetas y para la determinación de la resistencia). Después de 30s de amasado, se añade regularmente la arena durante los 30s siguientes. Se pone la amasadora a la velocidad rápida y se continúa el amasado durante otros 30s.

- Se para la amasadora durante 90 s. En los primeros 30 s, se retira por medio de una espátula de goma o de plástico todo el mortero adherido a las paredes laterales y al fondo del recipiente y se coloca en el centro de la amasadora.
- Se continúa el amasado a velocidad rápida durante 60 s.

### **Preparación de las probetas de ensayo**

Las probetas deben ser prismáticas de 40 mm x 40 mm x 160 mm. Se enmoldan las probetas inmediatamente después de la preparación del mortero. Con el molde y la tolva firmemente unidos a la mesa de la compactadora, se introduce el mortero directamente de la cubeta de la amasadora, en una o varias veces. La primera de las dos capas de mortero (cada una aproximadamente de 300 g) en cada compartimento del molde se extiende uniformemente utilizando la espátula grande que se pasa a lo largo de cada compartimento del molde, hacia delante y hacia atrás.

A continuación se compacta la primera capa de mortero con 60 golpes con la compactadora. Posteriormente se introduce la segunda capa de mortero, asegurándose de que hay excedente de mortero, se iguala con la espátula pequeña y se compacta la capa con otros 60 golpes.

Finalizada la compactación, se retira con precaución el molde de la mesa de sacudidas y se separa la tolva. Inmediatamente, se quita el exceso de mortero con la regla plana manteniéndola casi vertical pero inclinada en la dirección del movimiento, con lentos movimientos transversales de sierra, una vez en cada dirección. Se repite este procedimiento con la regla plana mantenida a un ángulo más agudo para alisar la superficie y se quita el mortero que quede en el perímetro del molde como consecuencia del enrasado.

### **Acondicionamiento de las probetas**

#### *Conservación antes de desmoldear.*

Se coloca sobre el molde una lámina de vidrio de aproximadamente 210 mm x 185 mm x 6 mm de espesor (se puede utilizar una chapa de acero o de otro material impermeable que no reaccione con el cemento).

Sin pérdida de tiempo, se coloca cada molde cubierto sobre una superficie horizontal, en la cámara o armario húmedo. El aire húmedo debe tener acceso a todos los lados del molde. Los moldes no se deben apilar uno sobre otro. Cada molde se debe sacar de la cámara húmeda a la hora prevista para el desmoldeo.

#### *Desmoldeado de las probetas*

Se lleva a cabo el desmoldeado sin dañar las probetas. Para el desmoldeado se pueden utilizar martillos de plástico o de goma, o bien otros utensilios especiales. Para los ensayos a 24 h, el desmoldeado se realizará, como máximo, 20 min antes de que las probetas vayan a ser ensayadas. Para los ensayos a edades superiores a 24 h, el desmoldeado se realizará entre 20 h y 24 h después del enmoldado.

#### *Curado de las probetas en agua*

Se sumergen rápidamente las probetas marcadas colocadas horizontal o verticalmente, en agua a  $(20,0 \pm 1,0)$  °C en los depósitos. Si el almacenamiento es horizontal, se deben mantener verticales las caras que en el molde eran verticales.

Se colocan las probetas sobre emparrillados y se mantienen separadas unas de otras, de forma que el agua tenga libre acceso a las seis caras de las probetas. En ningún momento durante la conservación, la separación entre probetas y la lámina de agua sobre la cara superior de las mismas, debe ser menor que 5 mm.

Las probetas que deben ensayarse a una edad determinada (distinta de 24h, o 48h en caso de retraso en el desmoldeado), deberán sacarse del agua como máximo 15 min antes de la realización del ensayo. Se quita cualquier sedimento que se haya depositado en las caras del ensayo. Se cubren las probetas con un trapo húmedo hasta el momento del ensayo.

#### *Edad de las probetas para los ensayos de resistencias mecánicas*

Se calcula la edad de las probetas desde el “tiempo cero”. Se realizarán ensayos de resistencia a diferentes edades dentro de los siguientes límites:

- 24 h  $\pm$  15 min;
- 48 h  $\pm$  30 min;
- 72 h  $\pm$  45 min;
- 7 d  $\pm$  2 h;
- $\geq$  28 d  $\pm$  8 h.

## **RESISTENCIA A FLEXIÓN**

Se coloca el prisma en la máquina de ensayo con una cara lateral sobre los rodillos soporte y con su eje longitudinal normal a los soportes. Se aplica la carga verticalmente

mediante los rodillos de carga sobre la cara lateral opuesta del prisma y se incrementa uniformemente, a una velocidad de  $(50 \pm 10)$  N/s hasta rotura.

Se mantienen las mitades del prisma cubiertas con un paño húmedo hasta el ensayo de compresión. La resistencia a flexión,  $R_f$ , se calcula en megapascales, mediante la siguiente fórmula:

$$R_f = \frac{1,5 \times F_f \times l}{b^3}$$

donde:

$R_f$  es la resistencia a flexión (en megapascales);

$b$  es el lado de la sección cuadrada del prisma (en milímetros);

$F_f$  es la carga aplicada en la mitad del prisma en la rotura (en newtons);

$l$  es la distancia entre soportes (en milímetros).



*Figura. Rotura a flexión*

## RESISTENCIA A COMPRESIÓN

Se ensayan los semiprismas rotos anteriormente a flexión cargando sus caras laterales. Cada semiprima se centra lateralmente con relación a los platos de la máquina y longitudinalmente de forma que la base del prisma no sobresalga de los platos o placas auxiliares. Se aumenta la carga uniformemente a una velocidad de  $(2400 \pm 200)$  N/s durante todo el tiempo de aplicación de la carga hasta la rotura.

Cuando el incremento de carga se regula a mano, se debería tener cuidado al ajustar la disminución de la velocidad de carga cerca de la carga de rotura, ya que puede afectar significativamente al resultado.

Se calcula la resistencia a compresión  $R_c$  (en megapascales) mediante la fórmula siguiente:

$$R_c = \frac{F_c}{1\ 600}$$



donde

$R_c$  es la resistencia a compresión (en megapascales);

$F_c$  es la carga máxima de rotura (en newtons);

$1600 = 40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ , es la superficie de los platos o placas auxiliares (en  $\text{mm}^2$ ).



*Figura. Rotura a compresión*

## RESULTADOS

### *Resistencia a flexión*

La resistencia a flexión se calcula como la media aritmética de los tres resultados individuales, expresados, cada uno de ellos, redondeados al 0,1 MPa más cercano, y obtenidos de la determinación realizada sobre un conjunto de tres probetas. Se expresa la media aritmética redondeada al 0,1 MPa más cercano.

### *Resistencia a compresión*

Se calcula el resultado del ensayo de resistencia a compresión como la media aritmética de los seis resultados individuales, expresados, cada uno, redondeados al 0,1 MPa más cercano, obtenidos de las seis determinaciones realizadas sobre un conjunto de tres probetas.

Si uno de los resultados de las seis determinaciones varía en más de  $\pm 10\%$  respecto a la media, se descarta este resultado y se calcula la media aritmética de los cinco resultados restantes. Si uno de los resultados de los cinco resultados restantes varía en más de  $\pm 10\%$  respecto a su media, se descarta la totalidad de los resultados y se repite la determinación.

Se expresa la media aritmética redondeada al 0,1 MPa más cercano.



**ACTIVIDADES PROPUESTAS**

1. Determinar la resistencia a flexión de las probetas ensayadas

Nº probeta flexión	Carga de rotura (N)	Resistencia a flexión (MPa)	Media aritmética de la resistencia a flexión (MPa)
1			
2			
3			

2. Determinar la resistencia a compresión de las probetas ensayadas

Nº probeta flexión	Nº probeta	Carga de rotura (N)	Resistencia a compresión (MPa)	Media aritmética de la resistencia a compresión (MPa)	Valor de la resistencia un 10 % mayor a la media	Valor de la resistencia un 10 % menor a la media
1	1A					
	1B					
2	2A					
	2B					
3	3A					
	3B					

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] *UNE-EN 196-1*. Métodos de ensayo de cementos. Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas.
- [2] *González, E. y Alloza, A.M. (2011)*. Vídeos de prácticas (I) de Materiales de Construcción.