

## PREPARACIÓN DE PROBETAS PRISMÁTICAS Y ENSAYO DE FLEXIÓN

### INTRODUCCIÓN

Si bien el hormigón se utiliza principalmente para soportar solicitaciones de compresión, la resistencia a la tracción tiene relevancia en diversas aplicaciones. Ejemplos de éstas son los pavimentos de hormigón, las estructuras de hormigón con riesgo de fisuración por contracción térmica o secado, y la estimación de la capacidad de deformación en grandes masas de hormigón.

Por otro lado, los esfuerzos de tracción son los responsables de la generación de fisuras, aún en solicitaciones de compresión. Esto ocurre porque siempre que una pieza se somete a una carga compresiva en alguna dimensión, tiende a traccionarse en otra, como consecuencia de la deformación sufrida.



**Figura 1.** Máquina de ensayo para la determinación de resistencia a la tracción por flexión.

En este sentido, los agregados afectan este mecanismo de dos maneras contrapuestas: por un lado, proporcionan una mayor cantidad de interfaces, aumentando los focos de iniciación y propagación de fisuras; por el otro condicionan esta propagación a través de la matriz, lo que puede incrementar la capacidad de carga. La intensidad de cada uno de estos efectos depende, entre otras cosas, de la cantidad y el tipo de agregados empleados, de la resistencia del mortero y del tipo de solicitación.

Otros factores afectan también a las propiedades resistivas del hormigón, tales como la relación agua-cemento, las condiciones de curado, la edad y las proporciones de la mezcla; sin embargo, la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión no se modifican de la misma manera. Es por esto que, si bien ambas están íntimamente relacionadas, para cada hormigón existe una relación diferente. La determinación de esta relación en laboratorio, permite realizar el control de calidad del hormigón en obra mediante el ensayo de compresión, el cual requiere menos cuidados y presenta menor variabilidad que los ensayos de tracción.

Debido a su importancia en el diseño de pavimentos de hormigón, este documento tiene como objetivo dar a conocer el método de preparación de probetas prismáticas para el ensayo de flexión y el modo de realización de dicho ensayo, así como ofrecer recomendaciones para la puesta en práctica de dichas tareas. El dispositivo utilizado para dicho ensayo puede apreciarse en la **Figura 1**.

### MARCO NORMATIVO

En nuestro país, las normas IRAM establecen los procedimientos estandarizados de ensayo, así como los requisitos de aptitud cuando corresponde su aplicación. Las normas que deben tenerse en cuenta para la preparación de probetas prismáticas y ensayo de flexión son:

- **IRAM 1541:1991** Hormigón de cemento Portland.

Hormigón fresco. Muestreo.

- IRAM 1547:1992 Hormigón de Cemento Portland. Ensayo de tracción por flexión.
- IRAM 1551:2000 Hormigón de Cemento Portland. Extracción, preparación y ensayo de testigos de hormigón endurecido.
- IRAM 1672:1970 Hormigones. Preparación y curado en laboratorio de probetas para ensayo de flexión.
- IRAM 1680:1971 Hormigones. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de flexión.
- IRAM-IAS U 500-108 Máquinas para ensayo de tracción. Métodos de verificación.

## MÉTODOS DE EVALUACION DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Existen 3 formas admitidas para la evaluación de la resistencia a la tracción:

- Tracción directa.
- Tracción por compresión diametral.
- Tracción por flexión.

Sin embargo, el método de mayor aplicación es el de flexión, debido principalmente a su facilidad de aplicación y a su mayor representatividad de las solicitaciones que se presentan en pavimentos de hormigón.

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga transversal en los tercios de la luz de una probeta de hormigón apoyada en sus extremos, hasta que se quiebre (Ver Figura 2). Luego se calcula el módulo de rotura como el máximo momento flector dividido el módulo resistente de la sección.

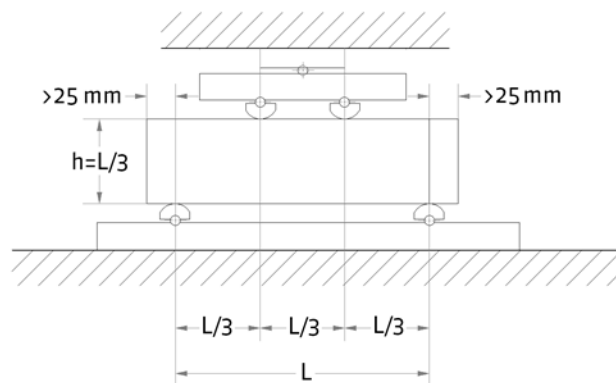


Figura 2. Esquema representativo del dispositivo de ensayo de flexión en tercios.

La principal desventaja de este ensayo es su alto grado de variación, motivo por el cual no suele realizarse en obra. Por lo contrario, se suele establecer en laboratorio, para cada hormigón empleado, la relación empírica entre ambas resistencias, y luego ensayar en obra únicamente la resistencia a la compresión.

Es importante destacar que el método seleccionado para medir esta propiedad resultará determinante en el valor obtenido. En la **Tabla 1** se muestran los valores típicos de resistencia a la tracción, obtenidos mediante los diferentes métodos de ensayo, como porcentaje de la resistencia a la compresión.

Tabla 1. Valores típicos de resistencia a la tracción del hormigón, para los distintos métodos de ensayo, en función de la resistencia a la compresión.

Método de ensayo	Resistencia a la tracción (% de resistencia a la compresión)
Tracción directa	6 – 11
Tracción por compresión diametral	8 – 15
Flexión en tercios	12 – 20
Flexión en tres puntos	15 – 24

## INSTRUMENTAL NECESARIO

### MOLDEO

- **Molde prismático** de 150x150x500 mm en ángulos rectos, de material no absorbente, no atacable por los componentes del hormigón y lo suficientemente resistente como para mantener su forma durante toda la operación de moldeo.

**Nota 1** Este molde permite el moldeo de hormigones con tamaño máximo nominal del agregado de hasta 50 mm. Para tamaños mayores, se deben mantener la proporción  $d \times d \times (d+50 \text{ mm})$  donde  $d$  debe ser, como mínimo, 3 veces el tamaño máximo nominal del agregado.

- **Varilla de compactación** recta, de acero, de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con una de sus terminaciones en forma de semiesfera de igual radio que el resto de la varilla.
- **Vibrador**, con una frecuencia de vibración mayor a 7000 rpm si actúa en forma externa (p.e. mesas vibratorias), o mayor a 3600 rpm para los vibradores internos (p.e. vibradores de aguja o de inmersión). En este último caso, la aguja debe tener un diámetro de entre 20 y 40 mm y una longitud de por lo menos 600 mm. Cuando se trate de una mesa vibratoria debe poder asegurarse el moldeo al vibrador.
- **Tanques de curado** que aseguren las mismas condiciones de curado del hormigón que se desea estudiar.
- **Cuchara** para transferir el hormigón desde el recipiente de mezclado al molde
- **Maza de madera**, para cerrar los huecos que hayan podido quedar luego de finalizada la compactación de cada capa.

### ENSAYO DE FLEXIÓN

- **Máquina de ensayo** como la que se muestra en la Figura 2, que cumpla con los siguientes requisitos:
  - × La distancia entre apoyos y puntos de aplicación de carga debe permanecer constante durante todo el ensayo.

- × La carga debe ser aplicada de forma perpendicular a la superficie de la probeta.
- × La dirección de las reacciones (de los apoyos) debe mantenerse paralela a la dirección de carga durante todo el ensayo
- × La carga debe ser aplicada en forma gradual y uniforme, evitando cualquier movimiento brusco
- × La distancia entre los apoyos y los puntos de aplicación de la carga debe ser mayor a la altura de la probeta.
- × El error máximo del equipo debe ser menor al 1% de la carga aplicada.

**Nota 2** La máquina de ensayo debe ser verificada de acuerdo a la norma IRAM IAS U 500-108, por lo menos una vez al año y siempre que se sospeche de algún error o luego de someterla a una reparación.

## PREPARACIÓN DE PROBETAS

### MOLDEO

Armarse el molde, sellando las juntas de ser necesario, y aceitar las caras internas del mismo con una fina película de aceite mineral. El moldeo debe realizarse de forma que la longitud de la probeta fabricada sea paralela a la mesada de trabajo, tal como se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Moldeo de probetas prismáticas.

Llenar el molde en dos capas similares, varillando una vez por cada 15 cm<sup>2</sup> de superficie descubierta. Para mezclas viscosas (asentamiento menor a 8 cm), la compactación puede realizarse por vibración. Para el caso de vibradores internos, se debe insertar el elemento vibrante de manera perpendicular a la superficie expuesta, en puntos separados entre sí por una distancia de  $(14 \pm 1)$  cm, a lo largo de toda la longitud de la probeta.

**Nota 3** Guardar cuidado de no poner en contacto el elemento vibrante con las caras del molde.

De utilizarse un vibrador externo, se deben tomar las precauciones apropiadas para sujetar el molde al aparato.

Finalmente se enraza la superficie expuesta y se coloca inmediatamente sobre ella un elemento que impida la evaporación del agua contenida, tal como una baldosa, un vidrio, o dos capas de arpillera húmeda.

### **CURADO**

Una vez llenados los moldes, deben protegerse de la evaporación, cubriéndolos con un material impermeable, y mantener la temperatura en  $(21 \pm 6)$  °C, durante 24 h.

Pasado este tiempo, las probetas pueden ser desmoldadas y colocadas en los tanques de curado.

Las probetas deben mantenerse en un ambiente controlado de curado hasta el momento de ser ensayadas.

En el caso de probetas moldeadas en obra (**Figura 3**) para comprobar la calidad del hormigón el desmolde puede realizarse pasadas  $(34 \pm 14)$  h a partir del moldeo. En este momento se debe colocar la identificación y el lugar de extracción de la muestra, sobre uno de sus laterales, evitando dañar la superficie.

Luego se estacionan las probetas en un ambiente controlado a  $(20 \pm 1)$  °C, donde todas las caras de las mismas estén constantemente mojadas.

**Nota 4** Se debe evitar el goteo y cualquier movimiento de agua sobre la superficie de las probetas durante todo el tiempo de curado.

Si las probetas fueran a ensayarse para determinar el momento de puesta en servicio de la construcción, se debe tener en cuenta que el desmolde puede realizarse a partir de las  $(48 \pm 4)$  h. Luego, las probetas representativas de pavimentos y lozas se deben almacenar cerca del lugar de ensayo, en la misma posición en la que fueron moldeadas y con sus costados cubiertos con tierra o arena húmedas, con la superficie superior en las mismas condiciones de curado de la construcción a la cual representan. En el caso de probetas representativas de hormigón estructural, dicho almacenamiento debe realizarse en la estructura, en las mismas condiciones ambientales y tan cerca como sea posible del lugar de extracción de la muestra.

**Nota 5** En todo caso, se debe evitar el secado de la superficie de la probeta entre el momento de su extracción del ambiente de curado y el ensayo. El contenido de humedad del espécimen tiene un gran efecto sobre los resultados del ensayo.

Un espécimen saturado presenta una mayor resistencia a flexión que si estuviera en condición seca. Esto debe ser tenido en cuenta al comparar los resultados de ensayo de diferentes especímenes.

Para el caso de probetas curadas en cámara húmeda o sumergidas en agua, el ensayo debe realizarse inmediatamente luego de retirarlas de dichos ambientes, no debiendo exceder las 3hs de espera entre la remoción de las probetas y el inicio del ensayo.



Figura 4. Moldeo de probetas prismáticas en obra.

### TRANSPORTE

En caso de ser imposible realizar el moldeo y el curado en el lugar de ensayo, las probetas pueden ser transportadas al laboratorio tomando los recaudos necesarios para evitar dañarlas. A tal fin, se recomienda envolverlas con una capa gruesa de arena, aserrín o arpillera, con la correspondiente humedad requerida, y colocarlas en envases herméticamente cerrados.

### ENSAYO DE TRACCIÓN POR FLEXIÓN

Colocar la probeta sobre los apoyos, con su dimensión mayor paralela a la mesa de ensayo. En el caso de probetas moldeadas, utilizar como superficies de contacto con los apoyos, aquel par de caras enfrentadas que haya sido moldeado por el contacto con la pared del molde. Esto permitirá utilizar superficies suaves, planas y paralelas entre sí. Cuando esto no sea posible, o en el caso de tratarse de testigos con caras irregulares, los especímenes deben ser pulidos o encabezados para conseguir superficies con las características deseadas.

Una vez colocada la probeta, aplicar la carga a una velocidad de entre 860 kPa y 1000 kPa/min, hasta que se rompa, y registrar la máxima carga aplicada.

Luego se debe medir el ancho y la altura promedios en la sección de fractura, asegurando 1 mm.

**Nota 6** La fractura debe producirse dentro del tercio medio de la luz, de lo contrario, el ensayo debe ser descartado.

Finalmente se calcula el módulo de rotura MR (Pa) como:

$$MR = \frac{Q * L}{100 * b * h^2}$$

Donde,

Q = carga máxima registrada hasta rotura (N)

L = luz entre apoyos (cm)

b = ancho medio del espécimen (cm)

h = altura media del espécimen (cm)

**Nota 7** El peso de la probeta no debe considerarse en el cálculo.

### INFORME

El informe de ensayo de incluir la siguiente información:

- Identificación del espécimen.
- Edad del espécimen ensayado.
- Ancho promedio (perpendicular al sentido de aplicación de la carga) del espécimen con aproximación de 1 mm.
- Altura promedio (paralela al sentido de aplicación de la carga) con aproximación de 1 mm.
- Luz entre apoyo con aproximación de 1 mm.
- Carga máxima.
- Módulo de rotura obtenido.
- Defectos o anomalías encontradas en el espécimen ensayado.



Líderes en  
Innovación y  
Transferencia  
Tecnológica

INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND ARGENTINO  
San Martín 1137, 1er piso (C1004AAW)  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires,  
Argentina  
[www.icpa.org.ar](http://www.icpa.org.ar)