

Ensayos del hormigón

Generalidades y clasificación

El ensayo del hormigón se realiza en sus dos estados; fresco para conocer sus características y endurecido para determinar sus cualidades y resistencia. El comportamiento de un hormigón frente a los distintos esfuerzos es variable y complejo.

Clasificación:

1) Según su naturaleza:

Destructivos: determinan la resistencia mediante la rotura de probetas o piezas de hormigón.

No destructivos: determinan la calidad sin destruir la estructura.

2) Según su finalidad:

Ensayos previos: determinan la dosificación del material de acuerdo con las condiciones de ejecución. Se realizan antes de comenzar las obras.

Ensayos característicos: comprueban que la resistencia y dispersión del hormigón en obra se encuentran dentro de los límites del proyecto.

Ensayos de control: con probetas moldeadas en obra para comprobar que la resistencia del hormigón se mantiene igual o mayor que la exigida.

Ensayos de información: pretenden conocer la resistencia del hormigón correspondiente a una parte de la obra y a una edad determinada.

Ensayos del hormigón fresco

• Toma de muestras del hormigón fresco.

. Las muestras han de ser representativas y de volumen 1,25 – 1,50 veces el volumen de las probetas.

. En camiones hormigonera tenemos que vigilar la segregación y tomar una muestra uniforme del contenido de la hormigonera.

. Para comprobar la homogeneidad de un vertido; las muestras se tomarán a $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{4}$ de la descarga y entre estos para los distintos ensayos.

. Cuando no se puedan tomar muestras durante la descarga, tomaremos 5 porciones aleatorias de la descarga completa, no cercanas a los bordes donde puede haberse producido segregación.

. La muestra debe protegerse del sol, lluvia, viento y desecación, y no exceder los 15 min antes de su utilización.

- *Ensayos de consistencia.*

% Cono de Abrams:

. Se utiliza un molde sin fondo de forma troncocónica, provisto de dos asas para manipularlo, con unas dimensiones interiores específicas.

. Se coloca el molde sobre una superficie plana, rígida e impermeable. Se humedece el interior del molde y la superficie. Se introduce el hormigón y enrasa la superficie.

. Se desmoldea inmediatamente, levantando el cono despacio y en dirección vertical sin sacudidas y medimos el punto más alto de la masa asentada.

. El ensayo no se aplica con áridos > 40 mm.

% Mesa de sacudidas:

. Se realizan las mismas operaciones que con el Cono de Abrams pero situando el molde sobre una mesa limpia que lo somete a 16 sacudidas o golpes en caída libre.

. La consistencia se expresa en % de aumento del diámetro de la base inferior del cono.

% Consistómetro Vebe:

. Trata de medir en segundos el tiempo que tarda el hormigón en extenderse totalmente sobre una placa de vidrio con la ayuda de una mesa vibrante.

. Si el resultado es inferior a 5 segundos, el ensayo es poco significativo.

- *Determinación de la densidad.*

. Se utiliza un molde rígido que se rellena y compacta. Se determina la masa de hormigón restando, de la masa total, la del molde. Dividiendo por el volumen del molde se obtiene la densidad.

- *Contenido de aire ocluido:*

. Consiste en determinar la deformación elástica que experimenta el hormigón fresco bajo una presión dada y en condiciones definidas, y compararla con la de un volumen conocido de aire sometido a la misma presión.

Ensayos mecánicos mediante probetas enmoldadas.

- *Definición de las probetas y moldes:*

. La forma y dimensiones de las probetas deben ser proporcionales al tamaño del árido.

. Los moldes deben ser rígidos y no absorbentes. Se untan con aceite mineral o otra sustancia que no ataque al

cemento y evite la adherencia.

- *Preparación de las probetas:*

. Si el asiento en el Cono de Abrams < 4 cm Compactación por vibrado

" 4 cm Compactación por picado

. Una vez compactado el hormigón debe ser enrasada con pasta de cemento la parte superior de la probeta.

. Las probetas se manipularán lo mínimo posible y se cubrirán para evitar la desecación.

- *Conservación:*

. Hemos de tener mucho cuidado en el transporte y conservación y se debe hacer en un lugar adecuado, con una humedad y temperatura determinados.

. Cuando se trata de hormigón en obra debe conservarse con unas condiciones lo más parecidas a las de la estructura de ensayo.

- *Refrentado de las probetas cilíndricas con mortero de azufre:*

. Las caras planas de probetas destinadas a rotura por compresión con imperfecciones deben ser refrentadas mediante un tratamiento térmico, con una mezcla de azufre, arena y eventualmente un fundente.

- *Métodos de ensayo de probetas de hormigón:*

. Durante el ensayo la carga debe aplicarse de una manera continua y sin saltos.

. Las dimensiones de las probetas deben medirse con un error < 1 mm.

. Las superficies de los platos no han de presentar.

. El diámetro de la esfera de rotura no debe ser $>>$ que la dimensión de la probeta, y el centro de la esfera debe estar situado en la vertical de centro de la carga.

- *Método de ensayo a compresión:*

. Se limpiaran tanto la superficies de carga de los dos platos como las caras de la probeta.

. Los cubos deben ensayarse sobre las caras laterales que corresponden al molde.

. La carga debe aplicarse de una manera continua sin saltos y a una velocidad constante.

. No debe introducirse ninguna corrección a los mandos de la maquina de ensayo cuando la probeta se deforma rápidamente momentos antes de la rotura.

- *Método de ensayo a flexotracción:*

. Las probetas se rompen a flexión mediante la aplicación de dos cargas iguales y simétricas. Las probetas se apoyan y reciben la carga sobre las dos caras laterales que estuvieron en contacto con el molde.

. La resistencia a flexotracción se calcula:

M = momento de rotura

W = módulo resistente a flexión

F = carga total aplicada

• *Método de ensayo a tracción indirecta:*

. Consiste en la rotura de la probeta, generalmente cilíndrica, mediante la aplicación de una carga de compresión en dos generatrices diametralmente opuestas.

. La resistencia a tracción indirecta se calcula:

F = carga de rotura

A = diámetro de la probeta

L = longitud de la probeta

Equivalencia entre los distintos ensayos mecánicos de probetas enmoldadas

Para un hormigón determinado que se este fabricando bajo las mismas condiciones esenciales puede determinarse mediante ensayos un coeficiente de equivalencia.

• *Equivalencia entre distintas formas de probetas:*

. Para la utilización de la tabla posterior citamos un ejemplo;

En los ensayos de resistencia a compresión, cuando se utilizan probetas diferentes de la cilíndrica 15x30, los resultados deben multiplicarse por el coeficiente de conversión dado en la tabla 6.1 para obtener el valor que correspondería a la probeta cilíndrica 15x30.

Tabla 6.1: coeficientes de conversión respecto a la probeta cilíndrica de 15 x 30 cm

Tipo de probeta (Con caras refrentadas)	Dimensiones (cm)	Coeficiente de conversión		Valores límites	Medio
Cilindro	15x30		1.00		
Cilindro	10x20	0.94 a 1.00	0.97		
Cilindro	25x50	• a 1.10	1.05		
Cubo	10	0.70 a 0.90	0.80		
Cubo	15	0.70 a 0.90	0.80		
Cubo	20	0.75 a 0.90	0.83		
		0.80 a 1.00			

Cubo	30	0.90 a 1.20	0.90
Prisma	15x15x45	0.90 a 1.20	1.05
Prisma	20x20x60		1.05

• *Equivalencia entre distintas edades:*

.a) En los ensayos de resistencia a compresión puede admitirse que la relación entre la resistencia a j días de edad y la de 28 días, es la dada en la tabla 6.3.

Tabla 6.2: coeficientes de conversión respecto al ensayo brasileño en probeta de 15 x 30 cm

Tipo de ensayo	Tipo de probeta y dimensiones (cm)	Coeficiente de conversión		Valores límite	Valor medio
Ensayo brasileño	Cilindro 15 x 30		1.00		
	Cubo de 15 x 20	0.91 – 1.16	1.03		
Ensayo de reflexión con cargas a los tercios de la luz	Prisma de 10 x 10	0.55 – 0.67	0.61		
	Prisma de 15 x 15	0.61 – 0.74	0.67		
Ensayo de reflexión con carga de entrada	Prisma de 10 x 10	0.53 – 0.61	0.57		
	Prisma de 15 x 15	0.54 – 0.64	0.59		
Tracción directa sobre probetas de esbeltez >2	Prisma de 15 x 15				
	Cilindro $\varnothing = 15$	0.88 – 1.32	1.10		

Tabla 6.3: valores de la relación f_{cj}/f_{c28}

Edad de hormigón, en días	3	7	28	90	360
Cemento Portland normal	0.40	0.65	1.00	1.20	1.35
Cemento Portland de alta resistencia inicial	0.55	0.75	1.00	1.15	1.20

. b) En los ensayos de resistencia a tracción , la relación citada puede tomarse de la tabla 6.4.

Tabla 6.4: coeficientes de conversión respecto a 28 día de edad, en lo ensayos de resistencia a tracción.

Edad de hormigón en días	3	7	28	90
Tracción directa	0.58	0.74	1.00	1.22
Ensayo brasileño	0.65	0.78	1.00	1.08
Ensayo de flexotracción	0.58	0.75	1.00	1.20

• *Equivalencias entre distintas resistencias:*

. entre las distintas resistencia a tracción y la resistencia a compresión pueden establecerse unas relaciones

medias de tipo orientativo.

A su vez, las distintas resistencias a tracción están ligadas entre sí según se indica en la tabla 6.2

Extracción y ensayo de probetas testigo

- *Generalidades:*

. Cuando sea necesario determinar la resistencia del hormigón correspondiente a una obra ya ejecutada, pueden obtenerse probetas talladas directamente de la obra.

. Las probetas se extraen mediante perforadoras tubulares, con las que se obtienen testigos cilíndricos cuyas caras extremas se cortan posteriormente con disco. Cuando se trata de pilares, conviene muestrear en el tercio superior de los mismos.

. El pacómetro es el detector magnético de armaduras, aplicado a la superficie del hormigón permite localizar la presencia y el trazado de las armaduras hasta profundidades del orden de los 10 cm.

- *Dimensiones de las probetas:*

. Las probetas cilíndricas destinadas al ensayo de compresión tendrán un diámetro " 10 cm y su altura como mínimo el doble del diámetro. El diámetro no debe ser inferior al triple del tamaño máximo del árido.

. es conveniente que las probetas no se extraigan antes de los 28 días. Sus bases de ensayo no deben tener irregularidades grandes y deben ser perpendiculares al eje de la probeta.

- *Preparación y conservación de las probetas:*

. En el caso en que la obra o estructura de la que se han extraído las probetas vaya a estar sometido a humedad continuamente, o a saturación de agua, las probetas talladas y refrentadas deben mantenerse antes del ensayo durante 40 a 48 horas en agua.

- *Evaluación de la resistencia:*

. La influencia de la edad, está ligada fundamentalmente al tipo de cemento y al grado de maduración del hormigón. Si se deseara estimar la resistencia a otra edad distinta de la ensayada, habría que utilizar correlaciones específicas para cada cemento; en su defecto, pueden emplearse valores medios como los indicados en la tabla 6.3 o en la 6.5.

Tabla 6.5: Influencia de la edad en la resistencia a compresión de probetas testigo

Tipo de cemento	Resistencia relativa						2 años
		7 días	14 días	28 días	3 meses	1 año	
Normal	0.70	0.88	1	1.12	1.18	1.20	
De alta resistencia inicial	0.80	0.92	1	1.10	1.15	1.15	
De endurecimiento lento		0.70	1	1.40	1.60	1.70	

Ensayos no destructivos

El objeto es conocer la calidad del hormigón en obra, sin que resulte afectada la pieza o estructura objeto de examen.

- *Métodos esclerométricos:*

. Constituyen ensayos elementales que determinan la dureza superficial del hormigón, bien mediante la energía residual de un impacto sobre la superficie del hormigón.

- El martillo Schmidt: es el más utilizado por su sencillez y bajo coste, mide la dureza superficial del hormigón en función del rechazo de un martillo ligero. Debe obtenerse el rechazo medio de varias determinaciones, limpiando y alisando previamente la superficie que se ensaya. Útil para determinar la marcha del endurecimiento del hormigón, o para comparar su calidad entre distintas zonas de una misma obra. Los resultados que se obtienen vienen afectados x varias variable y por ello en manos inexpertas conduce a conclusiones erróneas.
- El martillo Frank: mide la dureza superficial del hormigón por el diámetro de la huella que deja impresa una bola de acero sobre la que se da un golpe.
- El esclerómetro Windsor: se basa en aplicar a la superficie del hormigón una especie de clavo de acero extraduro, que se introduce en el material por medio de una carga explosiva. Lo que se mide es la profundidad de penetración, que viene relacionada con la resistencia a compresión del hormigón. El ensayo es aplicable a superficies planas y curvas, losas de pequeño espesor, etc.
- *Métodos por velocidad de propagación:*

. se fundan en la relación que existe entre la velocidad de propagación de una onda progresiva o impulso, a través de un medio homogéneo e isótropo, y las constantes elásticas del material, que a su vez están ligadas con la resistencia del mismo.

. La más rápida de estas ondas ,es la longitudinal, que corresponde a las deformaciones de tracción-compresión.

E_d = Módulo de elasticidad longitudinal dinámico del hormigón.

g = Aceleración de la gravedad.

= Peso específico del hormigón.

ν = Coeficiente de Poisson.

. La otra onda es transversal, que corresponde a las deformaciones de esfuerzo cortante

G_d = Módulo d elasticidad transversal dinámico.

. El equipo más corriente y conocido se compone de un generador de impulsos eléctricos, un osciloscopio, un marcador de tiempos, un excitador de vibraciones piezoeléctrico y un captador del mismo.

Tabla 6.6: Calidad de los hormigones con cemento portland

Velocidad v_1 (m/s)	Calidad del hormigón
> 4500	Excelente
3600 – 4500	Bueno
3000 – 3600	Aceptable
2100 – 3000	Malo

< 2100	Muy malo
--------	----------

- *Métodos por resonancia:*

. Están basados en la relación existente entre la frecuencia de resonancia de una pieza y las constantes elásticas del material. El inconveniente es que se han de efectuar los ensayo sobre probetas o piezas de pequeñas dimensiones.

. Si en una probeta o pieza de hormigón se logra excitar una vibración, cuya frecuencia coincida con su frecuencia propia o de resonancia, pueden determinarse las constantes elásticas del material mediante las relaciones:

$$E_d = K_1 \cdot P \cdot f_1^2$$

$$E_d = K_2 \cdot P \cdot f_2^2$$

$$G_d = K_3 \cdot P \cdot f_3^2$$

P = Peso d la probeta.

E_d = Módulo d elasticidad dinámico.

G_d = Módulo de rigidez dinámico.

f_1 = Frecuencia de resonancia transversal.

f_2 = Frecuencia de resonancia longitudinal.

f_3 = Frecuencia de resonancia por torsión.

- *Métodos combinados o mixtos:*

. Cada uno de los métodos que acaban de ser expuestos posee sus propias limitaciones. Ello ha dado lugar a que se desarrollen métodos mixtos.

. Como método combinado se recomienda relacionar el índice de rebote esclerométrico, la velocidad del impulso ultrasónico y la resistencia a compresión del hormigón obtenida mediante extracción de probetas testigo.

- *Métodos por absorción o difusión de isótopos radiactivos:*

. Estos métodos de ensayo están aún en vía de experimentación, pueden ser de bastante interés para efectuar un control de la homogeneidad del hormigón. El control de la calidad del hormigón puede efectuarse, bien midiendo su densidad, o bien mediante la determinación del contenido de agua.

- La densidad del hormigón puede determinarse basándose en la absorción de rayos gamma, a su paso a través de la masa del mismo.

I = Radiación que atraviesa el espesor x.

I_0 = Radiación incidente.

= Coeficiente de absorción.

x = Espesor del material.

. El método resulta útil para detectar algún defecto del hormigón endurecido, o bien, para controlar la homogeneidad del hormigón fresco.

- La calidad del hormigón puede también determinarse midiendo su contenido en agua, mediante la retrodifusión de los neutrones rápidos de los átomos de hidrógeno de la misma.

Ensayos de control de la calidad del hormigón

- Según su finalidad (ya descritos anteriormente).
- Ensayos posteriores a la terminación de la obra:

. Cuando debemos estimar la calidad del hormigón de una estructura ya terminada, puede recurrirse a la extracción de probetas testigo, a la realización de ensayos no destructivos, de prueba de carga o de otras determinaciones directas o indirectas de la calidad del hormigón. En la tabla 6.7 se presenta un resumen de los procedimientos comúnmente empleados. En general, la estimación final de la calidad de hormigón requiere el empleo combinado de diversos métodos.

Tabla 6.7: procedimientos para estimar la calidad del hormigón de una estructura.

Procedimiento	Forma de trabajo	Características que se determina
Análisis químico	– Determinación del contenido en cal fosilice sobre muestras de 5 Kg de hormigón – Otros métodos	– Contenido en cemento por m3 de hormigón – Dosis de los componentes – Relación agua/cemento
Extracción de probetas testigo	– Sonda rotatoria y ensayos posteriores	– Resistencia – Peso específico – Porosidad – Modelo de elasticidad dinámica – Las del caso anterior
Exploración esclerométrica	– Estimación de la dureza superficial (índice esclerométrico)	– Resistencia
Exploración con ultrasonidos	– Medida de la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas	– Módulo de elasticidad – Resistencia – Presencia de fisuras
Detección magnética de armaduras	– Medición de variaciones en campos magnéticos, con el pacómetro	– Posición de las armaduras – Espesor del recubrimiento
Rayos X	– Inspección radiográfica	– Posición de las armaduras
Isótopos radioactivos		– Peso específico

	– Medición de la absorción, difusión o presencia de radio-isótopos	– Porosidad – Coqueras – Contenido en agua – Posición y diámetro de las armaduras
Examen al microscopio	– Sobre el propio elemento	– Presencia de fisuras
Análisis petrográfico	– Sobre muestras extraídas	– Posibles alteraciones (precipitación, carbonatación, etc.)
Recuento microscópico	– Método de las líneas transversales sobre muestra preparada	– Aire ocluido
Pruebas de carga	– Medición de deformaciones y fisuras	– Comprobación del comportamiento elástico

$$f_{ctf} = M_r = 6 M_r = 3F$$

$$W_{a3} a_2$$

$$2 F$$

$$f_{cti} = . a . l$$

$$E_d \ g . 1 - v$$

$$V_1 = (1 + v) * (1 - 2v)$$

$$G_d \ g E_d \ g . 1$$

$$V_1 = = (1 - 2v)$$

$$I = I_0 \ e - x$$