

Durabilidad del hormigón

I. Resistencia química de los cementos (*)

PABLO GARCIA DE PAREDES GAIBROIS, Lcdo. en Ciencias Químicas

IETcc

Método de G. M. Idorn

Método seguido por G. M. Idorn para estudiar la desintegración motivada por los sulfatos al actuar sobre los morteros.

Criterio

Las variaciones del aspecto exterior de las probetas y el examen petrográfico de secciones delgadas (Técnica de E. Poulsen).

Materiales

Arena cuarzosa, molturada hasta no dejar residuo sobre tamiz de 4 mm de luz entre hilos.

	Reactivo para análisis	
Sulfato sódico ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)		
Sulfato magnésico ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	Id.	Id.
Cloruro sódico (NaCl)	Id.	Id.
Cloruro magnésico ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	Id.	Id.
Cloruro cálcico ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	Id.	Id.

(*) Continuación: Materiales de Construcción n.º 163, pág. 65.

Probetas

Moldes:

Los que permitan la obtención de prismas de $4 \times 4 \times 16$ cm.

Proporciones:

Una parte en peso de cemento y cuatro partes en peso de arena.

Curado previo:

Los prismas de mortero preparado con cemento de tipo portland se mantienen, después de extraerlos del molde, 48 horas en cámara húmeda y 26 días en agua de mar "artificial".

Los prismas de mortero preparados con cementos portland resistente a los sulfatos o con cementos puzolánicos se mantienen durante 48 horas en cámara húmeda, después de extraerlos del molde, y 12 días en agua destilada.

Ataque:

Al terminar el período de curado previo se trasladan los prismas a una disolución de sulfato sódico, que contiene 10 g de Na_2SO_4 en 1 litro de disolución.

Las observaciones se realizan durante un intervalo de 2 años.

Nota:

El agua de mar "artificial" puede ser la indicada, por F. M. Lea, en "National Building Research Station". Res. Pap. n. 30 (1960).

La técnica seguida por E. Poulsen para las observaciones microscópicas se describe en "Preparation of samples for microscopic investigation" Progres Report M 1. The Danish National Institute of Building Research. Copenhagen 1958.

Método para apreciar la resistencia a los sulfatos de los cementos portland

Objeto

El método se ha planeado para determinar la resistencia a los sulfatos que poseen los cementos del tipo "Portland" mediante la medida de la expansión que experimentan los prismas de mortero magro sumergidas en disolución de sulfato sódico.

Aparatos

Las balanzas, tamices, material aforado de vidrio, mezclador y pisón cumplirán las prescripciones del método ASTM C-230-49.

La mesa de sacudidas y el molde son los descritos en ASTM C-230-49.

Los moldes y el comparador son los descritos en ASTM C-151-49.

Disolución de sulfato sódico

La disolución utilizada para la inmersión de los prismas de mortero será la de 5 % (0,352 molar) de Na_2SO_4 anhidro de la categoría "reactivo para análisis", en agua destilada.

Temperatura y humedad

La temperatura del laboratorio y de los materiales secos deberá mantenerse entre los 20°C y los 27,5°C.

La temperatura del agua de amasado y de la cámara húmeda será de $23^\circ\text{C} \pm 1,7^\circ\text{C}$.

La cámara húmeda y la de conservación estarán construidas de forma que se pueda cómodamente mantener una humedad relativa no menor del 90 %.

Arena normalizada

La arena normalizada de Ottawa será la descrita en el párrafo 4 del método ASTM C-109-49.

Preparación de los moldes

Los moldes deberán recubrirse con una ligera capa de aceite de tocino.

Número de muestras

Se preparan dos prismas de cada dos amasadas obtenidas en días distintos, completándose así cuatro prismas de cada composición.

Los prismas estarán provistos de índices inoxidables en sus extremos para que sea posible medir su longitud.

Preparación del mortero

- a) La dosificación del mortero de arena normalizada será de 1 parte de conglomerante y 4 de arena normal, en peso. La cantidad de material seco que deberá mezclarse cada vez, para la preparación de los dos prismas, será de 300 g de conglomerante y 1.200 g de arena. La cantidad de agua para el amasado, medida en ml, será la necesaria para producir un escurrimiento de 100 a 115 medido por el método C 109-49 y se expresará en % referido al peso de cemento.
- b) El amasado se realizará en un recipiente (sección 2 a) mediante un vigoroso batido, desmenuzado y pellizcado con las manos defendidas por guantes de goma.
 - 1) En el recipiente, cuya superficie interior se limpiará con un paño húmedo, se vierte el agua.
 - 2) Se añade al agua la cantidad total de cemento y se amasa durante 30 segundos.
 - 3) Se añade aproximadamente la mitad de la cantidad de arena y se amasa durante 30 segundos.
 - 4) Se adiciona el resto de la arena y se amasa durante minuto y medio.

Llenado de los moldes

Inmediatamente de terminar el ensayo de escurrimiento se traslada el mortero desde el molde de escurrimiento a la vasija de amasar y se le amasará de nuevo durante 15 segundos, desprendiendo seguidamente el mortero que se haya adherido a los guantes. En cada molde se deposita una capa de 15 mm (aprox.) y se le apisona según ASTM 109. El área alrededor de los índices se apisona, con el extremo del pisón inclinado unos 30°, y en dirección hacia el índice se darán cinco golpes de pisón para compactar el mortero en esas zonas. El resto de la capa de mortero se compactará dando 50 golpes del pisón (25 en cada dirección). La posición del pisón será tal que el extremo de una pulgada del mismo se sitúe en ángulo recto con los bordes del molde. Una vez compactada esta pri-

mera capa, se vierte el mortero restante y se le compacta con otros 50 golpes como antes. Al finalizar la compactación se comprimirán ligeramente los extremos del prisma hacia los del molde. A continuación, y con la paleta ligeramente inclinada, se allana la superficie de los moldes pasando la paleta a través del largo del molde. Finalmente, se quita el sobrante de mortero mediante el uso de la paleta con un movimiento de sierra a lo largo de la superficie superior del molde.

Curado

Se mantendrán los prismas dentro de sus moldes durante 46 a 48 horas en la cámara húmeda. Seguidamente se desmoldan los prismas, se les quitan las rebabas y el aceite sobrante, se les marca y pesa. Una vez identificados se les mantiene bajo agua, a $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$, durante 5 días para completar el curado de 7 días.

Ensayo

Cuando se cumplen los 7 días, se miden los prismas y se les traslada a la disolución de ataque que se mantendrá a $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$. La relación entre el volumen ocupado por los prismas y el de la disolución se mantendrá a lo largo del ensayo en el valor de 1 a 4. Los prismas se colocarán de pie y totalmente sumergidos en la disolución de sulfato sódico. Se protegerán los índices de un posible desgaste utilizando un capillo de goma o por otro medio. Los depósitos que contienen la disolución y los prismas se deberán proteger de las pérdidas por evaporación; si tal ocurriese, se repondrá el nivel con adiciones de agua destilada. A lo largo del ensayo no se renovará la disolución agresiva.

Medida de la longitud

- a) Inmediatamente de su extracción de la disolución, se escurrirán los prismas; si se extraen más de uno, se les tapará con un paño húmedo para evitar una evaporación.
- b) La primera medición se realizará al final del período de 7 días de curado. Los prismas se medirán cada 7 días hasta que la expansión alcance el valor del 0,10 %. Con valores mayores de la expansión, los prismas se agrietan y encorvan y las medidas tienen muy poco valor cuantitativo. No es necesario pesar los prismas, excepto cuando se les moldee como ya se ha dicho.

Cálculo

La expansión porcentual a cada edad de ensayo se calculará y anotará como % del cambio de longitud, tomando como base la que se midió cuando por vez primera se introdujeron los prismas en la disolución.

Método de prismas planos

(Método Wittekindt)

1. Preparación de las muestras a ensayar

Los prismas planos ($1 \times 4 \times 16$ cm) con vástagos de medida se preparan con mortero, de acuerdo con la Norma DIN 1164. Los vástagos para medida se pueden fijar a los prismas con plasticina en los extremos planos de los moldes. Para cada molde de seis prismas debe prepararse un mortero de acuerdo con la Norma DIN 1164 con 250 g de cemento, 250 g de arena "tipo" fina, más 500 g de arena "tipo" gruesa DIN 1164 y 150 ml de agua ($A/C = 0,6$); finalmente, los moldes deben llenarse con dos capas. Cada capa debe compactarse por medio de 20 golpes de un pisón que tenga una superficie de golpeo de 55×6 mm y un peso de 170 g. Después se le dan ligeros golpes sobre la mesa con objeto de expulsar (y evitar que se formen) burbujas de aire en el mortero. Inmediatamente los moldes se conservan en atmósfera saturada de humedad y a una temperatura de 18°C a 21°C . Pasadas 2 h se quita el exceso de mortero y se enrasa y nivela con la parte superior del molde. Si al cabo de 24 h los prismas están suficientemente endurecidos, se desmoldan; en caso contrario, se dejan en los moldes hasta 48 horas.

Cantidad:

Doce prismas para cada cemento, seis prismas para almacenar en disolución de SO_4Na_2 y seis prismas para almacenar en agua destilada.

2. Curado y conservación

Una vez desmoldados los prismas, deben permanecer totalmente sumergidos en agua destilada, y a una temperatura de 18°C a 21°C , durante un período de 14 días, tendidos por su base original (superficie 1×16 cm) sobre barras de madera o plástico. Luego, y después de hacer la medida de referencia, seis prismas se conservan en una disolución de SO_4Na_2 al 4,4 % y los otros seis se conservan en agua destilada. Para cada prisma se emplea una cantidad de líquido de 0,6 litros.

3. Disolución de sulfato sódico

Los prismas deben conservarse en una disolución de sulfato sódico al 4,4 %, la cual contenga 44,1 g de sal (deshidratada) por litro de disolución. Esta disolución se prepara con SO_4Na_2 DAB 6, Merck-Art. N.º 6.643, desecado.

Como la compañía E. Merck comunica, la sal seca de SO_4Na_2 contiene pequeñas cantidades de agua. Por lo tanto, hay que determinarla desecando la sal a 110°C y tenerla en cuenta. También se recomienda controlar el contenido de SO_3 , de la disolución, por medio de análisis.

Para la conservación en agua debe emplearse agua destilada.

Cantidad de disolución: 0,6 litros por cada prisma.

Cambio de disolución: Tanto de la disolución de sulfato sódico, como el agua destilada, deben cambiarse cada 4 semanas.

4. Medidas

Deben llevarse a cabo las siguientes medidas:

- 1) Los cambios de longitud mm/m entre placas vástagos, mediante un comparador y a intervalos de 4 semanas. El cambio de longitud experimentado por los prismas conservados en agua debe restarse del experimentado por los prismas conservados en la disolución de sulfato. Para este objeto se toman los valores medios de los seis prismas medidos.
- 2) Aspecto después de 4 semanas en conservación.

Método de la Asociación Norteamericana del cemento Portland

I. FINALIDAD

Conocer, mediante estudios a largo plazo, el comportamiento del cemento en el hormigón situado en suelos que contienen sulfatos.

II. CRITERIO

El posible ataque producido por los sulfatos se aprecia a través de las alteraciones que sufren probetas de hormigón, colocadas en suelos que contienen sulfatos, en recintos a la intemperie.

Estos fenómenos se traducen en destrucciones externas, modificaciones del módulo elástico y variaciones de las resistencias mecánicas.

III. MATERIALES

Aridos:

De naturaleza silícica, con la siguiente granulometría:

Luz de malla (mm)	Cantidad, en %, que pasa:		
	Arena	Grava fina	Grava gruesa
38,1		100,0	100,0
19,1		93,3	11,9
9,5		26,6	0,6
4,76	91,3	1,0	0,3
2,36	82,8	0,5	0,2
1,41	69,2	0,4	0,2
0,589	51,1	0,3	0,1
0,295	18,2	0,3	0,1
0,147	4,8	0,2	0,1

Suelos:

N.1. Cantidad de sales solubles, referidas a peso de suelo seco: 10 %.

Composición aproximada de las sales solubles en % ponderal:

Carbonato sódico (Na_2CO_3)	9,77
Cloruro sódico (NaCl)	1,46
Sulfato sódico (Na_2SO_4)	84,61
Sulfato magnésico (MgSO_4)	2,31
Sulfato cálcico (CaSO_4)	1,52

N.2. Cantidad de sales solubles referidas a peso de suelo seco: 10 % ponderal.

Composición aproximada de las sales solubles en % ponderal:

Carbonato sódico (Na_2CO_3)	1,66
Cloruro sódico (NaCl)	3,14
Sulfato sódico (Na_2SO_4)	61,80
Sulfato magnésico (MgSO_4)	28,63
Sulfato cálcico (CaSO_4)	1,34

IV. MOLDES

De madera: capaces para cuatro prismas de $85 \times 15 \times 13$ cm.

De hierro, cilíndricos: capaces para cilindros de 15 cm diámetro y 30 cm altura.

V. DOSIFICACION DEL HORMIGON

Tres dosificaciones, todas ellas con 3,8 cm de escurrimiento.

Cemento:

Mezcla 1: 233 kg de cemento por m^3 .

Mezcla 2: 317 kg de cemento por m^3 .

Mezcla 3: 390 kg por m^3 .

Arena:

% de arena referido al volumen total de árido:

Mezcla 1: 45 %.

Mezcla 2: 43,5 %

Mezcla 3: 42 %

Aridos:

La relación entre la grava fina y la grava gruesa es, en las tres mezclas, de 45 a 55 % referido al volumen absoluto.

VI. PREPARACION Y CURADO DE LAS PROBETAS

Los tres áridos (arena y dos tamaños de grava) se almacenan a la intemperie y se tapan con lona alquitranada durante el período de lluvias. Las cantidades necesarias para cada amasada se miden por pesadas. En los áridos se aprecia la cantidad de humedad para corregir la de agua en la mezcla.

Se mezclarán los componentes del hormigón en una hormigonera durante 2 minutos. De una vez se preparan alrededor de 98 litros de hormigón, que son suficientes para cuatro prismas, dos cilindros y los ensayos de escurrimiento.

El hormigón se consolidará en los moldes con el auxilio de pequeños vibradores, por vibración interna. La superficie libre de las probetas se alisará.

Todas las operaciones se completarán en un intervalo de 15 min, contados a partir del vertido desde la mezcladora. Antes de que finalice un intervalo de 2 h desde que se

llenan los moldes, se les cubre con una carpillera húmeda y se les mantiene así de 1 a 4 días, evitando la desecación.

Transcurridos los 4 días se sacan de los moldes las probetas y se les traslada a una cámara húmeda con 21°C, en donde se les conserva durante 14 días; pasados éstos se les seca superficialmente con un paño húmedo, se pesan y miden.

A continuación se mide su módulo elástico (sónicamente) y se les traslada a los lugares donde han de soportar el ataque.

Las probetas destinadas a soportar el ataque de los suelos con sulfatos se les mantiene, hasta el momento de colocarlas en el medio agresor, apiladas, apoyadas en cuatro puntos y cubiertas con una lona embreada. Las probetas destinadas a la cámara húmeda (testigos) se apilan sin ninguna protección.

Los cilindros, una vez fuera de los moldes, se les conserva en la cámara húmeda durante 28 días, antes de exponerlas a los agresivos.

VII. COLOCACION DE LOS SUELOS AGRESIVOS

Para contener los suelos agresivos se pueden construir depósitos de 11 × 15 × 0,25 m con bordillos que eviten el arrastre por el agua de lluvia.

Es apropiado un hormigón de 335 kg de cemento por m³, preparado con un conglomerante resistente a los sulfatos; p. ej. un portland sin C₃A. El interior de estos depósitos se recubre con dos capas de aceite de linaza caliente.

VIII. COMIENZO DEL ENSAYO

Se coloca en cada depósito una cantidad de suelo suficiente para que los prismas asentados sobre tacos de madera de 5 cm de ancho por 12 cm de altura queden sobre un lecho de tierra de 13 cm de espesor y enterrados a 6 cm de profundidad. Se consigue con 20 cm poco más o menos de tierra.

IX. MEDICIONES

Al finalizar los plazos que se convengan (p. ej. anualmente durante los primeros 5 años, y cada 5 años después) se retiran y limpian las probetas, y se mide su módulo elástico. Se debe registrar fotográficamente su aspecto y se rompen a compresión las que se hubiesen preparado para ello.

X. CALIFICACION

La calificación de los efectos producidos por los agresivos se puede establecer para su aspecto externo de acuerdo con una escala convencional, cuyo grado 1 corresponde a la inalterabilidad y el grado 6 a la total disgregación.

Los ensayos que proporcionan magnitudes expresables por cantidades permiten establecer una calificación de acuerdo con los números obtenidos y la comparación con los resultados obtenidos con las probetas-testigo.

Método de V. V. Kind para conocer la durabilidad de los conglomerantes

Método de V. V. Kind para conocer la resistencia que los conglomerantes ofrecen al ataque causado por las disoluciones de sulfatos y de cloruros.

Objeto

Conocer la resistencia química de los conglomerantes en un plazo relativamente corto.

Criterio aplicado

Valor que la relación entre la resistencia a la flexotracción de las probetas que han sufrido el ataque y el mismo parámetro de las probetas coetáneas con las anteriores pero conservadas en agua destilada, adquiere a los 3 y a los 6 meses.

Materiales

Arena: La utilizada para los ensayos normalizados del portland.

Sulfato sódico. $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	}	Reactivos para análisis
Sulfato cálcico. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		
Sulfato magnésico. $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		
Cloruro sódico. NaCl		
Cloruro magnésico. $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		

Moldes

De material inatacable y que permitan la obtención de probetas prismáticas de $1 \times 1 \times 3$ centímetros.

Máquina para la ruptura de las probetas

Cualquiera que permita la ruptura de los prismas, por flexotracción; la distancia entre los apoyos puede ser de 2,5 cm para los extremos y 1,25 cm para el central.

Preparación de las disoluciones agresivas

Las disoluciones agresivas son disoluciones en agua de las sales antes mencionadas en cantidad tal que las concentraciones alcanzadas sean:

MgSO₄

Na₂SO₄ 5 % (50 g/l de sal anhidra).

MgCl₂ 3 % (30 g/l de sal anhidra).

CaSO₄ a saturación.

Agua de mar artificial [1,5 g de CaSO₄ + 66 g de NaCl + 8 g de MgCl₂ + 5 g de MgSO₄ (cantidades de sales anhidras en 1 litro de disolución)].

Preparación del mortero de ensayo

Proporción de los componentes: 1 parte de cemento + 3,5 partes de arena.

Relación agua/cemento: de 0,4 a 0,5.

Amasado, desenmoldado y curado previo de las probetas: Las operaciones de amasado, y desenmoldado de los prismas se realizan de forma igual a la indicada por las normas para el portland; el número de prismas que conviene preparar es:

- 12 prismas para romper después de 180 días en agua desionizada.
- 12 prismas para romper después de 28 días en agua desionizada.
- 12 prismas para romper después de 6 meses en cada una de las disoluciones agresivas.
En total $12 \times 8 = 96$ prismas.

Número total de prismas para todos los curados y ataques: 132.

El curado previo, en agua desionizada, será de 14 y de 28 días.

Si el conglomerante está destinado a una construcción sumergida, los prismas destinados a las disoluciones agresivas se conservarán, después de sacarlos de los moldes, en una atmósfera con humedad relativa de 100 % durante 24 horas antes de introducirlos en las disoluciones agresivas. Esta conservación en atmósfera húmeda no se aplicará a los prismas que se curan en agua y sirven de "testigos".

Ensayo de la durabilidad

Los prismas conservados en agua, y que representan el término de comparación, se rompen a flexotracción a los 180 y 28 días.

Los que se mantienen en las disoluciones agresivas, se rompen a flexotracción a los 180 días.

El coeficiente de dividir la resistencia ofrecida por los prismas conservados en las disoluciones agresivas y la resistencia alcanzada por los prismas conservados en agua, calculada con dos cifras decimales y referida a 100, se denomina "Coeficiente de resistencia" del conglomerante al agresivo.

(Continuará)