Un ensayo con cilindros de pequeñas dimensiones para la determinación rápida de la calidad del cemento

J. A. DALZIEL

Cement Technology, julio-agosto 1971, (pág. 105)

RESUMEN

Se han confeccionado cilindros de ensayo, de tamaño miniatura, compactando por presión cemento seco hasta obtener una porosidad inicial constante. Seguidamente se curaron a 20°C, después de que los poros intergranulares se rellenasen con agua, utilizando para ello una técnica de vacío. Las probetas resultantes, constituidas únicamente por cemento y agua (sin áridos ni aire), presentan bajos coeficientes de: resistencia (2 %), peso (0,2 %), longitud (0,1 %) y relación agua-cemento (1,3 %). La rápida ganancia de resistencias de los minicilindros permite conocer las resistencias, según las British Standard, a 3 y 7 días en tan sólo 8 y 12 horas, respectivamente. Se ha observado que un cierto número de tipos de cemento mantienen, en lo que se refiere a resistencias, una clara correspondencia. El procedimiento de ensayo que se propone tiene la ventaja de requerir solamente pequeñas cantidades de cemento, menor gasto en el equipo y reducida cantidad de mano de obra. Mediante la eliminación de ciertas variables, implicadas en este método de ensayo para la determinación de la calidad del cemento, y reduciéndose otras, puede haber una mayor oportunidad para mejorar la coordinación entre los resultados obtenidos en los diferentes laboratorios.

INTRODUCCION

Un ensayo para la especificación de cementos ha de cumplir dos requisitos. Primeramente ha de proporcionar resultados reproducibles, sin importar en qué laboratorios se han realizado. En segundo lugar los resultados de los ensayos nos darán una indicación de las resistencias que se obtendrán cuando el cemento se utilice en la fabricación de un hormigón. El ensayo más corrientemente usado implica el empleo de morteros hechos y ensayados según una norma nacional o internacional. Una excepción es el Reino Unido, en donde se utiliza un ensayo con cubos de hormigón, de acuerdo con una Norma Británica (véase Apéndice). La utilización de morteros se basa en la premisa de que los principales factores que contribuyen a la resistencia del hormigón son la resistencia de la pasta de cemento y la superficie específica de las partes en contacto con cemento árido. Puesto que la arena fina contribuye en gran parte a esta superficie, los áridos más gruesos del hormigón actúan principalmente como un "filler".

Si bien este método de ensayo cumple en un amplio grado las funciones que se le requieren, sin embargo adolece de ciertas desventajas inherentes. Depende de que el suministro de arena sea constantemente uniforme, así como de los otros áridos de que se dispongan en los diferentes centros de ensayo. Están a merced de las variaciones, en la habilidad del operario para fabricarlos y ensayarlos y a las diferentes características de las máquinas de ensayo utilizadas. Pero quizás su mayor desventaja es el tiempo comparativamente largo que se necesita para realizar el ensayo, generalmente 28 días, excepto con las British Standard, que requieren las resistencias a 3 y 7 días.

Ensayo acelerado

La necesidad de determinar la calidad de un cemento por un procedimiento rápido, exacto y reproducible ha sido reconocido desde que el hormigón se utilizó por primera vez en las estructuras de las construcciones. No es por tanto sorprendente que un gran número de ensayos acelerados se hayan propuesto en muchos países durante los últimos cuarenta años. Una gran mayoría de estos ensayos implican el curado acelerado de los testigos de mortero con el fin de obtener, entre edades que varían de 6 a 36 horas, cierta medida de la resistencia normalizada a 28 días. Procedimientos típicos fueron los de Wagner (1), que utilizó aire húmedo caliente; Brown (2) y Witkup (3), agua caliente; Nagai (4) Zoldners y Carette (5), agua en ebullición; Lewistas (6), vapor; Brandenberger (7) y Meyer (8), autoclave. Estos métodos no se han adoptado de una forma general debido, principalmente, a los necesarios procedimientos de comparación para relacionar la resistencia acelerada con la resistencia normalizada a 28 días. Debido a los diferentes efectos térmicos e hidrotérmicos sobre los procesos de hidratación se ha encontrado que la correlación depende del tipo de cemento, del contenido de escoria, etc.

Hay relativamente pocos métodos publicados en los cuales se evite el uso de temperaturas elevadas. Keil y Mathieu (9) señalan que pequeños cubos compactados a mano de pasta de cemento con relaciones agua/cemento de 0,18, alcanzaban suficiente resistencia como para ser ensayados al cabo de 3 horas de curado normal. Estas probetas alcanzaban una resistencia igual a la del mortero normalizado de 28 días en unas 24 horas. Se obtuvieron resultados similares con la misma pasta, compactada con una prensa manual, en la cual se obtenían minicilindros con una sección transversal de 100 mm² y una altura de 10 mm. Estos se conservaron en aire húmedo durante 6 horas antes de introducirlos en agua. Al cabo de 24 horas se llegaron a alcanzar resistencias tan elevadas como de 180 MN/m². Esto ha sido reconocido como un posible método para predecir la calidad del cemento.

Gaca (10) compactó pasta con una relación agua/cemento de 0,1 y con una presión de aproximadamente 300 MN/m² para obtener cilindros de 40 × 40 mm. Estos se ensayaron a edades de 1, 6, 12 y 24 horas, después de conservados en atmósfera húmeda.

No se registraron diferencias significativas entre los cementos polacos ensayados, tanto a 1 como a 6 horas. Consecuentemente, la resistencia normal de los morteros a 28 días se relacionó para ambas resistencias de los cilindros de pasta a 12 ó 24 horas. Se dedujeron tres ecuaciones lineales de correlación: una para los cementos portland que no contenían escoria, otra para los que contenían hasta un 30 % de escoria y otra para los que tienen un contenido entre el 30 y el 50 %. Los minicilindros prensados constituyen un atrayente procedimiento para producir rápidamente un cierto número de probetas dimensionalmente controladas que requieren solamente pequeñas cantidades de material.

Fig. 1.—Prensa manual.

Fig. 2.—(Superior) Sección transversal de la prensa de minicilindros durante la compactación;

(Inferior) Sección transversal de la prensa de minicilindros en posición de extracción de la probeta una vez moldeada.

Fig. 3.—Partida de minicilindros moldeados con los dos conos resultantes de haberlos ensayado a compresión.

Keil y Mathieu (11) así como Meyer (8) y Zoldners y Carette (5) han elaborado ensayos para el control de la calidad de los cementos utilizándolos, pero nuevamente prefirieron los métodos de curado acelerado.

El ensayo de minicilindros

El método de ensayo que se describe en este artículo utiliza minicilindros de pasta de cemento, pero soslaya las altas temperaturas para la hidratación. Las probetas se confeccionan por una técnica descrita por Lawrence (12). El polvo seco de cemento se compacta por presión a una porosidad constante, y los poros intergranulares resultantes se llenan de agua utilizando una técnica de vacío. Este modo de proceder tiene como resultado la obtención de unas probetas muy uniformes, con lo cual se superan las dificultades por variaciones en la relación agua/cemento y en la compactación que, casi inevitablemente, resultan de premezclar los constituyentes. Forrester y Keen (12) observaron que, al mezclar y amasar morteros para hacer cubos de 1/2 pulgada, las altas variaciones de resistencia resultantes fueron debidas —casi con certeza— a las diferencias en el contenido de agua, cemento y aire entre probeta y probeta.

Comparado con los ensayos standard para la calidad del cemento, el ensayo con minicilindros emplea solamente pequeñas cantidades de cemento, requiere menos espacio, equipo más barato y precisa menos mano de obra. En el mismo tiempo se obtienen valores de resistencia más consistentes y de una manera que mejorará la coordinación entre los laboratorios.

Procedimiento

La pequeña prensa manual (figs. 1 y 2), que es idéntica a una descrita por Meyer (8), se utiliza para moldear minicilindros de cemento seco con una sección nominal de 100 mm² y con una altura en razón al diámetro de 1 (fig. 3). Puesto que la prensa moldea probetas de volumen constante, al controlarse la presión ejercida, se obtienen cilindros con una porosidad inicial constante. Las cantidades requeridas de cemento seco (aproximadamente 2,5 g) para dar una porosidad del 30 %, se pesan con un error inferior a 1 mg y se guardan antes de prensarlas en un recipiente con tapa de pequeño tamaño. El peso exacto del cemento requerido se determina por tanteos, ya que el tamaño final de las probetas producido por un cemento dado depende de la pequeña expansión de la pieza compactada al salir del cilindro.

Antes de cada prensado se lubrica el molde con una solución al 3 % de ácido esteárico en acetona, que se aplica con una almohadilla de fieltro. La altura del compacto es determinada por un distanciador que actúa sobre un contacto eléctrico, cuando se ha llevado a cabo la compactación total. Las probetas prensadas se colocan en una cámara de vacío, mantenida a 20°C por medio de un baño de agua. La cámara se somete a vacío durante unos 30 minutos como mínimo (por debajo de la presión del vapor de agua), y entonces se deja que comience la hidratación haciendo que fluya a la cámara agua destilada por ebullición y a 20°C. Las probetas hidratadas y húmedas se ensayan con un tensómetro Hounsfield (una pequeña máquina de pupitre) provisto de un adaptador, para el ensayo de compresión, dotado de una pequeña rótula. La capacidad de esta máquina de ensayos es de 20 KN (2 t), y para aquellos pocos casos en que las resistencias de los minicilindros superan los 200 MN/m² se utiliza una prensa para ensayos a compresión Amsler modificada.

Variabilidad de la probeta

En la tabla 1 pueden verse la permanencia en peso y tamaño de los minicilindros producidos.

La expansión por hidratación es de aproximadamente el 0,5 %, y es necesario medirla en el diámetro de cada probeta, precisamente antes de ensayarlas, con objeto de poder calcular la resistencia a la compresión.

TABLA 1
Variaciones típicas del peso y dimensiones de los minicilindros

Edad	0 (seco)		56 días	
		Coefficiente de variación		Coefficiente de variación
Altura (mm)	11,549	0,09 %	11,609	0,08 %
Diámetro (mm)	11,332	0,04 %	11,402	0,06 %
Peso (g)	2,544	0,14 %	2,947	0,18 %
Aumento de peso (g); es decir, en contenido de agua	—	—	0,403	1,3 %

Medias obtenidas a partir de 10 cilindros.

Variaciones de resistencias dentro de las mezclas y entre las distintas mezclas

En la tabla 2 se muestran los resultados, a partir de una serie de ensayos, sobre las resistencias de seis mezclas en siete cilindros moldeados en diferentes ocasiones y ensayados a 24 horas.

TABLA 2
Variaciones de resistencias típicas en los minicilindros dentro de una mezcla y entre las distintas mezclas

RESISTENCIAS A LAS 24 HORAS (MN/m ²)						
	A	B	C	D	E	F
	126	126	126	126	123	127
	124	123	126	129	132	125
	126	123	124	131	132	128
	126	125	127	132	131	127
	123	124	124	128	132	129
	124	124	124	127	133	129
	126	123	127	126	132	127
Mezcla media	125,0	124,0	125,4	128,4	130,7	127,4
Coefficiente de variación	1,0 %	0,9 %	1,1 %	1,9 %	2,6 %	1,1 %
Resistencia media	126,8 MN/m ²					
Dentro de las mezclas	Variación 4,1			Coefficiente de variación 1,6 %		
Entre las mezclas	Variación 5,7			Coefficiente de variación 1,9 %		
Total	Variación 9,8			Coefficiente de variación 2,5 %		

Los efectos beneficiosos de utilizar medios mecánicos para producir probetas uniformes se hace patente cuando se comparan dentro y entre las variaciones de las mezclas, mostradas anteriormente, con las obtenidas en los ensayos normalizados de la B.S. 12. Hals-tead (14) indica que, con este ensayo, dentro de cada mezcla las variaciones son típicamente de alrededor de un 3 % y entre mezclas son aproximadamente de un 6 %, siendo los mismos operarios y las mismas máquinas de ensayo.

Categorías de cargas

Se utilizaron dos categorías de cargas en los dispositivos para los ensayos de resistencias en los minicilindros: 0 a 10 KN para resistencias de hasta 100 MN/m², y 0 a 20 KN para resistencias entre 100 y 200 MN/m². La naturaleza del dispositivo fue tal que la velocidad de carga también varió de 36 a 49 MN/m² por minuto.

El efecto de utilizar estas dos clases de cargas se comprobó ensayando un cemento en dos amasadas, una en cada gama. Los minicilindros tenían a las 24 horas una resistencia de 92,1 MN/m², con un coeficiente de variación del 2,6 %, para la categoría inferior, y una resistencia de 91,9 MN/m², con una variación en la categoría superior del 2,3 %. Por consiguiente, se observó que la influencia era despreciable.

Desarrollo de resistencias en los minicilindros

La figura 4 presenta el desarrollo de resistencias en los minicilindros, hechos a partir de uno de los cementos portland ordinarios, y representadas en coordenadas con abscisa logarítmica y ordenada lineal. Se pueden apreciar tres etapas distintas en el desarrollo. Los otros cementos ensayados mostraron un desarrollo de resistencias en tres etapas similares, pero sin que necesariamente su etapa media venga representada por una línea recta. Las cifras entre paréntesis para cada punto experimental representan los coeficientes de variación de resistencia.

Fig. 4.—Evolución de las resistencias obtenidas con minicilindros hechos con un cemento portland normal (Tipo I).

Correspondencia entre las resistencias de los cubos y la de los minicilindros

En la figura 5 puede observarse el desarrollo de resistencias en los cubos de hormigón, hechos y ensayados de acuerdo con la Norma Británica B.S. 12, pero con un cemento diferente al utilizado en los ensayos de la figura 4. (Véase Apéndice referente a proporciones de la mezcla para el hormigón). Nuevamente se presentan las tres etapas en el desarrollo de resistencias. Comparando los dos tipos de curvas, con un cierto número de cementos, aunque la forma es similar, y teniendo en cuenta que la escala de tiempos para los minicilindros está muy comprimida, se ve que no es lineal con respecto a la escala de tiempos de los cubos de hormigón. Del resultado de comparar puntos equivalentes se ha llegado a la ecuación que se utiliza en este trabajo:

$$A_m = 0,19 (A_c)^{1/2};$$

siendo A_m y A_c las edades de curado, en días, de los minicilindros y de los cubos, respectivamente. Basándose en esto, las edades de ensayo a 3, 7, 28 y 56 días corresponden con las edades a 8, 12, 24 y 34 horas de los minicilindros, en lo que se refiere a etapas de desarrollo de resistencias.

Fig. 5.—Evolución de las resistencias en los cubos de hormigón hechos con un cemento portland normal (Tipo I).

Se ensayaron a cuatro edades equivalentes, utilizando ambas técnicas de minicilindros y cubos de hormigón, las siguientes muestras:

Nueve cementos portland ordinarios (Tipo I) de diferentes fábricas de cemento inglesas, junto a cuatro cementos especiales, un cemento de endurecimiento ultrarrápido, con una superficie específica de 707 m²/kg, otro cemento de bajo calor de hidratación (Tipo IV), otro resistente a los sulfatos (Tipo V) y un cemento escocés de alto horno.

Se han situado (fig. 6), en un eje las resistencias de los minicilindros y en el otro eje las resistencias de los cubos de hormigón. Sobre cada uno de los ejes se han indicado los coeficientes de varia-

ción de las resistencias, obtenidas a diferentes niveles. Parece no haber variación sistemática entre los cementos, y todos los puntos se encuentran entre dos desviaciones standard de la resistencia de los cubos para la curva común de correlación trazada. En consecuencia, los ensayos con minicilindros parece que satisfacen los requisitos de una técnica rápida y reproducible, susceptible de establecer una relación sencilla con la resistencia que ha de presentar un hormigón.

Si la técnica del ensayo de los minicilindros fuese utilizada por los fabricantes como un ensayo para determinar la calidad de los cementos en una obra solamente, probablemente se podría establecer una más estrecha correlación, haciendo posible, con ello, predecir las resistencias del hormigón, a 28 días, en tan sólo 24 horas y con un elevado grado de exactitud.

Fig. 6.—Resistencias de los minicilindros (con porosidad inicial del 30,5 %) respecto a la resistencia de los cubos de hormigón a una edad equivalente y de acuerdo con la fórmula $A_m = 0,19 (A_c)^{1/2}$.

Control de variables

Pequeños cambios, o errores en la medida de los parámetros que intervienen en los ensayos de los minicilindros, dan lugar a errores en los valores de las resistencias, deducidas a partir de ellos. En los apartados inmediatamente siguientes se examinan las influencias de tales errores.

Temperatura de hidratación

La temperatura de curado se mantendrá a $20^{\circ} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Para observar la influencia de pequeñas variaciones de la temperatura de curado, un cierto número de testigos se trataron a $17^{\circ} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ y a $23^{\circ} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, aparte de las de control, curadas a la temperatura normal. Por las resistencias que se obtuvieron se dedujo que obedecían bien a la “regla de la maduración”. La regla de maduración establece que dentro de ciertos límites, el efecto de la temperatura de curado y de la edad sobre las resistencias puede expresarse en función de un simple parámetro, dado por el producto de la edad por la temperatura, cuando la temperatura, para efectos de cálculo, se considera desde -10°C .

Es decir, si la resistencia de los minicilindros se representa en relación con la función de maduración “ M ”, siendo $M = (T + 10)t$, en donde T = temperatura de curado en $^{\circ}\text{C}$, t = tiempo de curado, en horas, todos los puntos experimentales se encontrarán sobre una simple curva, independientemente de la temperatura. Basándose en esto, un pequeño error en la temperatura de curado puede transformarse en un error equivalente en el tiempo de curado. Un aumento de 1°C por encima de la temperatura normal de curado es equivalente a un curado extra de 16 minutos, después de haber estado 8 horas a 20°C ; a un extra de 24 minutos, después de haber estado 12 horas; a un extra de 48 minutos, después de haber estado 24 horas, y de 68 minutos, si ha estado durante 34 horas. En los próximos apartados se discutirán los efectos de incrementar los tiempos de curado.

También se realizaron algunos ensayos a 40°C . Con una elevación de esta magnitud en la temperatura de curado, no pudo aplicarse satisfactoriamente la regla de maduración. Adicionalmente se produjo un coeficiente de variación de resistencias más alto, debido, sin duda, a diferentes temperaturas de enfriamiento en la probeta durante el ensayo. Por razones obvias, la temperatura de la máquina de ensayos y la del ambiente circundante deben ser similares a la temperatura de curado para paliar este efecto.

Edad en el momento del ensayo

Para un tiempo de ensayo de 8 horas, los minicilindros ganan resistencias muy rápidamente. Los cementos metalúrgicos y los de bajo calor de hidratación ganan resistencia a una velocidad media de, aproximadamente, 4 MN/m^2 por hora; los de endurecimiento rápido, a razón de 17 MN/m^2 por hora, y los restantes, entre 5 y 8 MN/m^2 por hora. El efecto de un curado adicional de 16 minutos a esta edad (equivalente a subir 1°C la temperatura de curado) es incrementar las resistencias del 5 al 7 %. A las 34 horas la ganancia de resistencias es mucho más baja, oscilando entre $1,5$ a 3 MN/m^2 por hora. Sin embargo, el efecto de una elevación térmica de 1°C en la temperatura de curado es aumentar las resistencias apreciables de un 3 a un 4 %.

Como consecuencia de esto los cementos que presentan grandes diferencias en la ganancia de resistencias por pequeños errores, tanto en la temperatura como en el tiempo de curado, no se prestan a la posibilidad de hacer correcciones directas sobre las resistencias de los minicilindros. Los errores en la temperatura de curado pueden convertirse en errores equivalentes de tiempo y resistencia en función de las curvas de curado trazadas. Los valores de las resistencias para las edades que se requieran pueden determinarse por interpolación aproximada.

Es de especial importancia ensayar juntas sólo unas pocas probetas a las 8 horas, con lo cual se podrán evitar las dispersiones en los valores de las resistencias. En esta investigación la edad de ensayo de cada probeta se anotó con la aproximación de 1 minuto, de-

terminándose un valor para la edad media. Si este valor medio se aparta mucho de la edad de ensayo especificada, se utilizará un valor deducido por interpolación en la curva de correlación que se muestra en la figura 6.

Porosidad inicial

Un error en la porosidad inicial puede derivarse de los errores al determinar la densidad del cemento, al medir el peso de las muestras compactadas o al tomar sus dimensiones de las probetas comprimidas pero no hidratadas. Los efectos de tales variables han sido investigadas ensayando diversas mezclas de probetas compactadas hechas con diferentes pesos de cemento. En la figura 7 pueden verse los diferentes valores de las resistencias a compresión en función del peso inicial y de la porosidad de los minicilindros para uno de los cementos. La porosidad inicial se va incrementando en un 0,1 % a medida que se hacía disminuir en 5,5 mg el peso del cemento. Una variación de este orden hace disminuir las resistencias a la compresión alrededor de un 0,9 % a cualquier edad.

Fig. 7.—Variaciones de la resistencia a compresión con el peso y la porosidad de los minicilindros para un cemento típico. (Tipo I).

Aunque se recomienda un valor del 30 % para la porosidad inicial, en los minicilindros de esta investigación, hechos con diferentes cementos, la cifra media fue del 30,5 % con una dispersión de $\pm 0,25$ %.

Peso inicial, dimensiones y densidad del cemento

Las dimensiones de los minicilindros se determinaron utilizando un micrómetro manual con una capacidad de lectura de hasta 0,001 mm y con un error de apreciación de tan sólo 0,003 mm. La influencia de los pequeños errores positivos al medir estas dimensiones, la del peso inicial o la de la densidad del cemento quedan patentes por los valores que se muestran en la tabla 3. De ella se desprende que los pequeños errores positivos dimensionales o en la densidad conducen a errores positivos en los resultados de las resistencias. Por el contrario, pequeños errores positivos en el peso de los minicilindros compactados dan lugar a errores negativos en los valores de las resistencias.

En los minicilindros, sus pesos y dimensiones pueden determinarse con el grado de exactitud deseado. Sin embargo, es más difícil conseguir la precisión requerida en la determinación de la densidad. En esta investigación se utilizó un picnómetro de aire para determinar las densidades del cemento seco. En la práctica fue únicamente posible medir la densidad con un error de 10 kg/m³ y, como consecuencia de esto, el error en la medida de las resistencias fue del 2,0 %. Para calcular la porosidad inicial se precisa conocer el volumen en seco de los minicilindros. Es preferible una medida directa del volumen, deducida de las dimensiones apreciadas con un micrómetro sobre las muestras que son relativamente blandas y frágiles. Ashworth (15) describe un método especial en el que se utiliza una técnica de flotación en mercurio.

TABLA 3
Efecto de los errores en la determinación del peso, dimensiones y densidad del cemento sobre la porosidad y resistencias de los minicilindros

Errores en las medidas	Peso medido (g)	Altura medida (mm)	Diámetro medido (mm)	Volumen calculado (mm³)	Densidad del cemento medida (kg/m³)	Porosidad inicial calculada (%)	Errores en las resistencias para la porosidad calculada
Ninguno	2,538	11,597	11,336	1.170,5	3,120	30,50	Ninguno
Diámetro + 0,1 %	2,538	11,597	11,347	1.172,7	3,120	30,64	+ 1,3 %
Altura + 0,1 %	2,538	11,609	11,336	1.171,7	3,120	30,57	+ 0,6 %
Densidad del cemento + 0,3 %	2,538	11,597	11,336	1.170,5	3,130	30,72	+ 2,0 %
Peso del compactado + 0,1 %	2,541	11,597	11,336	1.170,5	3,120	30,42	— 0,7 %

CONCLUSIONES

Como ensayo para determinar la calidad de un cemento, la técnica de los minicilindros, que se describe en este artículo, tienen los siguientes puntos a su favor:

- 1) Es exclusivamente un ensayo de cementos y no depende ni de los áridos ni de la arena normalizada.
- 2) Las probetas de ensayo, que guardan estrechas tolerancias en peso y dimensiones, son reproducidas con suma facilidad.
- 3) Se consiguen dispersiones mucho más reducidas en una misma mezcla y entre las distintas mezclas que con los métodos normalizados más corrientes.
- 4) Las resistencias a 28 días de los cubos de hormigón, hechos de acuerdo con las Normas Británicas, pueden predecirse directamente a partir de las resistencias alcanzadas por los minicilindros a las 24 horas de haber sido elaborados.
- 5) Es más rápida y requiere menos mano de obra que los ensayos normalizados.
- 6) Precisa muy pequeñas cantidades de material y es un ensayo muy útil para las pruebas de marcha de la cocción.

APENDICE

Proporciones de la mezcla en los cubos de hormigón

El hormigón se amasó a máquina con una relación agua/cemento = 0,6 y una relación árido/cemento = 6,1. Se utilizó como árido, pedernal irregular del Valle del Támesis con la siguiente granulometría:

$\frac{3}{4} - \frac{3}{8}$ pulgadas	(19,1 — 9,5 mm)	48,8 %
$\frac{3}{8} - \frac{3}{16}$ pulgadas	(9,5 — 4,8 mm)	16,2 %
Tamiz 7- 14		10,7 % *
Tamiz 14- 25		10,7 % *
Tamiz 25- 52		10,7 % *
Tamiz 52-100		3,0 % *

*Tamaño de los tamices según la B.S. 410:1943.

El hormigón se apisonó a mano en moldes de acero, cerrados y mantenidos en cámara de niebla a $18,9^{\circ} \pm 1,1^{\circ}\text{C}$, con una humedad relativa mínima del 90 %, durante 24 horas. Después de desmoldados los cubos de 100 mm se almacenaron en agua a una temperatura de $18,9^{\circ} \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ hasta unos momentos antes de ser ensayados.

Las Normas Británicas concernientes a los cementos son las siguientes:

B.S. 12:1958 para cementos ordinarios y de endurecimiento rápido (equivalente a los Tipos I y III de la ASTM).

B.S. 146:1958 para cemento portland metalúrgico.

B.S. 1.370:1958 para cementos de bajo calor de hidratación (Tipo IV).

Estas Normas especifican que los cubos de hormigón son de 4 pulgadas (101,6 mm) y contendrán 195 ± 1 g de agua, su contenido de cemento de 325 ± 1 g (relación agua/cemento = 0,60) y su relación árido/cemento es aproximadamente igual a 6. Los pesos y proporciones de los áridos finos y gruesos se determinaron experimentalmente hasta obtener una consistencia de 1/2 a 2 pulgadas (12 a 51 mm), que es la docilidad requerida.

Las proporciones de las mezclas utilizadas se ajustan a estas normas, pero la técnica seguida difiere ligeramente ya que se utilizaron cubos de 100 mm y, además, el hormigón se amasó a máquina y en suficiente cantidad para hacer nueve probetas de cada amasada.

BIBLIOGRAFIA

- (1) WAGNER, W. K.: Accelerated cement tests aid producer control. A paper presented at the 31st Annual Convention of the National Ready Mixed Concrete Association, Miami Beach. Jan. 1961. p. 11.
- (2) BROWN, O. E.: Accelerated strength test, prediction of 28-day strength from 1-day data. Marquette Cement Mfg. Co., Chicago, report to ASTM Committee C.I., Jan. 1965.
- (3) WITKUP, A. B.: A new method for accelerated testing of cement. *Tsement*, Vol. 20, No. 1, 1954. pp. 3-8.
- (4) NAGAI, S.: Small-scale testing of cement mortar strength 1 + 11. *Journal of the Society of Chemistry and Industry*, Vol. 32, Jan. 1929. pp. 635-647.
- (5) ZOLDENERS, N. G. and CARETTE G. G.: Accelerated strength on cement using miniature test cylinders. Mineral Processing División Report MPI (0), 70-24, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, May 1970.
- (6) LEWITAS, J.: Oznaczanie wytrzymałości cementu metoda przyspieszona. *Biuletyn Instytutu Techniki Budowlanej*, No. 6, 1947.
- (7) BRANDENBERGER, E.: A new method for the accelerated testing of Portland cements in respect of their strength development. *Zement-Kalk-Gips*, Vol. 12, No 9, 1959. pp. 385-392.
- (8) MEYER, A.: Test method for advance determination of the standard 28-day strength of cement in five hours. *Zement-Kalk-Gips*, Vol. 18, No. 11, 1965. pp. 574-579.
- (9) KEIL, F. and MATHIEU, H.: Testing for standards, small scale and rapid testing. *Zement-Kalk-Gips*, Vol. 11, No. 3, March 1958. pp. 81-86.
- (10) GACA, W.: Rapid determination of quality of cement using pressed specimen. *Cement-Wapno-Gips*, Vol. 18-28, No. 7-8, 1963. pp. 141-149.
- (11) KEIL, F. and MATHIEU, H.: Rapid testing of cement by means of the small-scale cylinder test method. *Zement-Kalk-Gips*, Vol. 17, No. 7, July 1964. pp. 279-298.
- (12) LAWRENCE, C. D.: The properties of cement paste compacted under high pressure. *Cement and Concrete Association*, London, Research Report 19, 1969. pp. 21.
- (13) FORRESTER, J. A. and KEEN, R. A.: The use of small specimens in cement testing. *Journal of Applied Chemistry*, Vol. 10, September 1960. pp. 358-365.
- (14) HALSTEAD, P. E.: The significance of concrete cube tests. *Magazine of Concrete Research*, Vol. 21, No. 69, December 1969. pp. 187-194.
- (15) ASHWORTH, D. R.: A Method of determining the bulk density of ceramics. *Journal of the British Ceramic Society*, Vol. 6, No. 6, 1969. p. 70.