

¿POR QUE CILINDROS DE 15 x 30 cm PARA OBTENER LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON?*

José Garralón Jorba

Prof. de la Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica.

Miembro de la Comisión de Tecnología del C.O.A.T. de Madrid.

682-14

SUMARIO

Se refiere este trabajo a la exposición de los estudios realizados por su autor, para reemplazar las probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, que se emplean para el ensayo del hormigón a compresión, por probetas también cilíndricas, de 4 cm de diámetro y 4 cm de altura, obtenidas del mortero del hormigón a ensayar.

Tres grandes ventajas aporta este sistema dentro de la misma fiabilidad que ofrece el procedimiento en uso actualmente:

- Menos volumen.
- Menos peso.
- Menos costo,

a las que se puede añadir más comodidad en los ensayos de control.

CONCEPTO DE RESISTENCIA DEL HORMIGON

Hay dos formas de obtener la resistencia del hormigón, perfectamente diferenciadas y, aunque las dos pretenden ser las representativas de la

** Este trabajo es un resumen del original, que puede facilitar el autor, a quienes estén interesados en ello.*

NOTA: En este trabajo han colaborado Ramón Ramírez Dampierre, que ha procesado los datos, y Eustaquio Fernández del Olmo, que ha realizado las fotografías.

resistencia, la realidad es que una de ellas es fácilmente obtenible, con bastante seguridad de fiabilidad, y la otra tiene que deducirse de la interpretación de unos valores obtenidos, que no son precisamente la resistencia que es capaz de soportar el hormigón por solicitaciones externas.

La primera se puede definir o considerar como resistencia del hormigón colocado en obra, obtenida a partir de probetas tomadas del mismo hormigón que se coloca, pero cuidadas y conservadas en el Laboratorio.

Se obtiene el valor por mediación de la carga que soporta la probeta realizada con el citado hormigón hasta su rotura. Esa carga, expresada unitariamente con respecto a la superficie sobre la que se ejerce la carga, se llama carga de rotura (este valor se obtiene según las Normas UNE-7240 y 7242, que especifican la forma de toma de la probeta, conservación, tiempo de rotura, velocidad de aplicación de la carga, etc.)

Este valor, importante para conocer la resistencia probable del hormigón que se controla, no recoge las incidencias que actúan en ese hormigón en la obra donde se coloca, porque se endurece en condiciones bien distintas, la mayor parte de las veces, de como lo hace el conservado en el Laboratorio.

Sobre el hormigón colocado en obra, existen:

- Influencia de humedad.
- Influencia de desecación.
- Influencia de calor.
- Influencia de frío.
- Fluencia del hormigón.
- Carga que actúa sobre él en edades iniciales.
- Lluvia,

entre otras muchas a señalar.

Esta idea lleva a pensar ¿por qué se ha montado todo el aparato de Normas para obtener resistencia del hormigón a partir de rotura de probetas grandes de hormigón, si realmente el valor que se obtiene tampoco es el que se busca?

¿No se podrían valorar estas resistencias, con suficiente fiabilidad con un sistema tan sencillo como el de rotura, pero que fuera más barato, práctico y cómodo?

Este es el trabajo que se presenta: obtener la resistencia del hormigón colocado en obra, por ensayo del mismo en el Laboratorio, diferentemente a como se realiza. Que sea más cómodo, barato, fiable y suficientemente representativo de la resistencia del hormigón.

Se han realizado muchos ensayos para obtener fiabilidad en los resultados, correlaciones, límite o acotación de errores, que permiten al autor tener la esperanza de abrir una puerta más al estudio en este campo. Se ruega a cuantos realicen estudios e investigación, lo comuniquen para llegar a la máxima certeza en este sistema de obtención de resistencias a compresión del hormigón, por un sistema que es esperanzador.

DENOMINACION Y FUNDAMENTO DEL METODO

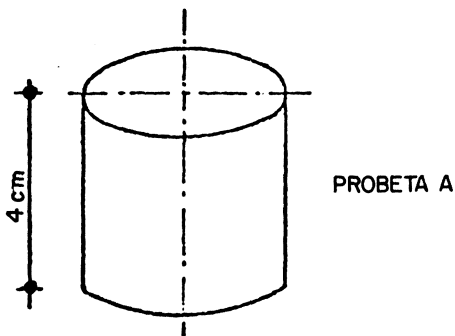
La denominación, desde ahora y a lo largo del trabajo, será: «Sistema *MDH* para determinar la resistencia mecánica a compresión del hormigón con cilindros de pequeño tamaño, obtenido del mortero que forma el hormigón», o abreviadamente: «Sistema *MDH*» (abreviaturas de mortero de hormigón).

Consiste en tomar mortero del hormigón a ensayar, eliminando del mismo todo aquel árido que retenga el tamiz de 10 mm de separación entre mallas y llenar con él moldes cilíndricos de 4 cm de diámetro y 4 cm de altura.

Las probetas así obtenidas se conservan en cámara húmeda, con un 99 % de humedad relativa y 20 ± 2 °C de temperatura y se rompen a los 28 días por el sistema habitual.

FORMA Y TAMAÑO DE LAS PROBETAS

Cilíndricas de 4 cm de diámetro y 4 cm de altura.

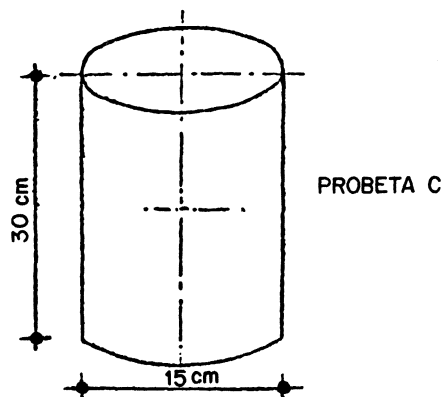


Superficie de la base = 12,566 cm²

Volumen del cilindro = 50,265 cm³

Peso aproximado con densidad aparente de 2,36 g/cm³ = 118,626 g.

Probeta cilíndrica de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.



Superficie de la base = 176.714 cm²

Volumen del cilindro = 5.301,437 cm³

Peso aproximado con densidad aparente de 2,36 g/cm³ = 12.511,393 g

COMPARACIONES

Los cuadros 1 y 2 comparan los valores anteriores individuales y de un lote de 12 probetas y el cuadro n.º 3 relaciona los valores individuales.

Cuadro n.º 1

Valores unitarios	A	C
Superficie	12,566 cm ²	176,714 cm ²
Volumen	50,265 cm ³	5301,437 cm ³
Peso	118,626 g	12511,393 g

Cuadro n.º 2

Probetas del lote	A	C
Superficie total de las probetas del lote	150,792 cm ²	2120,568 cm ²
Volumen total	603,18 cm ³	63617,244 cm ³
Peso total	1423,512 g	150136,71 g

Cuadro n.º 3

Relación de superficie entre las probetas	C y A	14,06
Relación de volumen entre las probetas	C y A	105,46
Relación de peso entre las probetas	C y A	105,46

ENSAYOS REALIZADOS

En esta línea se han realizado los ensayos que más adelante se exponen, que conforman este trabajo y son la razón del título:

«¿Por qué cilindros de 15×30 cm para obtener la tensión de rotura a compresión del hormigón?»

Como paso previo para reafirmar este criterio del autor, se puede recordar:

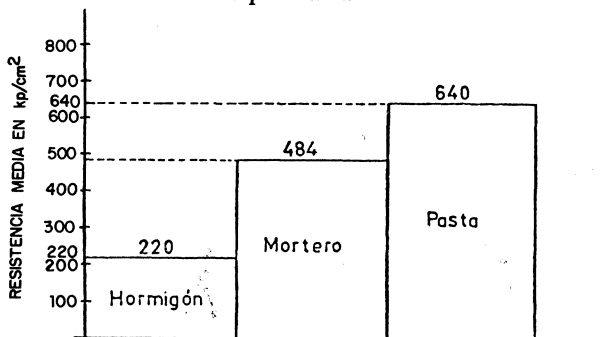
- Se llama *pasta* la mezcla de agua y cemento.
- Se llama *mortero* la mezcla de pasta y arena.
- Se llama *hormigón* la mezcla de mortero y grava.

Unos valores conseguidos en cada una de las tres variantes, como representativos de las resistencias de los mismos, son:

Resistencia media de probetas de pasta pura	640 kp/cm ²
Resistencia media de probetas de mortero tomado del hormigón	484 kp/cm ²
Resistencia media de probetas de hormigón	220 kp/cm ²

En condiciones semejantes de tipo de cemento, cantidad de agua, áridos bien dosificados y cuidada ejecución, conservación y rotura, estos valores se pueden representar gráficamente en el esquema número 4.

Esquema n.º 4



Estima el autor que se puede expresar la resistencia de un hormigón por la resistencia del mortero que lo forma.

Para aumentar la semejanza del mortero muestreado con el hormigón de procedencia, se

admite el árido que pasa por el tamiz de 10 mm. Y no sólo para aumentar la semejanza, sino para mayor facilidad en la obtención de este mortero del hormigón.

Se tamiza el hormigón y todo lo que pasa por el tamiz de 10 mm se considera mortero *MDH* para efectuar el ensayo.

Para que sea representativo de todo el conjunto del mortero que contiene el hormigón que se estudia, basta con que el volumen del mortero *MDH* sea diez veces el volumen de las probetas que se van a realizar por unidad de producto, entendiéndose por tal, la mayor cantidad de hormigón que realiza en una sola vez (amasada).

Sea cual sea el número de probetas, su volumen siempre es considerablemente menor que el volumen del hormigón necesario para realizar el ensayo de control con probetas cilíndricas de 15×30 cm.

A esta semejanza que se quiere representar entre la proporción de las probetas cilíndricas de un tamaño u otro podría añadirse que esta presencia de arena de tamaño superior a 5 mm e inferior a 10 mm, en las probetas A, acerca un poco la estructura interna a la de las probetas C.

Refuerza este criterio el hecho de que en las probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro, se pueden ensayar solamente hormigones en los que el tamaño máximo de la grava sea de 40 mm y, en las probetas cilíndricas de 4 cm de diámetro, el tamaño máximo es de 10 mm porque así queda limitado por fabricación de las probetas, que cumple con la semejanza antes citada.

Fabricación de probetas

Se fabrican 160 series de tres probetas:

- Estas series provienen de amasadas distintas, realizadas con la misma dosificación.
- De cada amasada se toman tres probetas cilíndricas de 15×30 cm (C) y tres probetas cilíndricas de 4×4 cm (A).
- Al romper las tres probetas de cada tamaño, se obtiene un solo valor medio que representa la amasada.

Las 160 series de tamaño 4×4 cm (A) y las de 15×30 cm (C), han supuesto la fabricación y rotura de 480 probetas de un tamaño y 480 del otro tamaño.

Cálculos sobre valores obtenidos

De cada amasada (en la que se han tomado tres pequeñas probetas del mortero de la amasada), se han tomado tres probetas de hormigón de

15 × 30 cm normalizadas, que se han curado en cámara húmeda de 99 % de humedad relativa y 20 ± 2 °C de temperatura.

En la toma, conservación y rotura se han seguido las Normas UNE 7240 y UNE 7242, así como las prescripciones que aconseja el folleto editado por la Asociación Española para el Control de la Calidad en su Comité de Construcción y las normas en estudio del INCE, para ensayos de resistencia a compresión del hormigón.

Por cada toma de ambas series de probetas de una amasada se ha abierto una ficha que identifica las condiciones del hormigón y las probetas; para una mejor ordenación, figuran los tres valores de rotura de las probetas y el valor final medio, representativo de la amasada. Así se tiene un pequeño historial de cada amasada, en cuanto a la toma de muestras y resistencias se refiere.

Se calculan por ordenador las tensiones unitarias de rotura en ambas probetas A y C.

A partir de estos valores, se obtienen:

— Σ de tensiones unitarias de rotura de \bar{A}	=	78895,432
— Σ de tensiones unitarias de rotura de \bar{C}	=	34296,296
— Cuadrado de las diferencias $(A - \bar{A})^2$	=	18066
— Cuadrado de las diferencias $(C - \bar{C})^2$	=	4545
— Cuadrado de Σ A	=	389211224
— Cuadrado de Σ C	=	7334600
— Producto de Σ de A por C	=	16893651

Los valores medios de A y C obtenidos, son:

$$\bar{A} = \frac{78895,432}{160} = 493,096 \text{ kp/cm}^2$$

$$\bar{C} = \frac{34246,296}{160} = 214,039 \text{ kp/cm}^2$$

ERRORES PROBABLES

Error probable máximo de A:

$$S_A^2 = \frac{18066}{159} = 113,622$$

$$S_A = \sqrt{113,622} = 10,659$$

$$\Sigma_A = \frac{S_A}{\sqrt{159}} \times 2,06 = \frac{21,957}{12,609} = 1,741 \%$$

Error probable máximo de C:

$$S_C^2 = \frac{4545}{159} = 28,584$$

$$S_C = 28,584 = 5,346$$

$$\Sigma_C = \frac{S_C}{\sqrt{159}} \times 2,06 = \frac{5,346}{12,609} = 0,912 \%$$

Errores totalmente admisibles.

Recta de regresión

Los puntos obtenidos, dibujados en un sistema cartesiano de ejes correspondientes a A y C, forman una nube de puntos entre los que puede representarse una recta (figura 5); la recta de regresión, corresponde a la ecuación lineal.

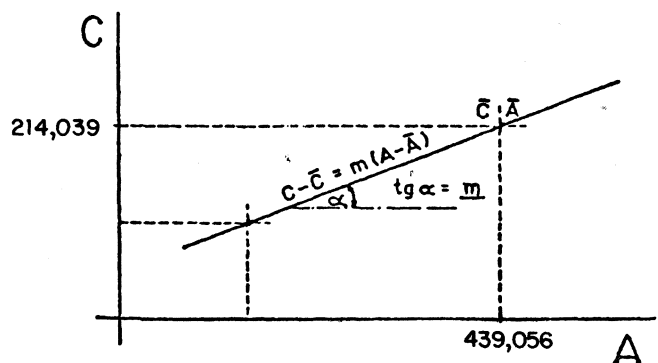


Fig. 5.

$C - \bar{C} = m(A - \bar{A})$ sustituyendo valores
 $C - 214,039 = 0,3832(A - 493,096)$
 y obtiene el valor m también por ordenador.

Para un punto A_i el valor correspondiente de C_i es:

$$C_i = m A_i - m \bar{A} + \bar{C} \text{ en la que:}$$

A_i es conocido y $(m \bar{A} + \bar{C})$ es una constante que llamamos K_1

$$C_i = m A_i - K_1$$

La recta estudiada de regresión no quiere decir que todos los puntos estén alineados y dentro de esa recta, pero sí muy próximos a ella.

Otra forma de obtener valores de correlación

Los resultados obtenidos en estos ensayos son tales, que es suficiente utilizar la relación entre los valores medios para obtener un valor de conversión que difiere muy poco de la recta de regresión.

En efecto:

$$\frac{\bar{A}}{\bar{C}} = \frac{493,096}{214,039} = 2,303$$

Luego, a cualquier valor de A, le corresponde un valor de:

$$C = \frac{\bar{A}}{\bar{C}}; \frac{\bar{A}}{\bar{C}} \text{ es una constante que llamamos } K_2$$

$$C = \frac{A}{K_2}$$

Para comprobar este extremo, se calcula el valor de C, para todos los puntos de A por los dos sistemas:

$$C = m A - K_1 \text{ y } C = \frac{A}{K_2}$$

y se expresan en tanto por ciento las diferencias.

Se utiliza la siguiente notación:

(1) **CR** = Valor de C obtenido por la recta de regresión para cualquier valor de A.

CM = Valor de C obtenido por la relación de los valores medios.

(1) **CR** = $0,3832 (A - 493,096) \pm 214,039$

(2) **CM** = $\frac{214,039}{493,096} \times A$

$\underline{CR - C}$ = Valor absoluto de la diferencia CR y C.

$\underline{CM - C}$ = Valor absoluto de la diferencia CM y C.

$$100 * (\underline{CR - C}) / C = \frac{CR - C}{C} \times 100,$$

porcentaje de error sobre el valor real de C por estimación de CR.

$$100 * (\underline{CM - C}) / V = \frac{CM - C}{C} \times 100,$$

porcentaje de error sobre el valor real de C por estimación de CM.

Realizados estos cálculos, se observa, que los errores máximos y mínimos, son:

Máximos: $\left\{ \begin{array}{l} 4,276 \% \text{ sobre el valor real de C por estimación CR.} \\ 3,773 \% \text{ sobre el mismo valor real de C por estimación CM.} \end{array} \right.$

Mínimos: $\left\{ \begin{array}{l} 0,116 \% \text{ sobre el valor real de C por estimación CR.} \\ 0,123 \% \text{ sobre el mismo valor real de C por estimación CM.} \end{array} \right.$

En el siguiente cuadro se resumen los valores obtenidos:

Cuadro n.º 6

% de error	N.º valores sobre 160	% sobre 160 valores
De % a 1 %	72	45 %
De 1 % a 2 %	52	32,5 %
De 2 % a 3 %	28	17,5 %
De 3 % a 4 %	7	4,375 %
De más de 4 %	1	0,625 %
Totales	160	100 %

Estos valores son expresión por sí mismos:

El 77,5 % son errores menores del 2 %.

El 21,875 % son errores menores del 4 %.

Y sólo el 0,625 %, errores mayores del 4 % sobre una muestra de 160 valores.

CONCLUSIONES

Como recordatorio, basta enumerar todas las ventajas posibles:

- De orden numérico.
- De orden de espacio.
- De facilidad de movimiento.
- De orden económico.
- De ejecución.
- De orden administrativo.

La relación:

$$\text{Peso} \dots \dots \frac{A}{C} = \frac{118,626 \text{ g}}{12511,393 \text{ g}} = 0,009481$$

$$\text{Volumen} \dots \dots \frac{A}{C} = \frac{50,265 \text{ cm}^3}{5301,437 \text{ cm}^3} = 0,009481$$

es expresiva por sí misma.

En un ejemplo estudiado para este trabajo, se obtienen unos datos que permiten establecer una relación en costos:

- Costo de un control con probetas "C" = 1.028.000 Pts.
- Costo del mismo control con probetas "A" = 170.000 Pts.

$$\text{Relación de costos } \frac{A}{C} = \frac{170.000}{1.028.000} = 0,165369$$

que expresados en la relación:

$$\frac{C}{A} = \frac{1.028.000}{170.000} = 6,047058$$

que da una idea más clara:

Cuesta seis veces más el control con probetas "C".

De orden mecánico

- El transporte de las probetas es mucho más barato y fácil.
- Para transportar las probetas, que aproximadamente cubren el control de un lote, no es necesario utilizar unas pequeñas furgonetas, sino que se pueden llevar en un maletín.
- Para romper probetas tipo "C" es necesaria una prensa, por lo menos de 150 toneladas de fuerza de rotura; con esta prensa se puede llegar a hormigones con tensiones de rotura de hasta 850 kp/cm².
- Para romper probetas tipo "A" de alta resistencia, es suficiente con una prensa de 25 toneladas de fuerza de rotura.
- Se puede razonar igual con la retirada de escombros después del ensayo. Lo mismo que se lleva el material al Laboratorio para romper, hay que sacarlo luego y el costo es notorio.
- En el ejemplo citado, el transporte de probetas a romper y escombros, suponen:

504 probetas tipo "C"	=	6.305 kg
Escombros	=	6.305 kg
		12.610 kg
504 probetas tipo "A"	=	59,787 kg
Escombros	=	69,787 kg
		119,574 kg

De orden de espacio

El almacenamiento de probetas de 15 × 30 cilíndricas es un auténtico problema.

El romper 100 probetas cada día supone ocupar un gran espacio en el Laboratorio. También presentan problemas su peso y la dificultad de disponer una accesibilidad fácil a las probetas en una cámara con 3.000 probetas.

Es facilísimo el movimiento de probetas tipo "A" y su identificación del lote, fecha de toma, etc.

300 probetas tipo "C" pesan 36.000 kg
300 probetas tipo "A" pesan 360 kg

De orden administrativo

La tramitación de los partes de recepción, de identificación de muestras, etc., es sencilla y muy cómoda, facilitando este trabajo las fichas que se han empleado para llevar el control de nuestro trabajo.

La hoja o ficha de identificación de cada toma se debe rellenar en el mismo lugar de la toma, aunque el número de identificación se ponga en el Laboratorio, de acuerdo con el registro de entrada.

En el Laboratorio se han comprobado experimentalmente ventajas de carácter general:

- Sin influencia de los áridos gruesos.
- No afecta la posible concentración en una probeta de áridos mayores de 5 mm y menores de 10 mm, ni afecta tampoco la posible ausencia de áridos mayores de 5 mm en algunas probetas.
- La obtención del mortero de hormigón a ensayar se hace con gran facilidad por ser poca cantidad.
- Los ensayos con probetas de curado acelerado son mucho más baratos. En un baño térmico, donde caben cuatro probetas tipo "C", caben casi cuatrocientas probetas tipo "A".
- El volumen de la estufa para contener 18 probetas, que es el máximo necesario para un control a nivel intenso, es de 3,6 dm³, es decir, la cámara debe tener más medidas interiores de 8 cm de altura, 15 cm de ancho y 30 cm de largo.

Se puede alegar quizá que la obtención del mortero es más entretenida que la toma de probetas convencional, pero experimentalmente se ha comprobado que el proceso de toma del hormigón y tamizado del mismo, por una criba de 10 mm de malla, es muy sencillo y rápido.

CONCLUSIONES DE CARACTER GENERAL

- El remezclado del mortero para fabricar las probetas "A" es muy fácil y puede ser más homogéneo el mortero que el hormigón.
- Cuando las probetas "C" se fabrican hay que tomar muchas precauciones para que estén bien ejecutadas, compactadas por vibración o pinchazo.
- Hay que tomar precauciones especiales, una vez fabricadas, en su conservación en las

primeras edades (humedad, temperatura), cuando todavía están en obra.

- El cuidado con que hay que fabricar las probetas “A” hace que el personal destinado a la toma de estas probetas deba ser más cualificado.

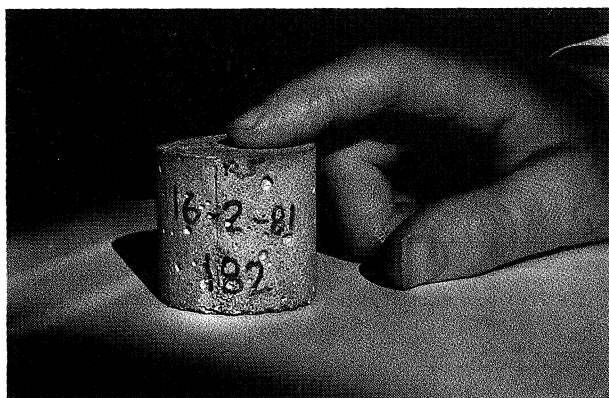
Estos factores, junto con su:

- Menor peso.
- Menor volumen.
- Menor costo.
- Mayor facilidad de toma.
- Mayor fiabilidad en el control de probetas.

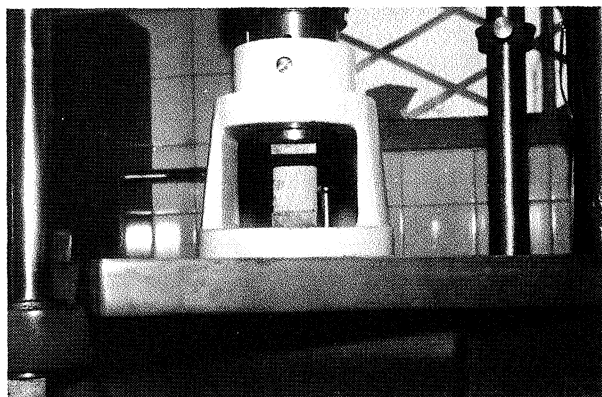
- Menor volumen de las cámaras.
- Mayor facilidad en el control de rotura.
- Mayor perfección en las probetas.
- Menor confusión en el momento de rotura.
- Menor dispersión en los resultados de rotura.
- Menor influencia de la excesiva humedad que tienen las probetas “C” con respecto a las probetas “A”,

hacen que la dispersión de valores esté dentro de unos límites mínimos y los resultados aberrantes dentro de una misma toma, que invaliden un ensayo, no se produzcan con facilidad.

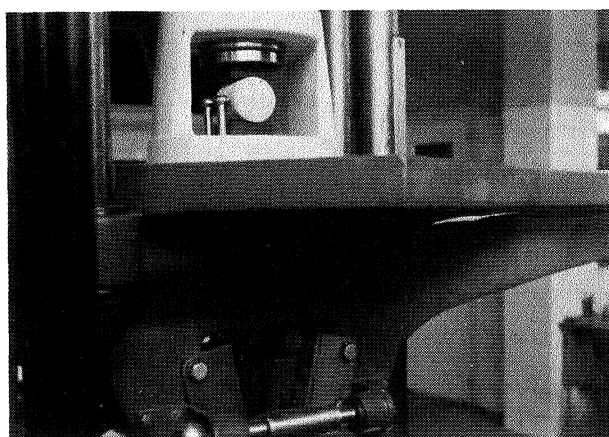
Documentación gráfica



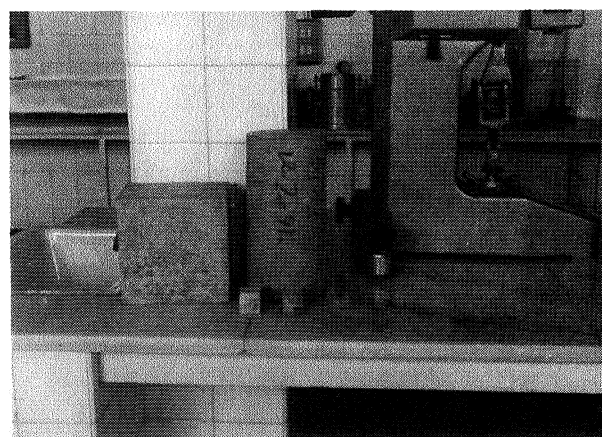
¿Por qué cilindros de 15 X 30 cm para obtener la resistencia a compresión del hormigón?



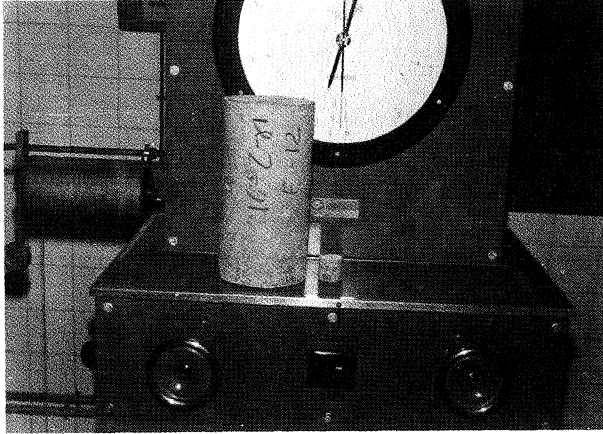
Probeta colocada en el soporte de rotura de la prensa.



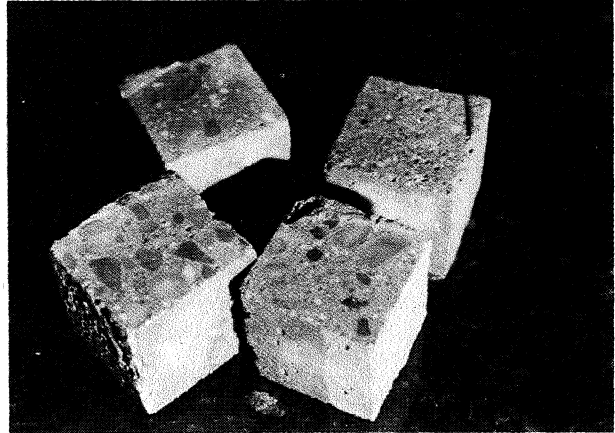
Esta fotografía se ha tomado desde otro punto de vista y permite observar con más claridad la posición de la probeta: las guías laterales para centrar la probeta; la parte inferior del puente de carga. La probeta se rompe en un plano diametral que une las dos generatrices de contacto.



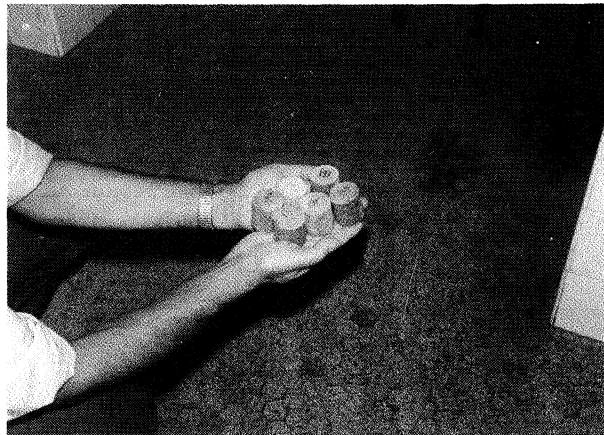
En esta fotografía se muestran nuevamente los tipos de probetas empleadas en el presente trabajo. Con estas probetas se han ensayado distintas dosificaciones, distintas edades de rotura, distintos cementos en los hormigones, distintas granulometrías y todo cuanto era preciso para tener datos suficientes en los que apoyar la idea de este trabajo.



En esta fotografía se muestra comparativamente una probeta «C» y una probeta «A», de las fabricadas para este estudio. Se pretende, con esta fotografía y otras siguientes, acostumbrar al lector a la gran diferencia de tamaño de las probetas, no sólo en el volumen sino también en la superficie, lo cual constituye una de las grandes ventajas del sistema MDH.



En esta fotografía se han humedecido y mantenido húmedas las probetas durante el trabajo o toma de datos, para que se destaque de una manera clara el tamaño y posición de los áridos. Los cuatro cubos pertenecen a distintas probetas prismáticas en las que se observan casos extremos de presentación de áridos. De estas secciones se han sacado dibujos y realizado recuentos para comprobar las hipótesis en las que se apoya este estudio.



Esta otra fotografía nos permite preguntar de nuevo: ¿pueden sostenerse con dos manos, si cupieran, más de setenta kilos? Es otra de las grandes ventajas del sistema MDH.