

CARACTERÍSTICAS MECANICAS DEL HORMIGON POROSO

J.J. ROSELL

Direcció General de Carreteres-Generalitat de Catalunya

A. AGUADO, J. DOLZ

Universitat Politècnica de Catalunya

RESUMEN

Si bien el hormigón poroso de cemento es cada día más utilizado en distintas aplicaciones de Ingeniería Civil, los trabajos sobre caracterización sistemática de su comportamiento no tienen un desarrollo paralelo y son escasos los estudios en este sentido.

En el presente artículo se incide en esta línea, presentando diversas características mecánicas (Resistencia a compresión, flexotracción, módulo de elasticidad, otras) y la influencia en las mismas de distintos factores (Edad a la puesta en carga, dimensiones de la probeta, otros).

Del trabajo se deriva la versatilidad para diseñar y preparar un hormigón poroso con ciertos requisitos mecánicos, en equilibrio con otras propiedades fundamentales del mismo (Permeabilidad, colmatación, otras).

1. INTRODUCCION.

Desde un punto de vista técnico, los requisitos principales a exigir a un hormigón poroso de cemento son: permeabilidad, resistencia y durabilidad. Las dos primeras características citadas son contrapuestas por lo que adquiere gran importancia, en el diseño y fabricación de estos hormigones, la búsqueda de un equilibrio entre ambas (1).

El rango de variación sobre este punto de equilibrio nos define un campo de aplicaciones en constante aumento, entre las que sobresalen las aplicaciones en carretera, ya sea formando parte de los dispositivos de drenaje o bien, como parte del firme de calzadas.

Hasta hace poco tiempo, los estudios realizados sobre el hormigón poroso, respondían todos a la necesidad concreta de una determinada aplicación, buscando establecer la formulación más

adecuada y la puesta en obra más eficaz (2), (3), (4), sin existir un cuerpo de doctrina consolidado.

Recientemente se han llevado a cabo una serie de estudios (1), (5), (6), dirigidos hacia el conocimiento de las propiedades intrínsecas del hormigón poroso, como son permeabilidad y resistencia y su relación con los parámetros de formulación, con independencia de la aplicación concreta a la que pueda destinarse el material.

Es en esta línea, donde se encuadra el presente artículo, cuyo objeto específico es estudiar diversas características mecánicas del hormigón poroso, principalmente la resistencia a compresión, analizando diversos factores tales como: edad del hormigón, dosificación, esbeltez, otros.

Tal como se ha dicho, en este trabajo se incide en distintos aspectos de las propiedades mecánicas de estos hormigones, siendo otras propiedades fundamentales de los mismos, tales como permeabilidad y colmatación recogidas en otros trabajos (7) y (8) respectivamente.

2. PLAN EXPERIMENTAL

Para la consecución de los objetivos anteriormente definidos se han establecido los siguientes estudios independientes:

- Variación de la resistencia a compresión en función del tipo de dosificación.
- Evolución de la resistencia a compresión en el tiempo.
- Relación entre las resistencias obtenidas con distintos tipos y tamaños de probetas.
- Relación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión en un hormigón poroso.

En el Cuadro 1 se ofrece el número y tipo de probetas fabricadas para cada estudio. En él puede verse que las dimensiones usuales de las

HORMIGONES

INFLUENCIA O RELACION DEL PARAMETRO ESTUDIADO CON R_c	TIPO DE PROBETA	NUMERO
DOSIFICACIÓN DE CEMENTO TAMANO MAXIMO DEL ARIDO. DENSIDAD APARENTE. PROPORCIÓN DE ARIDO FINO	CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 18$ CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 18$ CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 18$ CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 18$	63 54 24 108
EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO	CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 18$	90
RELACION ENTRE R_t , R_i , R_c	PRISMATICAS $10 \times 10 \times 40$ CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 30$	24 48
ESBELTEZ DE LA PROBETA	CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 30$ CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 22.5$ CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 15$ CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 7.5$	16 16 16 16
MODULO DE ELASTICIDAD Y R_c	CILINDRICAS $\varnothing 15 \times 18$	21

CUADRO 1.

R_c = Resistencia a compresión.
 R_t = Resistencia a flexotracción.
 R_i = Resistencia a tracción indirecta.

probetas son 15 cm. de diámetro por 18 cm. de altura ($\varnothing 15 \times 18$). Ello es debido, tal como se indica con posterioridad, al empleo del martillo KANGO como sistema de compactación, permitiendo trabajar con probetas de densidad aparente prefijada.

El conocimiento de cómo varían las características del hormigón poroso en función del tipo de dosificación es conveniente para adecuar el hormigón a la necesidad requerida en cada caso. Las variaciones en la dosificación se han introducido contemplando tres contenidos distintos de cemento (160, 200, 240 Kg/m³), tres tamaños máximos del árido (12, 19, 15 mm.), cuatro densidades aparentes (1.70, 1.80, 1.90, 2.00 T/m³) y tres contenidos de árido fino (110, 220, 340 Kg/m³) para dos tamaños máximos distintos (12, 25 mm.). Con la combinación de estos valores se obtienen prácticamente todas las formulaciones usuales para los hormigones empleados en carreteras.

El adaptar los procesos constructivos a la capacidad de respuesta que en cada momento presente el hormigón, o el querer inferir resistencias últimas a partir de resultados a cortas edades, obliga a conocer el desarrollo en el tiempo del fenómeno del endurecimiento. Con este objetivo se ha determinado el valor de la resistencia a compresión a los 3, 7, 14, 28, 90 y 180 días de edad, período en que suelen producirse las variaciones más significativas.

El conocimiento de la relación existente entre las resistencias a compresión, tracción indirecta y flexotracción de un hormigón, e incluso de la

variación entre resistencias obtenidas de probetas de dimensiones distintas, es condición necesaria para poder establecer un buen control de calidad del material. La mejor forma de caracterizar la calidad de un hormigón para pavimento es mediante su resistencia a flexotracción; sin embargo, del hormigón puesto en obra, no nos es posible extraer más que testigos cilíndricos de esbeltez prefijada, de los cuales debemos obtener toda la información.

Para el estudio de la relación entre las distintas resistencias se han confeccionado 4 series de 18 probetas cada una, distinguiendo, en cada serie, tres lotes correspondientes a probetas prismáticas ensayadas a flexotracción, cilíndricas ensayadas a tracción indirecta y cilíndricas sometidas a rotura a compresión, de manera que se obtengan de cada amasada, valores de las tres resistencias.

La variación de la resistencia a compresión con la esbeltez de la probeta se ha determinado a partir de 4 series de 16 probetas cada una, correspondiendo 4 probetas a cada una de las cuatro esbelteces contempladas, de forma que también de cada amasada se obtienen valores de la resistencia de las 4 esbelteces.

Por otra parte el auge que en los últimos años han experimentado los métodos racionales de cálculo de firmes obliga a un conocimiento profundo de las propiedades de los materiales y a la determinación del valor de ciertos parámetros, como es el módulo de elasticidad, que son entradas necesarias en estudios multicapa por métodos numéricos. En este sentido se ha llevado a cabo la determinación del módulo de elasticidad de algu-

nas probetas, y se han correlacionado los valores obtenidos con el de la resistencia a compresión presentada por cada probeta.

3. METODOLOGIA

Para la realización de las distintas operaciones y ensayos descritos en el Plan Experimental se ha aplicado la normativa que se indica en el Cuadro 2. En general se trata de normativa existente con España o en el extranjero y en algún caso en pequeñas adaptaciones a las particularidades del hormigón poroso.

En cuanto a la fabricación de las probetas se utilizó inicialmente el sistema de compactación basado en la mesa vibrante, limitando el tiempo de funcionamiento de la misma para evitar sobrecompactaciones. Las ventajas eran, principalmente, el disponer ya de ella y la comodidad de utilización. Sin embargo este sistema puede presentar como inconveniente el no obtener una constancia absoluta en la densidad aparente, aunque sus variaciones, y las consecuencias de las mismas, tenían una importancia relativa.

Posteriormente se puso a punto el método de compactación basado en el martillo KANGO, que presenta la ventaja de poder obtener probetas con una densidad prefijada aunque su utilización es más engorrosa. Se compararon los resultados obtenidos en probetas fabricadas por uno y otro método, y se observó, que siempre y cuando las densidades se ajustaran, los resultados eran prácticamente equivalentes.

La determinación del módulo de elasticidad se ha realizado mediante un esquema usual en laboratorio, midiendo con un LVDT la disminución que se produce en la distancia entre los platos de la prensa, registrándola para cada escalón de carga, de manera que se obtiene, directamente, el diagrama carga-desplazamiento. Los resultados obtenidos de esta forma se han contrastado favorablemente con un sistema de galgas pegadas.

El valor adoptado como módulo de elasticidad viene dado por la expresión:

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

donde σ_2 es la tensión correspondiente al 40% de la rotura, ϵ_2 la deformación asociada al nivel tensional anterior, σ_1 la deformación de valor 50 $\mu\text{mm/m}$ y ϵ_1 la tensión correspondiente a esta deformación.

En los estudios realizados se ha procurado contemplar siempre la variación de un único parámetro. En algún caso ello no ha sido posible, aunque se puede afirmar que la variación del segundo parámetro y su repercusión son irrelevantes frente a la obtenida por la variación del parámetro en estudio.

Por otra parte, los resultados que se facilitan a continuación, son valores medios de series o lotes diferenciados, obtenidos una vez eliminados los eventuales valores aberrantes detectados mediante la aplicación del Test de Dixon al 99% de confianza (9).

4. MATERIALES Y DOSIFICACIONES

Los áridos empleados en la fabricación del hormigón son de naturaleza caliza, de la cantera SADESA del macizo del Garraf, y han sido utilizados en las fracciones 0/5, 5/12, 12/19 y 19/25. El agua empleada corresponde a la red de suministro de Barcelona.

El cemento utilizado es el PA-350, según el pliego RC-75 (10) (de la firma SANSON). Este tipo de cemento parece el más indicado, dadas las resistencias relativamente bajas que en principio se le exigen al hormigón poroso.

En el estudio se ha trabajado con 9 dosificaciones distintas las cuales se presentan en el cuadro nº 3. Estas dosificaciones son el fruto de las combinaciones de los parámetros definidos con anterioridad en el plan experimental y cubren satisfactoriamente las distintas aplicaciones del hormigón poroso en carreteras.

La fabricación de las probetas se ha realizado en el Laboratorio de la Unidad de Tecnología de la Dirección General de Carreteras de la Generalitat de Cataluña.

A excepción del estudio sobre la variación de la resistencia a compresión con la densidad aparente, se ha buscado, tal como se ha dicho con

OPERACIONES/ENSAYOS	NORMATIVA APLICADA
— FABRICACION PROBETAS 15 x 18	ADAPTACION NLT 310
— FABRICACION RESTO PROBETAS	ADAPTACION UNE-7240
— CONSERVACION PROBETAS	UNE-7240
— ROTURA A COMPRESION	UNE-7242
— ROTURA A TRACCION INDIRECTA	NF P 18-408
— ROTURA A FLEXOTRACCION	UNE-7395
— DETERMINACION MODULO DE YOUNG	PROCEDIMIENTO PROPIO

CUADRO 2.

DENOMINACIÓN	19/25	12/19	5/12	0/5	PA-350	AGUA
D1	—	—	1350	375	160	100
D2	—	—	1300	360	240	120
D3	—	—	1590	110	200	80
D4	—	—	1480	220	200	90
D5	—	—	1360	340	200	110
D6	—	795	795	110	200	80
D7	—	740	740	220	200	90
D8	—	680	680	340	200	120
D9	740	740	—	220	200	80

CUADRO 3. Dosificaciones utilizadas en Kg/m^3 de hormigón.

anterioridad, obtener densidades similares dentro de cada estudio, con el fin de conseguir resultados comparables. En este sentido se ha obtenido como valor máximo de diferencia entre densidades $0.04 \text{ T}/\text{m}^3$, lo que equivale a variaciones del orden del 2%, prácticamente despreciables.

5. RESULTADOS Y ANALISIS DE LOS MISMOS.

5.1. VARIACION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION EN FUNCION DEL TIPO DE DOSIFICACION.

En la figura 1 se presentan los resultados de la resistencia a compresión en función de la variación del contenido de cemento para una relación a/c en el entorno de 0.5. En dicha figura se incluye asimismo los resultados obtenidos en (11) para dosificaciones con contenido de cemento de $350 \text{ Kg}/\text{m}^3$.

En la citada figura se observa que a medida que aumenta el contenido de cemento, crece la resistencia a compresión lo cual es lógico dada la estructura que constituye el hormigón poroso. Esta estructura está formada por una matriz de áridos gruesos unidos entre sí por los puentes que forman el mortero de arena y cemento. Así pues,

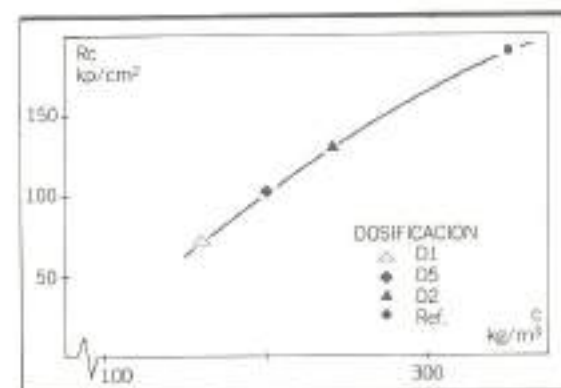


FIGURA 1. Relación entre la resistencia a compresión (R_c) y el contenido de cemento (c) ($a/c = 0.5$).

si el contenido de cemento es mayor, el número de puentes de unión aumenta o bien aumenta los puentes en sí y como consecuencia de ambos efectos, se precisa una carga mayor para romper la malla tridimensional que se forma.

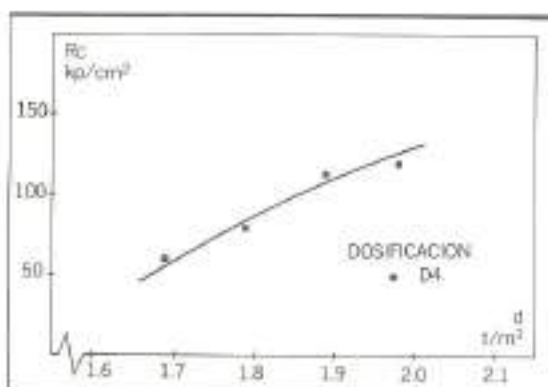
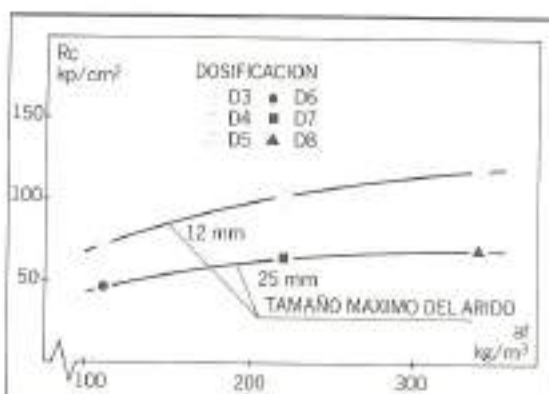
Una estructura de este tipo dependerá como es lógico del tamaño (máximo) de los áridos ya que este influye en el número de puentes que se establecen función del grado de empaquetamiento. Este hecho queda confirmado experimentalmente, tal como se muestra en el cuadro 4, en el que puede apreciarse que para la dosificación D9 con un tamaño máximo de árido de 25 mm, se obtiene una resistencia media a compresión de $55 \text{ Kp}/\text{cm}^2$ mientras que para la dosificación D4 con un tamaño máximo de árido de 12 mm se alcanza un valor de la resistencia medio de $97 \text{ Kp}/\text{cm}^2$.

En un hormigón normal, como es conocido, existen tres mecanismos de fisuración hasta la rotura: microfisuración y propagación en la interfase árido-mortero, formación de unas fisuras en el mortero, aleatoriamente y formación y propagación de fisuras con una dirección principal. Ahora bien, en un hormigón poroso, el segundo mecanismo tiene una importancia pequeña en relación a la importancia que adquiere en un hormigón normal debido a la estructura porosa del hormigón. En consecuencia las resistencias son menores y el tamaño máximo del árido incide de forma más significativa que en un hormigón convencional.

En la figura 2 se muestra la significativa influencia de la densidad aparente en la resistencia a compresión. Así al pasar de una densidad aparente de 1.7 a $2.0 \text{ t}/\text{m}^3$, se duplica la resistencia a compresión del hormigón de una misma amasada. Este hecho es debido, en nuestra opinión, a un mejor empaquetamiento de la matriz, favoreciéndose los puentes de contacto en ella y en consecuencia, dando una malla tridimensional más tupida que favorece el aumento de resistencia.

En la figura 3, se ofrecen los resultados obte-

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO EN MM	12	19	25
DOSIFICACION EMPLEADA	D4	D7	D9
R _c OBTENIDA (Kp/cm ²)	97	70	55

CUADRO 4. Variación de R_c con el tamaño máximo del árido.FIGURA 2. Relación entre la resistencia a compresión (R_c) y la densidad aparente (d).FIGURA 3. Relación entre la resistencia a compresión (R_c) y el contenido de árido fino (af).

nidos de la resistencia a compresión al variar el contenido de árido fino. Puede apreciarse que, cuanto mayor es el contenido de árido fino, mayor resistencia presenta el hormigón, y el fenómeno se acusa tanto más cuanto menor sea el tamaño máximo del árido. Evidentemente los contactos entre partículas se multiplican al aumentar la dotación de árido fino, lo cual hace incrementar la resistencia a compresión del material.

Aunque no se trate de una propiedad mecánica, conviene mencionar en este punto la permeabilidad como propiedad del hormigón poroso

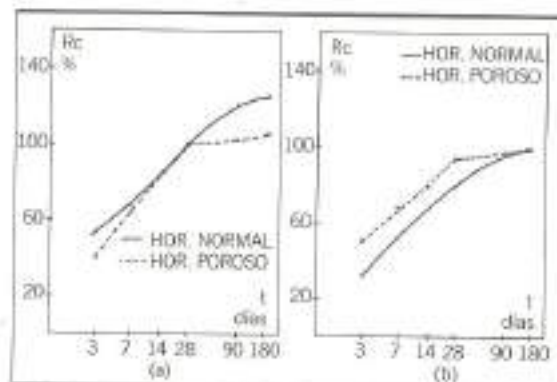
(1) que, en gran manera, también depende de estas variables estudiadas y en general de forma inversa, a como lo hace la resistencia a compresión. Únicamente se pretende con ello, poner de manifiesto este hecho que impide, a la hora de dosificar un hormigón poroso, adoptar aquellos valores de las variables que proporcionarían la máxima resistencia.

5.2. EVOLUCION DE LA RESISTENCIA A COMPRESION EN EL TIEMPO.

En las figuras 4a y 4b se muestran los resultados obtenidos de la evolución de la resistencia a compresión, expresada en tanto por ciento en relación a una referencia (28 y 180 días respectivamente), con el tiempo expresado en escala logarítmica.

En la figura 4a se observa la variación porcentual de R_c con referencia al valor a los 28 días, para un hormigón poroso y un hormigón convencional. Es de destacar cómo la evolución a primeras edades es prácticamente pareja para ambos hormigones, mientras que a partir de los 28 días, el hormigón poroso apenas adquiere mayor resistencia, cuando el convencional puede aumentar aún en un 20% ó 30% el valor correspondiente al de referencia.

En la figura 4b se ofrece la misma evolución anterior, tomando como referencia el valor de la resistencia a compresión a los 180 días. Puede observarse, cómo se produce una ganancia de resistencia más rápida en el hormigón poroso que

FIGURA 4. Evolución de la resistencia a compresión en el tiempo.
a) Referencia a 28 días
b) Referencia a 180 días

en el convencional, sobre todo a primerísimas edades.

Este comportamiento es debido a la mayor accesibilidad de la estructura porosa lo cual facilita las reacciones que se producen acelerando el proceso de endurecimiento en relación al correspondiente a un hormigón normal.

5.3. RELACION ENTRE LAS RESISTENCIAS OBTENIDAS CON DISTINTOS TIPOS Y TAMAÑOS DE PROBETAS.

Cualquier estudio en esta línea suele presentar dispersiones mayores que otros estudios debido a la gran cantidad de parámetros que intervienen. Entre ellos, y de gran incidencia en el hormigón poroso, el sistema de compactación. No obstante los resultados obtenidos son muy significativos del comportamiento tal como se muestra a continuación:

- La resistencia a flexotracción se sitúa (como valor medio) en el orden del 24% de la resistencia a compresión, mientras que en el hormigón convencional dicho valor está alrededor del 16%.
- Los resultados de la resistencia a tracción indirecta dan un valor del 15% respecto a la resistencia a compresión en el hormigón poroso, mientras que en hormigón normal este valor se sitúa alrededor del 10%.
- Por último, la relación entre la resistencia a tracción indirecta y a flexotracción se sitúa en el entorno del 63% para un hormigón poroso y del 52% para un hormigón convencional.

Los resultados anteriores se justifican en nuestra opinión por la menor energía que se precisa para propagar una fisura de acuerdo con el proceso de fisuración descrito con anterioridad. Así pues, en un hormigón poroso, la relación entre la carga correspondiente a la primera fisura y la carga de rotura es mayor que en un hormigón convencional.

En la figura 5 se presenta la relación entre la resistencia a compresión y la esbeltez (altura/diámetro) tanto en un hormigón poroso como en un hormigón convencional. La misma muestra que para un hormigón poroso la variación de la resistencia es pequeña (del orden del 20%) al pasar de una esbeltez de 0,5 a 2,0 mientras que en un hormigón normal esta variación es 4 veces mayor a la citada.

Estos resultados parecen indicar que la estructura porosa reduce las tensiones que se generan por el rozamiento entre plato de la prensa y probeta no permitiendo desarrollar un comportamiento triaxial que se da en el hormigón normal para esbelteces pequeñas (inferiores a 1).

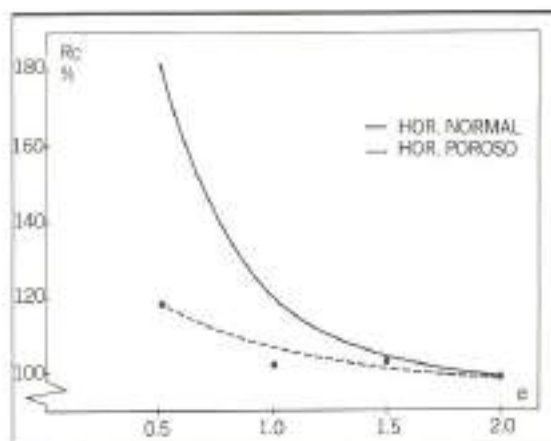


FIGURA 5. Relación entre la resistencia a compresión (R_c) y la esbeltez (e) de la probeta ensayada.

Este comportamiento diferencial entre ambos hormigones debe ser tenido especialmente en cuenta cuando se realice el control del hormigón poroso mediante extracción de testigos o en probetas con esbelteces diferentes al valor 2,0.

5.4. RELACION ENTRE EL MODULO DE ELASTICIDAD Y LA RESISTENCIA A COMPRESION.

En la figura 6 se presentan los pares de valores obtenidos de la resistencia a compresión (R_c) y del módulo de elasticidad (E) correspondientes a una misma probeta. Ajustando dichos valores mediante una recta por mínimos cuadrados se obtiene la expresión:

$$E_c = -449 + 880 R_c \text{ (en Kp/cm}^2\text{)} \quad (2)$$

con un coeficiente de correlación $r = 0,86$.

Ahora bien dadas las limitaciones de la muestra (21 resultados), y la dispersión usual en la

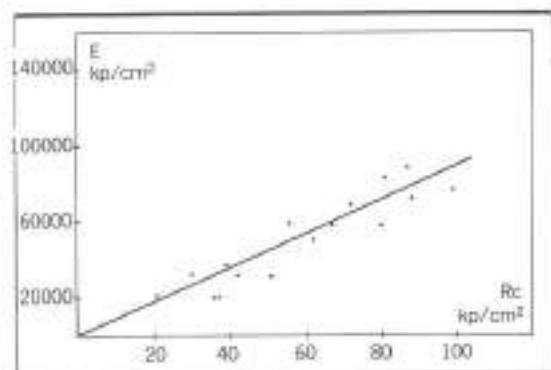


FIGURA 6. Relación entre el módulo de Elasticidad (E) y la resistencia a compresión (R_c).

obtención del módulo de elasticidad parece más recomendable para el proyecto utilizar un valor más simple si bien próximo al definido con anterioridad. Este valor es:

$$E_c = 900 R_c \text{ (en Kp/cm}^2\text{)} \quad (3)$$

Estos resultados para el rango de resistencias estudiados discrepan significativamente del valor propuesto por la normativa española (lo cual es lógico ya que no son campos comparativos de resistencias) si bien están en línea con los resultados experimentales presentados por FERNÁNDEZ GÓMEZ en (12) para valores en ese rango de resistencias.

6. CONCLUSIONES

Como conclusión global de este trabajo cabe señalar la posibilidad actual de diseñar un hormigón poroso "a medida" de las exigencias requeridas para cada aplicación específica, en coordinación con las otras propiedades principales de estos hormigones (permeabilidad, colmatación).

Las conclusiones específicas del artículo en relación a las propiedades mecánicas del hormigón poroso son:

- Su resistencia a compresión aumenta con el contenido de cemento siguiendo una ley parecida a la de un hormigón convencional.
- Asimismo, presenta cierta dependencia del contenido de árido fino y de la densidad aparente, lográndose en este último caso a duplicar la resistencia al pasar de una densidad 1,7 a 2,0 t/m³.
- La resistencia a compresión presenta una relación inversa respecto al valor del tamaño máximo del árido.
- La accesibilidad de la estructura porosa favorece una ganancia de resistencia en primeras edades.
- La resistencia a compresión obtenida en probetas cilíndricas presenta una menor dependencia de la esbeltez de las mismas, que en el caso de un hormigón normal.
- Para diseño se puede tomar la expresión $E_c = 900 R_c$ (en Kp/cm²) para definir el módulo de elasticidad en función de la resistencia a compresión.

AGRADECIMIENTOS.

Los trabajos de este artículo se enmarcan dentro

del proyecto nº 2628/83 de la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica, a la cual queremos expresar nuestro agradecimiento.

REFERENCIAS

1. AGUADO, A., DOLZ, J., ROSELL, J.J.
"Aproximación al Hormigón Poroso". Revista Carreteras núm. 21. Enero-Febrero 1983.
2. NISSOUX, J.L., MERRIEN, P.
"Les bandes d'arrêt d'urgence en béton poreux. Etudes du matériau". Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées núm. 92. Nov-Dic. 1977.
3. MINISTÈRE DES TRANSPORTS FRANÇAIS.
"Réalisation des Chaussées en béton de ciment". Directive de la Direction de Routes et de la Circulation Routière. 1977.
4. RAIMBAULT, G., BALADES, J.D., FAURE SOULET, A.
"Quatre expérimentations françaises de chaussées poreuses". Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées núm. 137. Mai-Juin, 1985.
5. ROSELL, J.J., AGUADO, A., DOLZ, J.
"De la théorie à la pratique du béton poreux de ciment". 1.^{er} Congrès international du RILEM. Versailles-Paris, 7-11 Septembre 1987.
6. DOLZ, J., AGUADO, A., ROSELL, J.J.
"Estudio Hidráulico del Hormigón Poroso". Próxima publicación.
7. TORTAJADA, A.
"Estudi hidràulic i resistent del formigó porós". Tesis de especialidad. ETSICCP Barcelona, Julio 1985.
8. ARMENGOU, J.
"Estudio hidráulico-resistente del hormigón poroso". Tesis de especialidad ETSICCP Barcelona, Julio 1987.
9. MINISTÈRE DES TRANSPORTS FRANÇAIS.
"Compactage des assises de chaussées traitées aux liants hydrauliques ou non traitées". Direction des Routes, 1982.
10. MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS.
"Pliego de prescripciones técnicas generales para la recepción de cementos". RC-75. Ministerio de Obras Públicas. Madrid, 1975.
11. VIVES, A.
"Ensayos y estudios realizados por la Dirección de Obra de la Central Nuclear de Ascó sobre hormigones y pretensado". Jornadas sobre técnicas de hormigón armado y pretensado en centrales nucleares A.T.E.P. Madrid, Mayo 1983.
12. FERNÁNDEZ GÓMEZ, J.
"Estudio experimental de la evolución de las características mecánicas del hormigón curado en diversas condiciones y su aplicación al cálculo de los procesos de desdoblado". Tesis doctoral. ETSICCP Madrid. Enero 1986.