

Calidad del hormigón. Propuestas sobre durabilidad

ENRIQUE MAYA MIRANDA
DR. ARQUITECTO

En el presente artículo se pretende aportar una visión ordenada del contenido de las propuestas sobre durabilidad analizándolas con una visión crítica, intentando aportar otras nuevas en el caso de que las actuales se consideren incorrectas ó incompletas.

Como conclusión, se aporta un articulado alternativo al establecido desde las propuestas, en lo que afecta a la durabilidad.

The present article intends to provide an ordered vision of the proposals on durability, analyzing them with a critical view, trying to provide new proposals whenever the present are considered incorrect or incomplete.

Las **Propuestas para mejorar la calidad del hormigón**, elaboradas por la Comisión Permanente del Hormigón con el objetivo de que sean estudiadas por parte del sector de la Construcción en general y conocer su acogida antes de su adopción reglamentaria mediante su incorporación en la revisión de la Instrucción EH-91, inciden fundamentalmente en tres aspectos básicos:

- Exigencia de una resistencia mínima 250 Kg/cm² para hormigón armado.
- Consideración específica de exigencias de durabilidad del hormigón.
- Definición de disposiciones constructivas, fundamentalmente de recubrimientos mínimos garantizados con la exigencia de separadores.

En lo que respecta a la durabilidad del hormigón, ya desde la introducción a las propuestas se señala *“la conveniencia de impulsar de forma decidida una mejora de la calidad del hormigón, potenciando su durabilidad...”*

Esta declaración inicial de intenciones tiene su lógica respuesta en el nuevo articulado ya que, en realidad, es en este punto en el que se establece un nuevo marco normativo, cubriendo en gran medida la indefinición de la actual instrucción.

En el presente artículo se pretende aportar una visión ordenada del contenido de las propuestas sobre durabilidad analizándolas con una visión crítica fundamentalmente desde las obras de edificación.

El análisis se realiza a partir de los datos obtenidos del trabajo de investigación realizado en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de Navarra (ETSAN) titulado **Estudio de la permeabilidad al agua de los hormigones fabricados con árido de las can-**

teras de Navarra en relación a los aportados en el **Estudio comparativo sobre las limitaciones de permeabilidad del hormigón en las normativas española y europea**, realizado en el CEDEX, y que ha servido de base para la definición de las limitaciones establecidas en las nuevas propuestas.

Con objeto de dotar de mayor claridad a este artículo, en lo sucesivo se designará como CEDEX y E.T.S.A.N. respectivamente los datos o análisis que provengan de los citados estudios.

PROPUESTAS SOBRE DURABILIDAD

Las propuestas sobre durabilidad se estructuran del siguiente modo:

Condiciones exigidas del hormigón. (Artículo 10.2.)

Obligatorias

- Resistencia a compresión
- Consistencia
- Tamaño máximo del árido
- Comportamiento según ambiente al que se expone

Casos especiales

- Permeabilidad, entre otras

La definición de estas características determina que el concepto de durabilidad va asociado al ambiente en que ese hormigón se va a encontrar inmerso. Los distintos ambientes quedan definidos en las propuestas (Cuadro 24.1) de forma que el proyectista debe “elegir” el adecuado en función del elemento estructural de que se trate.¹

Supuesto el ambiente, es posible definir las exigencias de durabilidad a través del control de cuatro variables distintas (Cuadro 24.4).

En concreto, la impermeabilidad al agua es una exigencia para cualquier hormigón a partir de ambiente IIIh.

AMBIENTE

	I	II	IIIh	III	III	IIIh	III	IV(*)
Máxima relación agua/cemento A/C	0,65	0,60	0,55	0,50	0,55	0,50	0,50	0,50
Mínimo contenido de cemento C (Kg/m ³) ²	Hormigón en masa	200	200	200	200	200	200	250
	Hormigón armado	250	275	300	300	300	300	325
Mínimo contenido de aire ocluido (%)	-	-	-	4,5	-	-	4,5	-
Necesidad de un hormigón impermeable ³	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

- Es preciso llamar la atención en este punto sobre la indefinición real en que se encuentra el proyectista dado que, salvo casos excepcionales, no se conoce la adecuación lugar-ambiente en ningún punto del Estado. Por ello, resulta imprescindible profundizar en la definición de estos ambientes. De lo contrario, es probable que el proyectista adopte una postura conservadora, suponiendo ambientes quizá excesivamente agresivos en relación a los reales.
- A la vista de los comentarios aportados desde las propuestas en relación a la consideración de las adiciones como contenido de cemento C a estos efectos, surge la indefinición sobre la consideración de éstas en caso de empleo de cementos tipo II. Por ello, también debiera definir en la futura nueva instrucción si en el contenido de cemento tipo II se computan o no las adiciones existentes en la propia composición del cemento.
- Aun cuando no se señale en el cuadro, a la vista de las determinaciones del articulado, esta impermeabilidad se refiere a la oposición al paso del agua en estado líquido. No estaría de más definir con precisión esta cuestión por cuanto las exigencias de impermeabilidad pueden referirse también al aire, vapor de agua ó cualquier otra sustancia líquida ó gaseosa.

En los casos normales de obras de edificación, las exigencias serán:

Hormigón visto

- A/C $\leq 0,55$
- C $\geq 300 \text{ Kg/m}^3$
- Hormigón impermeable Sí

Hormigón no visto

- A/C $\leq 0,65$
- C $\geq 250 \text{ Kg/m}^3$
- Hormigón impermeable No

La exigencia de impermeabilidad por razón de durabilidad resulta razonable a la vista los estudios teóricos existentes y su exigencia resulta a nuestro juicio correctamente justificada en los comentarios al artículo 65.2 de las propuestas

Exigencias constructivas

Se concretan en la previsión de unos recubrimientos mínimos en función del ambiente, garantizados con la disposición de separadores. En los casos normales de obras de edificación para hormigón visto, este recubrimiento será como mínimo de 25 mm.

Control de calidad del hormigón.**Control de la durabilidad**

Las nuevas propuestas se refieren al control de calidad del hormigón en general en el artículo 64 y al de la durabilidad en el 65.2.

Las características a controlar son lógicamente las que desde las propuestas se establecen como de obligada definición desde el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares, es decir:

- Resistencia a compresión
- Consistencia
- Durabilidad
- Tamaño máximo del árido

En lo que respecta al **Control de durabilidad**, en el artículo 65.2, se establece una doble exigencia:

- Control documental**, para controlar el cumplimiento de las exigencias respecto de la relación A/C y contenido de cemento, mediante la correspondiente **hoja de suministros** en caso de hormigón fabricado en central (bien externa, bien de la propia obra) ó "registros análogos" en caso de hormigón en obra.

- Control experimental**. Consiste en determinar, salvo en el caso de control reducido de resistencia, la profundidad de penetración de agua bajo presión de acuerdo a UNE. 83.309/90 actuando de acuerdo al siguiente proceso:

- Se toman tres probetas por cada tipo de hormigón (de distinta consistencia ó resistencia), pertenecientes, preferentemente, a una de las primeras amasadas de cada tipo.

- Se realiza el ensayo.

- Se obtienen las profundidades máximas de penetración y se ordenan de menor a mayor ($Z_1 < Z_2 < Z_3$).

4. Se obtienen las profundidades medias de penetración y se ordenan de menor a mayor ($T_1 < T_2 < T_3$).

5. Se acepta el tipo de hormigón ensayado si:⁴

$$Z_m = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3}{3} \leq 50 \text{ mm}$$

$$T_m = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3} \leq 30 \text{ mm}$$

6. En caso contrario se podrá, a juicio del Director de Obra y a costa del constructor, realizar un estudio de evaluación de los resultados y de las características reales del hormigón empleado.

COMENTARIOS SOBRE EL CONTROL DE LA DURABILIDAD

Analizando el contenido de las propuestas a este respecto puede señalarse lo siguiente:

1. Se parte de la consideración inicial de que, en general, los hormigones que garantizan con regularidad las resistencias exigidas en las propuestas (H-250) también van a garantizar la regularidad de los valores de penetración de agua. No obstante, como consecuencia de los complejos procesos que regulan la penetración de agua, que es función de la porosidad abierta y no la total, es posible que los valores de penetración incumplan con las exigencias establecidas.

2. Debe aceptarse también que, siempre que se parta de una correcta granulometría del árido, con las exigencias establecidas en cuanto a contenido mínimo de cemento y máxima relación A/C es presumible el cumplimiento de los valores de penetración exigidos.

El problema radica en conocer qué granulometría es la correcta para garantizar dichos valores de penetración, siendo posible que con granulometría adecuadas para la obten-

ción de resistencias, los valores de penetración sea excesivos.

3. Como consecuencia de las dos consideraciones anteriores, parece razonable la exigencia de controlar experimentalmente la permeabilidad. Sin embargo, la aplicación de las propuestas van a dar lugar, al menos en obras de edificación, entre otros a los problemas que se exponen en el punto siguiente.

4. En efecto, las Centrales Hormigoneras e incluso los fabricantes de hormigón a pie de obra, disponen de datos estadísticamente fiables sobre las resistencias a obtener con sus hormigones y pueden garantizar, en general, la obtención de los valores exigidos en proyecto. Sin embargo, no ocurre lo mismo en lo que se refiere a la permeabilidad al agua de esos hormigones. Con las condiciones de ensayo exigidas desde las propuestas, puede ocurrir que, suministrando un hormigón correctamente dosificado para obtener la resistencia solicitada y con los contenidos correctos de cemento y relación agua/cemento para obtener la adecuada durabilidad, aquel sea rechazado por incumplir con los valores de penetración de agua exigidos en cuyo caso el responsable del incumplimiento es el Constructor, a cuyo cargo serán los costes derivados de ese incumplimiento.

Por otro lado, es un hecho que la falta de durabilidad de las estructuras de hormigón no es ni mucho menos la mayor causa de patologías en edificación⁵. Sin embargo, el problema resulta mucho más grave en obras de ingeniería en las que el empleo del hormigón se produce a gran escala y en las que las protecciones superficiales resultan costosas y de casi imposible mantenimiento.

Por ello, puede resultar razonable diferenciar las obras de ingeniería de pequeño tamaño y de edificación del resto de obras de ingeniería.

4. Desde las propuestas se indica que está en elaboración una investigación experimental que vendrá a corroborar o modificar estos límites.

5. Según datos aportados desde el trabajo **Siniestrabilidad arquitectónica**, los costes por siniestros en obra de edificación por causa de la estructura apenas suponen el 25% el total, por lo que debe aceptarse que los derivados de la falta de durabilidad de las estructuras de hormigón deben ser muy inferiores a ese porcentaje.

COMENTARIOS SOBRE EL CONTROL DOCUMENTAL

De las determinaciones establecidas desde las propuestas se deduce que el control documental del hormigón fabricado en obra va a resultar muy difícil de llevar a cabo en la práctica. La indefinición sobre el carácter de los “registros análogos” va a conllevar que, al menos en obras de edificación, éstos no se efectúen con regularidad. Y en todo caso, la dificultad mayor va a radicar en el control real de la relación A/C.

COMENTARIOS SOBRE EL CONTROL EXPERIMENTAL

1. Debe entenderse, en primer lugar, que este control sólo debe realizarse obligatoriamente en los casos en que se exija hormigón impermeable (no en todos los ambientes, en virtud del cuadro 24.4 la exigencia de durabilidad conlleva la impermeabilidad). Es decir, que un hormigón se considera impermeable sí, sometido al ensayo de profundidad de penetración de agua, da lugar a unos valores de penetración inferiores a unos valores dados. Aun cuando esta indefinición queda aclarada en el apartado 65.2.1. entendemos que resultaría más correcto introducir ya desde el articulado general esta aclaración modificando el artículo 65.2.b de acuerdo a la redacción que se recoge en las conclusiones.

2. La lectura del articulado: “... el ensayo se realiza sobre tres probetas del hormigón perteneciente, preferiblemente, a una de las primeras amasadas de cada tipo”, da a entender que en realidad se propone un ensayo de control (se realiza tomando muestras en obra). Sin embargo, parece que la filosofía del ensayo está más en verificar con carácter previo que el hormigón va a responder al ensayo de permeabilidad, justificando tanto con el posterior control documental como con el

de resistencia que esas exigencias van a resultar suficientes para garantizar su durabilidad.

Nos encontramos pues ante un ensayo que ni es previo (no tiene por objeto verificar la idoneidad de la dosificación), ni es característico (no se realiza antes del inicio de obra con el empleo de los medios propios del contratista), ni es de control (por no ser un ensayo realizado de forma sistemática ni estadísticamente fiable), pero de cuyo cumplimiento es responsable el Constructor.

3. En este sentido debiera aplicarse lo señalado a los comentarios al Art. 67º de la Instrucción EH-91 (que no ha sido modificado desde las nuevas propuestas) de forma que se realicen ensayos previos de permeabilidad al objeto de verificar a este respecto la idoneidad de la dosificación y, en concreto, el estudio de la granulometría. Una vez conocida cual debe ser esa granulometría, el suministrador deberá garantizar ésta en su dosificación, definiéndola en su hoja de suministros.

Ante el caso habitual de hormigón preparado, bastaría con que la propia central hormigonera justificara mediante el correspondiente control de calidad la regularidad de los valores de penetración de agua, haciendo sus correspondientes ensayos, de forma que al designar el ambiente para el que el hormigón está dosificado, no sólo se refiera a los valores del contenido de cemento y relación agua/cemento, sino también a su consideración de “hormigón impermeable”.

En caso de hormigón fabricado en obra, se deben realizar ensayos previos y característicos.

4. Respecto de los ensayos de control, es necesario admitir que su complejidad, el escaso número de laboratorios acreditados capaces de realizarlo en este momento y la escasa experiencia al respecto imposibilita su aplicación en la práctica. En este sentido, nos remitimos al artículo pu-

blicado en el nº 10 de esta RE, pags. 15 a 21 que, con el título **Consideraciones para la definición de los ensayos de control de permeabilidad al agua del hormigón**, aportaba una sistemática para la realización de los ensayos, y demostraba la dificultad de llevarlos a la práctica. No obstante, en función de la agresividad del ambiente y del tipo de obra, resultaría razonable su exigencia

5. Con los criterios señalados entendemos que no puede admitirse lo indicado en el artículo 65.2.2. de las propuestas al no exigir el control experimental de durabilidad en caso de control reducido de resistencia por cuanto de ser así, debiera entenderse que aquellos hormigones a emplear en obras de escasa importancia garantizan su durabilidad sólo con el control documental, con independencia del ambiente en que se encuentren, lo que resulta contradictorio con lo exigido en el Cuadro 24.4. Es más, en realidad la situación es la contraria por cuanto, en general, el control de resistencia supone una cierta garantía de durabilidad

Sin embargo, parece que en la filosofía de las propuestas subyace el criterio de evitar la realización de estos ensayos en obras de escasa importancia por su tamaño y cuantía económica, siendo esta una cuestión a recoger de forma más clara en aquellas.

COMENTARIOS SOBRE EL ENSAYO DE ACUERDO A UNE 83.309/1990

La Norma UNE 83.309/1990 fue objeto de un comentario específico desde esta revista (Ver RE nº 13. Pags. 61 a 71), entendiéndose que se definen en ella una serie de exigencias que debieran ser modificadas con objeto de hacerla más operativa. Con independencia de otras cuestiones es necesario referirse a cinco consideraciones básicas:

1. Para la realización de los ensayos deben tenerse en cuenta los siguientes escalones de presión:

- 100 Pa durante 48 horas.
- 300 Pa durante 24 horas.
- 700 Pa durante 24 horas.

Al menos en el caso de obras de edificación parece razonable el empleo de otros escalones de presión más acordes con lo que va a ser la realidad del hormigón durante su vida útil. En el caso de los ensayos realizados en la ETSAN la presión fue de 250 Pa durante 24 horas.

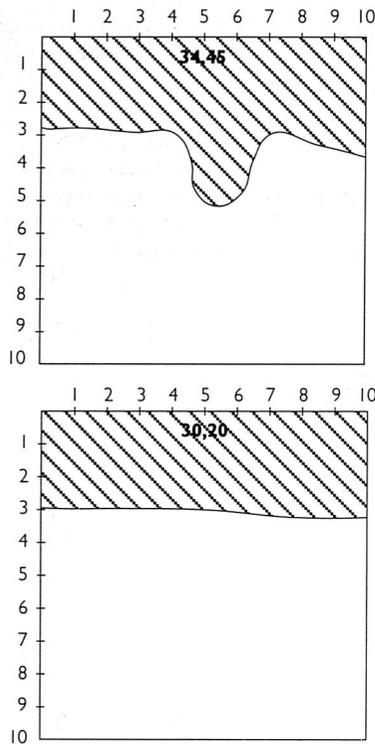
2. Los resultados del ensayo deben incluir el trazado del frente de penetración y no sólo los valores de penetración, por cuanto la evaluación de esos frentes es responsabilidad del Director de Obra y no del Laboratorio.

3. Las tolerancias en las presiones a aplicar (10%) y en la definición de los valores de penetración (redondeo a 5 mm) resultan excesivas. En lo que se refiere a este último caso, el ajuste debiera ser a 1 mm. En caso contrario, los errores que se cometen en la evaluación de los resultados son demasiados.

4. Los frentes de penetración de agua debieran definirse a partir de dos cortes en lugar de uno por cuanto con el sistema definido desde la norma, los errores cometidos resultan también excesivos.

5. La norma debe definir con precisión el tamaño de la probeta a ensayar o, en su defecto, las penetraciones admisibles según el tamaño de probeta, partiendo siempre de una relación 1/2 entre el diámetro de la superficie de contacto aparato-probeta y el diámetro o arista de ésta.

En cualquier caso, dado que, como es lógico, desde las propuestas se parte del ensayo de acuerdo a UNE 83.309/1990, es preciso recordar que con los escalones de presión exigidos, el ensayo va a requerir 4 días de trabajo en laboratorio (a efectos prácticos, una semana). Los aparatos de ensayo de mercado disponen de 3, 6 u 8 celdillas de ensayo, por lo



1. Frentes con y sin interpretación

que en ese tiempo, en casos normales, sólo será posible ensayar ese número máximo de probetas, salvo en caso de Central Hormigonera con laboratorio propio, en cuyo caso el Control puede resultar sistemático.

Partiendo de ese número, sólo va a ser posible ensayar una o, a lo sumo, dos amasadas por tipo de hormigón, por semana.

Si se compara este ensayo con el de resistencia se observa que en los previos, se ensayan, al menos, 4 amasadas de 3 probetas, es decir, 12 probetas, mientras que en los característicos, se ensayan 6 amasadas de probetas, es decir un total de 18.

En el caso del ensayo de profundidad de penetración se va a ensayar un número muy reducido de probetas, para controlar una característica poco conocida del hormigón.

En conclusión, se debe adoptar un criterio conservador en la evaluación de los resultados, siendo más correcto reducir las exigencias de penetración (50 – 30 mm) incrementando su control, que al revés.

SOBRE LAS EXIGENCIAS EN LOS VALORES DE PENETRACIÓN

Consideraciones de penetraciones medias y máximas

En algunos foros de debate ha surgido la discusión sobre si es adecuado

definir el valor de penetración de agua a partir de la penetración media o de la máxima o de ambas. Desde las propuestas se exige controlar los dos valores.

Entendemos que esta doble exigencia obedece a la consideración de la profundidad máxima como la medida teórica de penetración que se produciría en un elemento del mismo hormigón que el ensayado, pero de gran superficie, sometido todo él a la misma presión que aquel. Sería el valor al que tendería el máximo de la curva que forma el frente de penetración cuando el diámetro de la probeta (y por ello el de la superficie de aplicación de la presión) tendiera a infinito.

Si se considera un elemento de hormigón real, por ejemplo un muro de contención, la penetración de agua esperada al aplicar ésta con una presión determinada sería igual a la máxima obtenida por ensayo en igualdad de presión y tiempo, supuesto que la forma en éste se acomodara al frente teórico.

La exigencia de medir la penetración media nacería precisamente de la necesidad de realizar los ensayos sobre elementos finitos en los que la superficie de aplicación de la presión no coincide con la del elemento a ensayar y ante la previsible falta de coincidencia entre la curva teórica y la real.

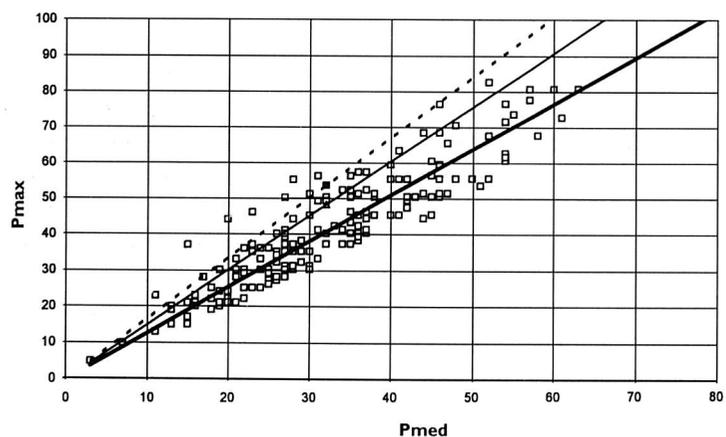
Pueden existir frentes con un reducido valor de profundidad máxi-

2. Relación entre P_{max} y P_{med}

$$P_{max} = 1,2329 P_{med}$$

$$R^2 = 0,8269$$

- Lineal (DATOS)
- - - Lineal (50/30)
- Lineal (60/40)



ma pero que, siendo ésta casi constante, presenten altos valores de profundidad media.

De alguna forma, la relación entre la profundidad media y la máxima mediría la adecuación de la curva obtenida a la teórica.

Según esta justificación, pues, la profundidad que define la permeabilidad sería la máxima, jugando la penetración media el papel de controlar el ajuste de la forma del frente al considerado como teórico en forma de bulbo.

Surge además otra cuestión de difícil valoración como es la consideración de los frentes de penetración irregulares que no coinciden con el teórico.

Entendemos que llegados a este punto caben dos opciones distintas y que es preciso elegir entre una de ellas:

1. Analizar los frentes de penetración obtenidos con un criterio restrictivo y de acuerdo a lo señalado en la Norma UNE 83309. En este caso se rechazarían las curvas que no presentaran una forma similar (de bulbo) a la recogida en la norma.

2. Analizar las curvas con un criterio más amplio, analizando los comportamientos generales de penetración del agua en el interior de la probeta, sin considerar en la medición de superficie de penetración elementos singulares claramente distorsionadores del frente aparente, normalmente derivados del efecto árido y borde (figura 1).

Para la elección de una u otra opción se parte de un criterio posibilista en el sentido de que las distintas curvas de penetración son reales, "están ahí" y tan ilógico sería aceptarlas sin analizarlas como rechazarlas sin más estudio. Entendemos que llegados a este punto debe optarse por la segunda opción

Sobre los valores de penetración exigidos

Desde las propuestas se adopta el criterio de establecer una limitación pa-

ra la penetración máxima de 50 mm. y de 30 mm. para la media. La adopción de este criterio se justifica en el ya citado trabajo del CEDEX sobre la base de una más lógica distribución de incumplimientos en este caso que con la consideración de una penetración media de 20 mm.⁶

En el estudio realizado en la ET-SAN se confirma este aspecto, al llegarse a una relación entre ambos valores de acuerdo a la siguiente relación (Ver Gráfico 1):

$$P_{\max} = 1,2629 P_{\text{med}}$$

Es decir, que para una penetración media de 30 mm. es previsible una máxima de 38 mm. lo que justifica la mejor adecuación de esta relación.

De acuerdo con el gráfico, existen 32 sobre 180 probetas que incumplen la relación definida en las propuestas (17%) mientras que la relación definida desde el Eurocódigo 2 sólo es incumplida por 6 (3%), lo que justifica la mayor idoneidad de aquella al no suponer ésta, en realidad, limitación alguna (figura 2).

No obstante, es preciso señalar lo siguiente:

1. Los ensayos ETSAN se han realizado con presión de 250 Pa durante 24 horas, por lo que los valores absolutos de penetración obtenidos no son comparables con los trabajos del CEDEX. En cualquier caso, es previsible que con la aplicación de los escalones de presión previstos en la norma UNE 83309 casi ninguno de los hormigones ensayados cumplirían con las limitaciones exigidas.

Pero lo que resulta más llamativo es el hecho de que en el trabajo del CEDEX las limitaciones sólo se cumplen por el 46% de los hormigones ensayados. Considerando sólo los hormigones de Laboratorio, (30 probetas), sólo dos probetas cumplen con las citadas limitaciones es decir, el 6,67 % del total. Si se parte de la base de que sólo 6 probetas presentaban

6. En el Eurocódigo 2 (ENV-206) se adopta un valor de 20 mm. para la penetración media y de 50 mm. para la máxima.

7. En el trabajo realizado en la E.T.S.A.N. se aporta un primer esquema de modelo teórico de penetración de agua en el interior del hormigón, del que se han tomado los valores que aquí se aportan.

BIBLIOGRAFÍA

1. COMISION PERMANENTE DEL HORMIGÓN: *PROPUESTAS PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL HORMIGÓN*". MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTE Y MEDIO AMBIENTE. 1994.
2. MAYA MIRANDA, E.: *ESTUDIO DE LA PERMEABILIDAD AL AGUA DE LOS HORMIGONES FABRICADOS CON ÁRIDO DE LAS CANTERAS DE NAVARRA*. TESIS DOCTORAL. E.T.S.A. DE LA UNIVERSIDAD DE NAVARRA. PAMPLONA. 1992.
3. GALLEGO ESTEVEZ, J.M., RODRÍGUEZ GARCÍA, F.: *ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE LAS LIMITACIONES DE PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN EN LAS NORMATIVAS ESPAÑOLA Y EUROPEA*. HORMIGÓN Y ACERO Nº 195, 1995.
4. ESCRIBANO VILLÁN, J.: *SINIESTRABILIDAD ARQUITECTÓNICA*. ED. C.O.A.V.N. BILBAO. 1994.

dosificaciones inadecuadas para la obtención de hormigón impermeable (por exceder la relación A/C de 0,55), parece obvio concluir con que los citados hormigones en general tampoco cumplen con esas limitaciones.

2. La relación entre penetraciones se ha obtenido a partir de la interpretación de los frentes de penetración eliminando los efectos árido y borde. Si se tiene en cuenta que esa interpretación resulta más favorable para los valores de penetración máxima que para los de la media, la relación 50-20 mm. puede ser adecuada si se toman los frentes tal como se obtienen tras el corte.

Si se consideran los frentes teóricos de penetración⁷ resulta que, para el caso de probetas de 150 mm. de diámetro la penetración media, en el momento que la máxima es de 50 mm. resulta ser de 20,49 mm. Es decir, que la exigencia 50-20 mm. responde casi exactamente a un frente teórico de penetración.

CONCLUSIONES

1. Las condiciones exigibles al hormigón para el logro de la durabilidad dependen del ambiente en que éste se vaya a encontrar inmerso y se concretan en cuatro limitaciones básicas: relación a/c; contenido de cemento; contenido de aire ocluido; impermeabilidad a partir de ambiente IIIh.

2. El control de las exigencias de durabilidad se concretan en el control documental (A/C y contenido de cemento, valores prefijados (30 y 50 mm. respectivamente)

3. En lo que respecta al control experimental, debiera señalarse con

claridad desde la futura nueva instrucción que estos ensayos tienen la consideración de previos para el caso de hormigones fabricados en central y de previos y característicos para el hormigón en obra, y que en ambos casos son obligatorios, señalando la posibilidad de realizar ensayos de control en casos de hormigones expuestos a situaciones especialmente agresivas, en este sentido, parece razonable, por un lado, vincular el ambiente al que va a estar expuesto el hormigón a la exigencia sólo de ensayos previos y característicos o también de control y por otro evitarlos en obras de escasa importancia en cuyo caso se deberá garantizar la durabilidad mediante los oportunos tratamientos protectores.

4. Se debe adoptar un criterio conservador en la evaluación de los resultados, siendo más correcto reducirlo

5. Resulta adecuada la exigencia establecida desde las propuestas de limitar tanto las penetraciones medias como, las máximas pero obteniendo los valores tras interpretar las curvas por el efecto árido y borde. Por eso, se plantea que desde el ensayo UNE 83.309/1990 se aporten los frentes de penetración, siendo el director de obra quien valore estos aspectos.

6. En lo que respecta a las relaciones entre penetración máxima y media, resultan razonables los valores propuestos para el caso de interpretación de frentes, partiendo de una exigencia más conservadora que la establecida en el eurocódigo 2, mientras que si no se hace así, la exigencia 50/20 permite un margen de seguridad ante los frentes irregulares.