

# COMENTARIOS A LA INSTRUCCIÓN E.H.E

Domingo Pellicer. Dr. Arquitecto

*Se analiza la nueva Instrucción de Hormigones Estructural (EHE); su espíritu, consecuencias, unidades utilizadas, bases de cálculo, durabilidad de hormigones, recubrimientos, ejecución de estos (su designación, compactación y curado), el control de calidad y el control de ejecución.*

## PANORÁMICA GENERAL: IDEA PRINCIPAL Y SUS CONSECUENCIAS

El Documento normativo que entró en vigor el 1º de julio de 1.999 modifica de modo importante el ‘hábito redactor’ de los textos que le preceden. En efecto, en el cuadro que a continuación se expone puede comprobarse una cierta uniformidad en lo esencial, desde la EH-73 a lo largo del tiempo: el mismo número de títulos, capítulos y prácticamente artículos e incluso anejos.

En cambio ahora –sin que el número de páginas del propio texto normativo haya aumentado de modo excesivo– se duplica el número de títulos, aumentan capítulos, artículos y anejos, apareciendo además unos ‘anexos’, curiosa forma de caracterizar a un grupo de anejos corrientes, pero referidos al anejo 13. De modo particular, el último de tales ‘anexos’ modifica la NBE AE-88, ‘Acciones en la Edificación’.

Conforme se señala en el preámbulo del Real Decreto 2661/1.998 de 11 de diciembre por el que se aprueba, se justifica la redacción de la Instrucción EHE por la necesidad de adaptación de la normativa española a las tendencias que, tanto a nivel internacional como en el ámbito europeo se han venido manifestando en relación con algunos aspectos de la tecnología de los hormigones: A) análisis estructural, B) estados límites, C) durabilidad, D) ejecución, E) control, F) hormigón de alta resistencia.

Se refunden en ella las EH-91, relativa al hormigón en masa y armado, y EP-93, de hormigón pretensado.

Junto a la conocida potestad del autor del Proyecto y del Director de Obra de adoptar soluciones distintas a las contempladas en la Instrucción, siempre que las justifiquen debidamente, se ofrece como opción alternativa en el citado Anejo 13 el Documento nacional de Aplicación (DNA) de la Norma Europea Experimental

UNE-ENV-1.992.1.1. Para manejar la opción, es preciso disponer del documento, aprobado por ‘AENOR’ en noviembre de 1.993.

El número total de Normas UNE o UNE-EN que debe ser manejado es de 106. Al hallarse incluidas en una Instrucción, es decir, un documento técnico de obligado cumplimiento, deberían ser también preceptivas; no obstante, no han sido publicadas en el B.O.E.– es ésta una práctica irregular, desde que se empezaron a incluir Normas UNE en las Instrucciones, sin que nunca haya sido denunciada– sino que deben ser adquiridas a un organismo de titularidad... (¿paraestatal? ¿privada?), previo pago de su importe. El coste de esta normativa adicional asciende a 187.874 pesetas. Está prohibida su fotocopia u otro tipo de reproducción.

En el anterior cuadro puede observarse cómo ha ido engrosando el volumen de normas colaterales con el paso del tiempo, y en consecuencia, tanto su dificultad de manejo como su coste. La actual redacción implica dos hojas y media de normas colaterales por cada hoja del texto oficial. El coste del ejemplar de EHE que se ha manejado para estos comentarios ha sido de 3.800 pesetas: la cuadragésimo novena parte del precio de la normativa colateral.

Quedan excluidos del ámbito de la Instrucción – y por lo tanto de cualquier normativa– los hormigones para armar cuya resistencia se encuentre por debajo de los 200 kp/cm<sup>2</sup> (con las nuevas unidades, 20 N/mm<sup>2</sup>) habituales hasta el momento. No quiere ello decir que no se puedan emplear; sólo que su empleo quedará bajo responsabilidad del que los use, que habrá de justificarlos debidamente, conforme al Art. 1.

Obsérvese a la par de lo anterior, la exigencia de un estudio geotécnico preceptivo entre los diversos documentos que constituyen el Proyecto (Art. 4), “...salvo cuando resulte incompatible con la naturaleza de la obra...”, expresión de ambiguo significado. No se vuelve a mencionar la cuestión, aunque sin embargo cada una de las demás exigencias, en concreto los documentos tradicionales del Proyecto, –Memoria, Planos, Pliego, Presupuesto–, se desarrollan en un subapartado.

Sigue costando trabajo admitir –porque ello no es nuevo en esta Instrucción– la minuciosa definición de los Documentos del Proyecto. No es una Instrucción de hormigones el lugar idóneo para algo tan genérico, que puede referirse a edificios de muros activos, estructura de acero o cualquier otro tipo ajeno al hormigón.

La cuestión de la durabilidad parece tener gran importancia en el espíritu de los redactores de la Instrucción: se destina completo el capítulo VII a tratar de dicho extremo, iniciándose incluso con el planteamiento de una ‘estrategia’, es decir, un plan para

	EH-73	EH-82	EH-88	EH-91	EH
Número de páginas	270	356	207	213	290
Número de títulos	3	3	3	3	6
Número de capítulos	10	10	10	10	16
Número de artículos	68	73	73	73	99
Número de anejos	7	7	8	8	13
Número de anexos	0	0	0	0	5
Páginas “ex norma”	72	45	42	48	148
Normas UNE citadas	27	27	70	74	106
Páginas de Norma UNE	82	82	285	319	721
Costo actualizado UNE	21.000	21.000	80.000	87.500	190.00



asegurar la durabilidad. El término empleado sugiere un ambiente militarizado frente a las ‘agresiones’ de los feroces ‘enemigos’ del hormigón armado o pretensado, a saber, la carbonatación y la corrosión. Agresiones que exigen ‘acorazar’ el hormigón; al menos eso significan todas las prescripciones generales de esa ‘estrategia’.

## UNIDADES, CONVENCION DE SIGNOS, NOTACION

Las unidades que se adoptan son las del Sistema Internacional de Unidades de medidas, S.I., declarado de uso legal en España, no coincidente con el Sistema M.K.S. La adaptación puede hacerse con facilidad; conviene tener delante el cuadro de correspondencias que figura en los comentarios al Art. 3º. A modo de recordatorio,

- para resistencias y tensiones:  
1 N/mm<sup>2</sup> = 1 MN/m<sup>2</sup> = 1 Mpa ≈ 10 kp/cm<sup>2</sup>.
- para fuerzas: 1 kN ≈ 100 kp.
- para momentos: 1 mkN ≈ 100 mkp.

En cuanto a la convención de signos y notación de la EHE, se adapta en general a las normas establecidas por el Comité Mixto CEB-FIP.

Desde un punto de vista práctico conviene llamar la atención sobre la nomenclatura de los hormigones a partir de la entrada en vigor de la Instrucción, el pasado 1º de julio.

Conforme al Art. 39.2, el tipo de un hormigón se definirá conforme al siguiente código:

(1)T - (2)R / (3)C / (4)TM / (5)A

en donde:

(1) T: Indicativo del empleo del hormigón. Puede ser HM (en masa), HA (para armar) o HP (para pretensado).

(2) R: Resistencia característica especificada, en N/mm<sup>2</sup>. La Instrucción recomienda las siguientes: 20, 25, 30, 35, 40, 45 y 50. El tipo R=20 sólo podrá usarse con HM.

(3) C: Letra inicial del tipo de consistencia, tal como se define en el Art. 30.6 de la Instrucción. Como en dicho artículo se permite definir la consistencia por su tipo o por el valor numérico de su asiento, podrá ser, en el primer caso S (seca), P (plástica), B (blanda) o F (fluida); y en el segundo, A0 (asiento entre 0 y 2 cm), A3 (asiento entre 3 y 7 cm) o A8 (asiento entre 8 y 12 cm). Convendrá especificar en el Proyecto que se emplea esta convención en este segundo caso de definición de consistencia por valor numérico de asiento, pues nada se dice en la Instrucción al respecto.

(4) TM: Tamaño máximo del árido en mm., definido en el Art. 28.2. Puede corresponder a la serie 63, 31,5, 16 y 8; pero también a la clásica 80, 40, 20 y 10.

(5) A: Designación del ambiente, de acuerdo con el Art. 8.2.1. Resultará de la combinación de una clase general de exposición a corrosión y una clase específica de exposición a otros procesos de degradación. La primera puede ser Qa, Qb o Qc, sola o combinada a su vez con heladas, sin sales fundentes, H, o con ellas, F, y/o con posible erosión, E.

La segunda irá precedida de un signo + tras la primera y puede ser I (atmósfera no agresiva); IIa (atmósfera normal, humedad alta); IIb, (atmósfera normal, humedad media); IIIa (atmósfera marina, aérea); IIIb (atmósfera marina, sumergida); IIIc (atmósfera marina, en zona de mareas); o IV (atmósfera con cloruros de origen diferente del medio marino).

Ejemplos: HA-25/B/16/ Qa + IIa,  
HM-20/F/31,5/ Qa + I  
HP-40/A3/8/ Qb H + IIb

Debe tenerse cuidado con los problemas formales que puede llevar aparejada tal complicación de la nomenclatura: no será difícil dar con alguna combinación irreal o incluso ontológicamente imposible. Por ello nos tememos que, aun reconociendo la voluntad del redactor, la cuestión de nomenclatura no pase de ser sólo algo retórico.

## BASES DE CÁLCULO ORIENTADAS A LA DURABILIDAD. ACCIONES

El tratamiento de las combinaciones de acciones que pueden producirse en cada caso -los denominados ‘valores representativos de acciones,- se hace conforme a los criterios establecidos por el CEB: una acción puede constituir un ‘valor característico’, un ‘valor de cálculo’, un ‘valor de combinación’, un ‘valor frecuente’ o un ‘valor cuasipermanente’. La formulación de acciones se lleva a cabo en el artículo 13 y es de mucha mayor complicación que su precedente de la EH-91, complicación que además contrasta con la sencillez que sobre el particular presenta la normativa americana (ACI).

A todas luces la cuestión es de carácter empírico y se acoge mal a la sombra de los planteamientos excesivamente teóricos, máxime teniendo en cuenta la formación científica media del usuario de la norma.

Las complicaciones a que nos referimos se derivan de la probabilidad –o si se prefiere, falta de ella,- de ponderar el valor real de las diversas cargas variables que, además de las permanentes, actuarán sobre cualquier estructura. Es razonable suponer que cuando una de esas cargas variables actúe con su valor característico –en cuyo caso se denominará ‘acción determinante’,– las restantes, o ‘acciones de acompañamiento’, lo harán con valores inferiores al propio característico de cada una. ¿En qué proporción? ¿Cuántas pueden ser las combinaciones? Y en consecuencia, ¿cuántas hipótesis de carga debe analizar el calculista? Sólo su buen sentido o su experiencia permitirá reducir el número de combinaciones que deben ser tenidas en cuenta.

Complicaciones cuya supuesta óptima combinación contrasta, por ejemplo, con su descenso a la práctica: su aplicación al dimensionamiento con un material al que se atribuye como hipótesis de manejo la homogeneidad, factor que desde luego no depende –dada la realidad concreta– de demasiadas exquisiteces teóricas.

## MATERIALES

En este apartado cabe reseñar la conocida desaparición de los hormigones de resistencia característica inferior a 20 N/mm<sup>2</sup>, antigua 200 kp/cm<sup>2</sup> para hormigones en masa; e inferior a 25 N/mm<sup>2</sup>, antigua 250 kp/cm<sup>2</sup> para hormigones armados; o dicho de otro modo, el desamparo normativo al que quedan sometidos dichos hormigones.

El objeto es evidente, se trata de un subterfugio para obligar al empleo de dosificaciones de cemento que garanticen la impermeabilidad –y en consecuencia la durabilidad– de los hormigones. Sin



embargo, no es en el Art. 30º-‘Hormigones’- donde se limita el contenido mínimo de cemento, sino en el 37º, -‘Durabilidad del hormigón y de las armaduras’-, y ello, en función del ambiente. Más adelante volveremos sobre la cuestión al tratar de modo específico de la durabilidad.

Por lo demás, en lo tocante a los áridos, se echa de menos algún criterio granulométrico. En efecto, sólo se establecen unas condiciones genéricas para la elección del tamaño máximo del árido, en función de las dimensiones de la pieza en que se vaya a emplear: ha de caber en ella. Sin embargo se plantea un huso granulométrico para el árido fino.

Se ha cambiado la tradicional serie de tamices 80-40-20-... - 0,16 mm por la nueva serie de 63-31,5-16 -8-4-2-1-0,5-0,25-0,125-0,063 mm, aunque quien haya redactado a su vez el Art. 69, en su apartado de dosificación de materias primas 69.2.4.2. ‘Áridos’ no parece haberse percatado pues sigue refiriéndose a ‘...tamaños máximos iguales o inferiores a 20 mm’.

En este mismo apartado se indica algo sorprendente: “...el árido deberá componerse de al menos dos fracciones granulométricas, para tamaños máximos iguales o inferiores a 20 mm y de tres fracciones granulométricas para tamaños máximos mayores...” Si, como se ha dicho, no se proporciona ningún criterio de composición granulométrica, un ciego cumplimiento de esa condición podría llevar a un desajustado.

Los criterios granulométricos han tenido por objeto tradicionalmente la obtención de una composición tan compacta como sea posible, de modo que al menos teóricamente el espacio intergranular vaya siendo ocupado de forma sucesiva por tamaños cada vez menores, de modo que el cemento –el tamaño inferior de gránulo en la composición seca– limite su misión a la mecánica de trabazón de los áridos, sin que en ningún caso la extienda a la de mero relleno de huecos intergranulares.

Naturalmente que dichos criterios se fundamentan en modelos ideales de forma del árido y por lo tanto, teóricos. Pero en la medida en que se optimice la granulometría del árido, se mejorarán también a la vez tanto la compacidad como la homogeneidad del hormigón: nos encontraremos en mejores condiciones para justificar algo más la antes comentada complicación de los principios de cálculo.

No puede olvidarse además que esta optimización de condiciones del material de partida se acusa de modo principal en el rendimiento del cemento, componente cuya dosificación cobra a la luz de la redacción de la EHE una gran importancia por su indiscutible influencia en la durabilidad.

Tanto si se adopta un criterio de granulometría continua como uno de granulometría discontinua, el huso granulométrico propuesto en la Instrucción para el árido fino no parece considerar que el tamaño máximo del árido, –cuya elección se hace por otros motivos,– no admite de ningún modo un campo tan extenso como ese huso para cualquiera. Así, sería posible dar con la paradoja de un hormigón con un tamaño grande de árido máximo y con una arena reglamentaria pero con una curva muy ajustada al límite inferior: si esa mezcla se dosifica de cemento con las cantidades también reglamentarias de la tabla 37.3.2.a para el ambiente en que se vaya a poner, se corre el riesgo de fabricar un verdadero... ¡hormigón sin finos!

No se hará así en la práctica: podrían darse tal vez unas instrucciones apresuradas y sin mayor fundamento científico, de aumentar la dosificación de cemento para mejorar otras propiedades del hormigón fresco que se habrán visto alteradas, como su

docilidad; o incluso, – aún peor,– de aumentar la dosis de agua. Pero aun en el primer caso sólo se habrá conseguido rellenar huecos con el componente más caro del hormigón, sin ninguna contraprestación desde el punto de vista mecánico.

## DURABILIDAD

Se trata de la cuestión estrella de esta Instrucción y se plantea porque presuntamente afecta a todos los intervinientes en el proceso constructivo.

Así, el Art. 37, – que por sí mismo constituye un verdadero capítulo, – pretende abarcar todas las fases del proceso constructivo, ofreciendo un amplio abanico de prescripciones y recomendaciones cuya consideración corresponde a todos los agentes en dicho proceso: al proyectista cuando selecciona la forma de la estructura, cuando especifica los materiales, establece los recubrimientos, etc.; al fabricante de hormigón cuando dosifica de modo adecuado los componentes; al constructor, responsable de la ejecución en general y que debe cuidar dos aspectos decisivos: la vigilancia de la colocación conveniente de separadores, y el adecuado curado del hormigón, del modo y con la intensidad que requiera el ambiente.

Pero antes hemos empleado el adverbio ‘presuntamente’, aplicado a los sujetos afectados por el problema de falta de durabilidad. Porque cabe observar el escaso número de Arquitectos y Arquitectos Técnicos que han intervenido en la redacción de la instrucción y por contra, la gran cantidad de Ingenieros, y de modo concreto, de Ingenieros de Caminos. Ello nos hace pensar que la cuestión tal vez no está correctamente enfocada, a causa del punto de vista desde la que ha sido planteada.

A grandes rasgos, el volumen de hormigón que se emplea en la construcción de estructuras arquitectónicas es proporcionalmente muy bajo –y aún más bajo, si se considera desde un punto de vista económico– frente al del resto de materiales que configuran una construcción arquitectónica. En fin, las partidas de hormigón, acero, encofrados, no constituyen más que una pequeña parte en el conjunto de las que se manejan en una obra, si bien se trata de una parte significativa: con frecuencia, la responsable de los fundamentos de estabilidad y seguridad del edificio.

En cambio, en la obra civil la proporción se ha invertido, de modo que las partidas de hormigones, aceros, encofrados, pueden ser casi las únicas y además son muy grandes. Y aunque, como en el caso anterior y aun de modo más acusado, su responsabilidad desde el punto de seguridad y estabilidad es decisiva, se explica bien la importancia que tiene el ahorro en cada una de ellas.

En especial, en lo tocante a los hormigones, ese ahorro se manifiesta de modo tradicional en la reducción de la dosificación de hormigones. Y así, una norma tan rígida en otros aspectos, al llegar a este punto se muestra ambigua y sólo de un modo muy tímido propone un límite inferior a la dosificación de los cementos, e incluso no lo hace al hablar de éstos, sino al referirse a los ambientes, en la tabla 37.3.2.a.

¿Cuál es el problema de los ambientes, la patología concreta respecto a la que la Instrucción está pasando de puntillas? Evidentemente la corrosión de las armaduras en la obra civil por la pérdida de los hormigones de su carácter protector; o bien, a causa de la escasez de recubrimientos, – para la que ahora se proclama la muy bien conocida necesidad de separadores, – o por la carbonatación, en la que son principales responsables, a mi juicio, la ya indi-



cada carencia de cuidado en la granulometría, la deficiencia en la dosificación de cemento y la falta de curado, de la que, como se verá más adelante, se preocupa también la EHE.

Llegados a este punto parece preciso trazar unos breves apuntes sobre el fenómeno de carbonatación.

Durante la disolución inicial del clinker tiene lugar una disolución inmediata del calcio en forma de hidróxido cálcico,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  también conocido como portlandita, quedando la solución saturada o incluso sobresaturada.

Una parte de la portlandita es fijada a partir del comienzo del proceso de fraguado por la tobermorita, nombre por el que se conoce a un gel de silicato cálcico hidratado que también se forma en ese momento, dando lugar a los conocidos silicatos  $\text{SC}_2$  y  $\text{SC}_3$ , responsables de las resistencias del cemento a plazo medio y largo. Otra parte de esa portlandita queda fijada por aluminatos, dando lugar de modo principal al aluminato tricálcico,  $\text{AC}_3$ , responsable a su vez de las resistencias a corto plazo y también del comparativamente mayor desprendimiento inicial de calor del cemento.

El fenómeno de la carbonatación se debe a la reacción del  $\text{CO}_2$  ambiental pero de preferencia de aquél que recoge de ambientes contaminados el agua de la lluvia, con aquella parte del hidróxido cálcico que no ha llegado a ser fijado ni por el gel de silicato ni por los aluminatos disueltos. Esta inestabilidad de los compuestos ha podido deberse a la falta de agua o a una excesiva pérdida de aquélla en las horas inmediatamente posteriores a la fabricación y puesta en obra del hormigón, en la mayor parte de los casos porque no se ha repuesto mediante curado la que se ha perdido por evaporación.

El resultado de esa reacción es el carbonato cálcico,  $\text{CaCO}_3$ , que es arrastrado por el agua dejando un progresivo volumen de poros en el hormigón expuesto al ambiente exterior, más acusado cuanto más cerca de la superficie se produce. Las condiciones de compacidad del material empeoran y con ello lo hace la protección que suponía inicialmente para las armaduras, que pueden ahora verse atacadas por los agentes exteriores.

Por lo general no se trata de un ataque fuerte, salvo si el ambiente está muy contaminado, pero en todo caso afecta a la durabilidad del hormigón, extremo éste cuya importancia ha quedado de manifiesto, como resulta evidente, en el espíritu de la vigente Instrucción EHE.

En última instancia el fenómeno de la carbonatación, –superficial, como hemos visto,– puede agravarse si el hormigón posee porosidad abierta; y ello sucede cuando el cemento de composición es escaso, en términos absolutos, disminuyéndose así la compacidad del hormigón. Pero también cuando lo es en términos relativos, esto es, cuando la granulometría general del árido es deficiente, sobre todo por no obedecer a criterio de composición alguno, en cuyo caso una parte indeterminable del conglomerante pierde su papel de tal, para pasar a actuar como un mero relleno.

El fenómeno de la carbonatación tiene escasa repercusión desde el punto de vista mecánico cuando se trata de hormigones que posteriormente van a quedar protegidos, aunque mientras no lo estén pueda manifestarse en forma de eflorescencias blanquecinas, que al secarse adoptan el aspecto de un polvillo blanco; puede tener alguna importancia, pero de otra índole, si el hormigón –o a veces el mortero,– ha de servir de soporte a algún tipo de revestimiento. En estos casos debe procederse a la limpieza previa del material con abundante agua.

Así, en construcción arquitectónica es muy frecuente que los hormigones queden protegidos, limitándose la posible agresión a los de las cimentaciones: en tal caso sí es conveniente adoptar pre-

cauciones, como las que señala la Instrucción e incluso más intensas si las circunstancias así lo aconsejan, aunque también haremos un comentario respecto a alguna de ellas, pues podría resultar incluso muy inconveniente.

Y cuando en alguna ocasión los hormigones podrían estar sometidos a un ambiente agresivo, es bastante corriente también que hayan sido proyectados como hormigones vistos: en cuyo caso, por otros motivos –generalmente de tipo estético– se dosifican con sumo cuidado y en unas proporciones que rebasan con generosidad las previsiones presuntamente mínimas que plantea la Instrucción.

Desde hace mucho tiempo la doctrina sobre fabricación de hormigones, erigida sobre una extensa práctica, viene ligando la durabilidad del material a su grado de permeabilidad. No es ésta una cualidad que se mida con facilidad, (a estas alturas la norma UNE al respecto es aún experimental) aunque desde un punto de vista empírico hay unas reglas de dosificación que, de ser respetadas, garantizan un elevado nivel de cumplimiento de tal propiedad:

- Granulometría continua o discontinua, pero sujeta a algún criterio.
- Cantidad de cemento  $\geq 325 \text{ kg/m}^3$ .
- Relación agua cemento  $\leq 0,55$ .

La segunda condición fue establecida en su momento para cementos consistentes principalmente en clinker de portland, aunque su validez pudo extenderse sin problemas a los cementos dotados de adiciones que en su día se denominaron ‘activas’. Esta denominación ha desaparecido en los Pliegos de Cementos, en los que entre las adiciones se ha colado de rondón la de ‘filler’ calizo, evidentemente inerte.

Tratándose de finos inertes, lo único que se les puede atribuir es su colaboración al desajuste granulométrico, de cuya nociva influencia en hormigones ya tenemos los primeros indicios. En obra civil, naturalmente.

Respecto a esa tercera condición, el empleo de aditivos plastificantes o superplastificantes la hace decisiva para quienes hemos de usar áridos que a causa de su excesiva fracción fina requieren un exceso de agua de premojado.

## RECUBRIMIENTOS

Tradicionalmente el recubrimiento de las armaduras en los hormigones ha tenido dos objetivos, uno activo cual es la protección de aquéllas garantizando su inmersión en el medio básico que constituye el hormigón; pero otro, pasivo, consistente en mantener tanto como se pueda la dimensión nominal de la pieza armada: en las piezas comprimidas es importante que el núcleo enclaustrado por la jaula sea el mayor posible; en las flectadas, que las armaduras a tracción se alejen lo más posible de la línea neutra.

En tal sentido, el recubrimiento debe tender a ser el mínimo imprescindible, y para conseguirlo es recomendable desde hace mucho tiempo emplear separadores que, por el motivo que sea, los constructores eran reacios a poner. Ahora la EHE exige su colocación y bienvenida sea esta exigencia.

Pero por los motivos que ya hemos expuesto en el apartado anterior, los redactores de la EHE desconfían de la durabilidad de los hormigones en las condiciones en que hasta ahora se han fabricado, y atacan el problema de modo simultáneo desde varios frentes, uno de los cuales es precisamente éste, el de los recubrimientos. La principal novedad del articulado al respecto es la aparición del denominado ‘margen de recubrimiento’ en función del nivel de ejecución.



Una vez establecido en recubrimiento mínimo en la tabla 37.2.5. según la clase de exposición del hormigón, y con objeto de ‘garantizarlo’ para elementos ‘in situ’ - la generalidad, en construcción arquitectónica - debe prescribirse un valor superior en 5 mm a aquél, o incluso en 10 mm, según que el control de ejecución vaya a ser intenso o no.

Es curiosa esta desconfianza. Se exige la introducción de separadores, se fija un valor mínimo –que con el uso de separadores es imposible no alcanzar, a no ser mediante sabotaje– y se exige además una garantía... aumentando el recubrimiento sobre el mínimo. No resulta fácil entender esta actitud casi insultante de la Administración hacia la generalidad de los técnicos a través de lo que se deduce de la redacción.

Pero la cuestión no estriba en un principio de susceptibilidad respecto al trato recibido por los técnicos de parte de la Administración, sino en algo mucho más pragmático como es la efectividad de todas esas medidas acumuladas.

Porque, en efecto, un exceso de recubrimiento puede dar lugar a una masa superficial de hormigón excesivamente alejada de la armadura más próxima; como al mismo tiempo la dosificación de cemento habrá aumentado, la probabilidad de fisuración por retracción conjunta aumenta también, con lo que lo hace el peligro de corrosión de las armaduras.

La propia Instrucción advierte la paradoja, pues en el punto d) del Art. 37.2.4. señala que cuando, por exigencias de cualquier tipo, el recubrimiento sea superior a 50 mm, “...deberá considerarse la posible conveniencia de colocar una malla de reparto en medio del espesor del recubrimiento en la zona de tracción...”. Una acusada fisuración por retracción ni siquiera necesita de 50 mm de espesor para producirse, basta con 40 mm. en un hormigón bien curado o incluso con 25 mm si el material no ha sido convenientemente curado.

Pero es que si se hace caso de la tabla 37.2.4. y con independencia de otros criterios para determinar más recubrimiento, el mínimo debido a la influencia del ambiente nada tiene que ver con el diámetro de las armaduras protegidas; por lo que si, llegado el caso, fuesen precisos 50 mm de recubrimiento..., ¡lo serían también para esa malla de reparto...! Porque si el objeto de la durabilidad es evitar la corrosión de las armaduras, lo de menos es que las primeras carezcan de responsabilidad mecánica: en cuanto se vean afectadas, ese primer “medio espesor” deja de ser efectivo, y entonces... sólo queda el otro medio.

Si a ello se añade que a las clases de exposición Qb y Qc la tabla asigna una llamada (\*) que a pie de aquélla especifica que “...el proyectista fijará el recubrimiento al objeto de que se garantice adecuadamente la protección de las armaduras frente a la acción agresiva ambiental...” sin que más que por el desarrollo ¿lógico? de la propia tabla pueda deducirse que los valores hayan de ser superiores a los anteriores, uno se pregunta, a la vista de los argumentos antes manejados si no hubiera valido más que todas las casillas de dicha tabla incluyesen la llamada (\*).

## EJECUCIÓN

Con relación a los criterios que respecto a la ejecución de hormigones han variado desde la anterior redacción, pueden hacerse tres observaciones: una, en lo tocante a la designación del hormigón, otra relativa al modo de compactación y la última finalmente sobre el curado.

## Designación del hormigón

Ya hemos visto antes cómo se complica la nomenclatura del hormigón. Ahora, en el Art. 69.2.8. la Instrucción nos indica que el hormigón fabricado en central podrá designarse por propiedades o por dosificación.

Realmente, la nomenclatura propuesta en el Art. 39.2. sólo es aplicable a los hormigones designados por propiedades, puesto que cuando se haya designado por dosificación deberá prescindirse de establecer la resistencia. Ésta será... la que salga de la dosificación.

En el primer caso, el suministrador es el responsable de la composición y ha de garantizar al peticionario que se cumplen todos y cada uno de los requisitos que figuran en la nomenclatura.

En el segundo caso –designación por dosificación– es el peticionario quien resulta responsable de la congruencia de las condiciones de dosificación que ha solicitado. Evidentemente no puede exigir la resistencia.

Por ello, se recomienda emplear sólo la designación por propiedades, pues de otro modo el hormigón ni siquiera podrá ser denominado, pues lo que no tiene nombre no tiene tampoco derecho –por indefinido– a acogerse a la Instrucción.

## Compactación del hormigón

En esta redacción se elimina referencia alguna a la frecuencia óptima del vibrador de inmersión en función del tamaño de árido, e incluso a la técnica de compactación en función de la consistencia. El empleo de fluidificantes o superfluidificantes hace que sea poco significativo el valor de la consistencia.

Se trata del reconocimiento de la gran casuística al respecto, sin que sea posible optar claramente por una técnica en concreto o, dicho de otro modo, sin que se observe influencia positiva o negativa del empleo de una u otra técnica, mientras se mantenga en un marco razonable. Buena lección, tal vez, para muchas otras cosas que la Instrucción se empeña en normalizar de un modo muy concreto, sin que esté claro que no haya más formas de llegar al mismo resultado.

## Curado del hormigón

En realidad el apartado de curado del hormigón, –Art. 74 EHE,– tiene en la práctica casi la misma redacción anterior. (Art. 20 EH-91) Sin embargo se aprecian cambios: el primero, formal, en cuanto que ahora el comentario al artículo es mucho más largo y ofrece un criterio para determinar el período de curado.

El segundo tiene más que ver con el espíritu de la instrucción: en efecto, el curado es una de las asignaturas pendientes del hormigón en lo tocante a su durabilidad. Desde mi punto de vista, si se pretende mejorar nuestros hormigones sobre ese particular, es fundamental empezar a poner en práctica las técnicas de curado.

Cabe señalar nuestra total coincidencia con el comentario de la EHE respecto a los métodos de curado, de que en general, aquéllos “...en los que se añade agua producen una estructura de poros más densa que los métodos que sólo impiden la desecación del hormigón...”.

En vista de nuestros criterios de organización de obra, la automatización del curado por aspersión es hoy en día una utopía; y dada la peculiar estructura del sector, la idea de destinar a un ope-



rario sólo para curar hormigones por riego, se consideraría un verdadero despilfarro.

Así que mucho nos tememos que, o bien se mantendrá la mala costumbre de no curar el hormigón en obras de construcción arquitectónica, o todo lo más se procederá a una somera ‘protección’ con láminas de plástico.

Aun no siendo demasiado nuestro el problema de la durabilidad de los hormigones, el hacerlos duraderos, por ejemplo con técnicas tan sencillas y agradecidas como las de curado por riego, se convierte en un pequeño reto a nuestra profesionalidad.

## CONTROL DE CALIDAD

Las condiciones de control de calidad se exponen en el título 6º de la EHE. las correspondientes a los componentes del hormigón presentan escasas variaciones con relación a la anterior redacción.

### Control de la durabilidad del hormigón

Como es de suponer se introduce un artículo, –el nº 85,– relativo al control de las especificaciones relativas a la durabilidad del hormigón. Además de los consabidos controles documentales, –tan familiares para nosotros como fáciles de cumplir: al papel se le hace decir lo que se quiera, y contra un papel se opone con idéntica eficacia otro papel,– se introduce la novedad de un ‘control de la profundidad de penetración de agua’ realizado conforme a la norma UNE 83309 EX, es decir, una norma experimental.

Es evidente la intención de facilitar los medios de control de durabilidad del hormigón, pero parece precipitado incluir una norma no bien contrastada por la práctica. ¿Qué fiabilidad se confiere a los resultados de su aplicación? O dicho de otro modo, ¿quién se sentirá capaz de tomar una decisión a partir de los resultados de una norma experimental y por lo tanto sujeta a discusión...?

### Ensayos previos y ensayos característicos

Habida cuenta de que, como en la anterior redacción, estos ensayos son preceptivos salvo que alguna circunstancia pueda hacer que no lo sean, la aparición de dicha circunstancia es tan frecuente que salvo algunos casos muy específicos, –como la fabricación de hormigones vistos,– no pasan de ser retórica.

En el caso de los ensayos previos, la circunstancia que exige de su obligación es que, conforme al Art. 68º, “...el constructor pueda justificar documentalmente que con los materiales, dosificación y proceso de ejecución previstos es posible conseguir un hormigón que posea las condiciones anteriormente mencionadas (las que se le exigen en los Arts. 30º y 37º) así como las especificadas en el correspondiente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares...”. Ya se ha comentado lo fácil que resulta justificar documentalmente estas cosas, incluso aunque luego la tozuda realidad contradiga lo dicho en el documento. Al fin y al cabo los resultados en cuestión de hormigones están sometidos en una cierta medida –difícil de cuantificar, al menos a efectos jurídicos,– al azar.

Y por lo que respecta a los ensayos característicos, son dos las circunstancias eximentes: conforme al propio Art. 87º, son preceptivos “...salvo en el caso de emplear hormigón procedente de central o de que se posea experiencia previa con los mismos materiales y medios de ejecución...”. En construcción arquitectónica el

primer supuesto es cada vez más frecuente; y el segundo, a la vista está que esta vez ni siquiera se exige que esa experiencia venga justificada de modo documental.

### Ensayos de control del hormigón. (Art.88º)

#### Modalidad 1: control a nivel reducido. (Art. 88.2.)

Como en las anteriores redacciones, el sibilino planteamiento de la llamada modalidad 1, ‘Control a nivel reducido’, es un verdadero alarde literario para disuadir al lector de su empleo, pero sin decir en ningún momento lo que resultaría más expeditivo: no conviene emplear la modalidad de control reducido.

Tras exponer la consideración de que “...este nivel de control sólo puede utilizarse para obras de ingeniería de pequeña importancia, en edificios de viviendas de una o dos plantas con luces inferiores a 6,00 metros o en elementos que trabajen a flexión de edificios de viviendas de hasta cuatro plantas, también con luces inferiores a 6,00 metros...” y tal vez no contentos con la prosa disuasoria anterior, ahora se da la puntilla literaria añadiendo que “...Además deberá adoptarse un valor de la resistencia de cálculo a compresión  $f_{cd}$  no superior a 10 N/mm<sup>2</sup>...” Teniendo en cuenta que el peor hormigón de armar posible para estar en el ámbito de la EHE posee una  $f_{ck}$  de 25 N/mm<sup>2</sup> y se define  $f_{cd}$  como  $F_{ck}/\gamma_c$ , el valor de este último coeficiente parcial de seguridad del hormigón asciende a ¡...2,5...! frente a los usuales del Art. 15º de  $\gamma_c = 1,5$  (acción persistente o transitoria) y  $\gamma_c = 1,3$  (acción accidental).

#### Modalidad 3: control estadístico del hormigón. (Art. 88.4.)

Como en anteriores redacciones ésta es la que de modo general se aplica a obras de hormigón en masa, armado o pretensado, una vez desaparecida la antigua modalidad de ‘control intenso’.

La novedad del planteamiento es que la adopción de la categoría A, B o C en función del coeficiente de variación que tenga la resistencia del hormigón, depende en primera instancia del propio fabricante suministrador. El modo en que el usuario comprueba el ajuste entre la categoría adoptada y dicho coeficiente, se basa en el recorrido relativo de los valores de resistencia de las amasadas controladas en cada lote.

Recuérdese que el recorrido relativo de una serie de valores es igual al recorrido absoluto dividido por el valor medio de la serie; y que, a su vez, el recorrido absoluto es la diferencia entre los dos valores extremos de la serie.

Así, si se dispone de 6 resultados con valores iguales a 26 -27 - 29 - 30 - 32 y 36 N/mm<sup>2</sup>, el recorrido absoluto tiene por valor 36-26 = 10 N/mm<sup>2</sup>; y como el valor medio vale 30 N/mm<sup>2</sup>, el recorrido relativo resulta ser 10/30 = 0,33.

Mientras se cumpla la condición de que el recorrido relativo de los ensayos de control es menor que el máximo indicado en la tabla, debe seguir empleándose el valor de KN de la columna propuesta por el suministrador; pero si en un lote sucede que el recorrido relativo supera a dicho máximo, se considerará de modo automático que esa central pertenece a una clase inferior, que será precisamente aquella en donde se cumpla la relación de recorridos que se comenta.

Esta nueva columna servirá para juzgar el lote afectado, pero también los sucesivos, salvo que la relación vuelva a incumplirse,



en cuyo caso se procedería a una nueva penalización de categoría de la central.

Para recuperar el  $K_N$  de la columna correspondiente a una categoría superior, –es decir, cuya dispersión es menor,– es preciso haber obtenido resultados del recorrido relativo menores o iguales al máximo de la tabla en cinco lotes consecutivos, pudiéndose aplicar ya en nuevo valor del  $K_N$  al quinto resultado y a los siguientes.

El procedimiento establecido por la Instrucción EHE supone una garantía para el usuario del hormigón, pero no por ello queda desprotegido el fabricante y/o suministrador, pues queda a su propio criterio el establecimiento de los parámetros de juicio sobre el material que se deduce de la elección de una u otra columna, A, B o C de la Tabla 88.4.b. Él es responsable de dicha elección, a sabiendas de que un incumplimiento de recorrido entraña una degradación automática que afectará por lo menos a cinco lotes.

#### Decisiones derivadas del control de resistencia

La redacción en este caso no ha variado con relación a la anterior; sin embargo, aunque por una parte es el propio texto normativo el que se encarga de penalizar al suministrador o fabricante de hormigón degradando de categoría a su material, ello se refiere al hormigón por venir; pero el fallido ya está colocado y a menudo su retirada resulta ya muy compleja.

Por ello, ante una cuestión tan poco pacífica en la práctica, quien esto redacta aconseja adoptar medidas preventivas. El método de prevención viene servido en bandeja por el segundo párrafo del artículo 88.5.: "...Si resultase  $f_{est} < f_{ck}$ , a falta de una explícita previsión del caso en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de la obra y sin perjuicio de las sanciones contractuales previstas (ver 4.4) se procederá como sigue:

- a) Si  $f_{est} \geq 0,9 f_{ck}$ , el lote se aceptará.
- b) Si  $f_{est} < 0,9 f_{ck}$ , se procederá a realizar, por decisión de la Dirección de obra o a petición de cualquiera de las partes, los estudios y ensayos que procedan..."

Deben preverse pues, sanciones contractuales. La referencia que hace el texto al Art. 4.4, "Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares" tiene su enjundia y debe actuarse en consecuencia.

En efecto, dicho artículo señala que "...en ningún caso contendrán estos pliegos declaraciones o cláusulas de carácter económico que deban figurar en el Pliego de Cláusulas Administrativas"; pero como en ningún otro sitio de la EHE se indica en qué pueda consistir este "Pliego de Cláusulas Administrativas" y como luego el mismo artículo señala que el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares detallará, entre otros extremos "...las formas de medición y valoración de las distintas unidades de obra..." puede inferirse que es precisamente éste el documento en donde deben incorporarse en su caso las sanciones contractuales.

Y se propone la inclusión de una cláusula de este estilo:

En caso de que la resistencia estimada a compresión del hormigón no alcance el valor de  $f_{ck}$  estipulado, aunque por exigencia normativa aquél resulte ser aceptado por el arquitecto, se aplicará un descuento al precio de contrata, del 3% por cada 1% que haya disminuido  $f_{est}$  en relación con  $f_{ck}$ .

En anexo a este documento se acompaña también el ejemplo de una posible cláusula de control estadístico de hormigón para introducir en el citado Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

#### EL CONTROL DE EJECUCIÓN. (CAPÍTULO XVI EHE)

El carácter 'externo' del control de ejecución. (Artículo 95) Implicaciones

Conviene significar sobre este particular algunas precisiones de matiz que introducen un cambio importante en el criterio con que ha de abordarse el control de ejecución de los edificios.

Salvando el objeto del control que se expone, como siempre, en términos demasiado generales como para que se deduzca algún tipo de actuación concreta, la primera novedad es que el control de la ejecución se plantea como externo. Ello significa que las operaciones de control no pueden quedar ya relegadas a la vigilancia de la Dirección Facultativa –el Arquitecto, en nuestro caso,– y/o de la dirección Técnica, –el Aparejador,– sino que han de ser llevadas a cabo por un tercero.

Tercero al que supondremos cualificación técnica, por lo que su actuación vendrá regulada –como la de los Directores de Obra– por un contrato de arrendamiento de servicios que como aquéllos habrá suscrito con la Propiedad.

A mayor abundamiento, a ésta y a la Dirección de Obra corresponde "...la responsabilidad de asegurar la realización..." de ese control externo de la ejecución. Obsérvese que se corresponsabiliza a la propiedad con la Dirección de Obra; pero no de hacer el control, sino de asegurar su realización... por ese tercero. A quien esto escribe, incluso ajeno por su oficio a cuestiones jurídicas, se le pone carne de gallina sólo de pensar en la riqueza de posibilidades de conflicto que semejante corresponsabilidad presenta.

Y compadece a quien sea que haya de desempeñar ese papel de controlador externo de la ejecución, pues las comprobaciones que plantea la EHE en su tabla 95.1.b. –sólo para el hormigón, no hay que olvidar cuántas más partidas aparecen en una obra arquitectónica– le obligarán a montar una tienda de campaña en aquélla; así como compadece también a la Propiedad, que podrá ver su obra convertida en un a modo de gigantesco laboratorio que, además, habrá de pagar, junto con el Laborante controlador.

Salvo, naturalmente, que una vez más nos encontremos ante un farragoso texto legal no hecho para ser cumplido sino a modo de animosa declaración de intenciones cuyo espíritu se confía vaya calando poco a poco entre los técnicos.

La cuestión de las tolerancias: el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares

En el Art. 96 la Instrucción señala que el autor del proyecto deberá "...adoptar y definir un sistema de tolerancias que se recogerá en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de las obras..." Se añade a continuación que en ese mismo documento "...deberán quedar establecidas las decisiones y sistemática a seguir en caso de incumplimientos..."

Comprobada la escasa utilidad de un Pliego General de Prescripciones Técnicas, es evidente la necesidad de uno que posea ese carácter de particularizar las prescripciones. La redacción sis-



temática de este Documento para obras de Arquitectura se convierte en una tarea de titanes. Bienvenida sea en este sentido la iniciativa de la EHE de proporcionar un Anexo de Tolerancias que al menos pueda sustituir de momento al que no es posible redactar. No obstante, dicho anexo queda cojo y descontextualizado si no va acompañado de otras Condiciones Técnicas Particulares de los elementos a los que se puede aplicar: en concreto, criterios para las decisiones que podrían ser tomadas en caso de incumplimientos.

En un anexo a este mismo documento esbozamos una muestra de criterios de Prescripciones Técnicas Particulares relacionados con los hormigones y su aplicación.

## LOS ANEJOS

Como hemos señalado al principio, la Instrucción EHE contiene 13 anejos de los que, el último a su vez, consta de cinco apartados a los que se denomina ‘anexos’ para distinguirlos de los precedentes.

Salvo por la introducción de uno específico –el 6º– que contiene el método para determinar la estabilidad de la inyección y que, por lo tanto, se refiere a hormigones pretensados, hasta el momento con Instrucción independiente, muchos de los otros coinciden en general con los ya conocidos de la EH-91.

El anejo del “Método simplificado del momento tope”, probablemente mantenido hasta ahora en homenaje a D. Eduardo Torroja, desaparece dando paso a los de “Cálculo simplificado de secciones en Estado Límite de Agotamiento frente a solicitaciones normales” y “Análisis de secciones fisuradas en servicio sometidas a flexión simple”.

## Las tolerancias

Los cuatro anejos finales constituyen todos ellos una novedad: El primero, bajo el nº 10, “Tolerancias”, acaba de ser someramente comentado, pero aún conviene hacer alguna consideración más sobre ese particular.

El de las Tolerancias constituye un extremo de gran importancia para el progreso de la construcción arquitectónica y no sólo en el ámbito de los hormigones; lo que sucede es que todo lo que se diga al respecto en materia de elementos estructurales tiene total repercusión sobre cualquier otro que venga a continuación porque, en efecto, la estructura es la base sobre la que se puede plantear la tolerancia del resto de los materiales y elementos.

No será extraño pues que este anexo se convierta en un pionero en el campo general de las tolerancias de obra: pero por ello mismo conviene aplicarlo con suma elasticidad, porque a buen seguro al principio rechinará un poco hasta que esté engrasado. Haciendo un elemental juego de palabras, hay que ser tolerante con las tolerancias.

Podría haberse planteado de otro modo, tal vez una norma algo más abstracta sobre tolerancias generales. Pero la construcción es una actividad bien concreta. Más vale que haya sido así, y se ponga por fin de alguna base de exigencia.

## Los hormigones de altas resistencias

Se da entrada por primera vez a estos materiales en la normativa española, aunque sea a través de un anejo. Los HAR - hormigo-

nes también llamados ‘de altas prestaciones’, de resistencia característica a compresión,  $f_{ck} \geq 50 \text{ N/mm}^2$ , constituyen materiales de gran futuro en la construcción de edificios altos, pues presentan una serie de ventajas sobre el hormigón convencional, como ganancia de espacio en plantas de sótano y en plantas bajas al reducirse la sección de los pilares, mayor facilidad de puesta en obra debida a su docilidad, ahorro de superficie de elementos de encofrados, plazos de ejecución inferiores debido a la rapidez en que se desarrollan sus resistencias, reducción de peso propio de la estructuras, y un largo etcétera dentro del que naturalmente se halla su mayor durabilidad.

Desde hace ya tiempo –principios de los 80– se conocen los HAR; desde principios de los 90 se manejan usualmente en los países más desarrollados hormigones tales como los HAR pero también se conoce y ha empezado a ser empleada la nueva generación de los RPC (Reactive Powder Concrete) con resistencias a compresión comprendidas entre 200 y 800 N/mm<sup>2</sup> y a tracción entre 25 y 150 N/mm<sup>2</sup>. Es preciso que empiecen a sentarse las bases para su empleo en España, y la aparición de este anejo va en esa línea.

## Hormigones para estructuras resistentes a sismo

El aspecto más importante de complementariedad de este anejo con la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE-94 es sin duda la inclusión entre los materiales del acero B 400 SD, soldable con características especiales de ductilidad, habida cuenta de la notable importancia de esta propiedad en la estructura que se vaya a ver sometida a acciones sísmicas.

## Documento nacional de Aplicación de la Norma UNE ENV 1.992-1-1 Experimental

Como hemos señalado al comienzo de la intervención, en este anejo se ofrece al autor de un Proyecto o al Director de Obra de construcción de aquél, una opción alternativa a su potestad de adoptar soluciones distintas a las contempladas en la Instrucción, siempre que estuviesen debidamente justificadas. Dicha opción consistiría aportar el Documento Nacional de Aplicación (DNA) de la Norma Europea Experimental UNE-ENV-1.992.1.1. También señalábamos que para manejar la opción, es preciso disponer del documento, aprobado por ‘AENOR’ en noviembre de 1.993.

El hermetismo literario del anejo 13 y sus anexitos, más propio de una novela de Kafka que de un documento técnico ha dado que pensar al ponente: no puede descartarse que su nivel intelectual haya alcanzado su techo poco antes de adentrarse en tan hermético texto; pero tras veinticinco años de profesión y una cátedra, –aunque sobre todo esto último se demuestra a menudo muy poco significativo,– sospecha que se trata de una redacción para iniciados, entre los que no se encuentra. Por ello, desiste de comentarlo.

## ANEXO.- EJEMPLOS DE CLÁUSULA

### HORMIGÓN FABRICADO A PIE DE OBRA. (INSTRUCCIÓN EHE)

Se entiende por Hormigón fabricado a pie de obra aquél que se constituye en el propio lugar en que va a ser empleado. Normalmente el centro de producción se limita a instalaciones más o menos simples de almacenamiento y a equipos de amasado; pero cuando aquéllas son más complejas y permiten la dosificación automática de los componentes, es potestativo del Director de Obra califi-



car como "Central" al citado centro de producción. Esta cláusula se refiere al hormigón fabricado en condiciones simples.

1.- Definición. Conglomerado resistente de cemento, áridos normales y agua, de una densidad  $2.000 \text{ kg/m}^3 < d \leq 2.800 \text{ kg/m}^3$  y que eventualmente puede llevar aditivos y/o adiciones en su composición, fabricado a pie de obra. Puede ser en masa o bien ir armado o pretensado.

2.- Tipo (Art. 39.2). HA-25/B/16/ Qa + IIa.

3.- Componentes.

3.1.- Cemento.

3.1.1.- Tipo. CEM II/A-P-32,5.

3.1.2.- Contenido de cemento por  $\text{m}^3$  de hormigón.

3.1.2.1.- Mínimo. (Art. 37.3.2): 325 kg.

3.1.2.2.- Máximo. (Art. 68, b): 400 kg.

Si se desea emplear una cantidad superior a  $400 \text{ kg/m}^3$ , se requiere justificación experimental.

3.1.2.3.- Justificación experimental. No se requiere.

3.1.3.- Almacenamiento. Se hará conforme a lo indicado en la cláusula correspondiente al tipo de cemento. Si el plazo de almacenamiento fuese superior a un mes, veinte días antes de su empleo se comprobará su estado mediante ensayos de fraguado y resistencias mecánicas a tres y siete días sobre una muestra representativa, sin excluir de ella los terrones que hayan podido formarse; y ello, con independencia de que el producto haya sido eximido de tales ensayos en el momento de su recepción.

3.2.- Árido. (Art.28 EHE).

3.2.1.- Grueso. 4/16 para hormigón.

3.2.2.- Gravilla. No se requiere.

3.2.3.- Fino. Arena 0/4 para hormigón.

3.2.4.- Almacenamiento. Para cada tipo de árido, las condiciones de almacenamiento serán las que figuran en las correspondientes cláusulas. En el momento del empleo se comprobará que no se ha producido segregación, mezcla entre ellos o contaminación con otros productos durante el almacenamiento ni tampoco en su transporte hasta la mezcladora.

3.3.- Agua de amasado y/o de curado. Cumplirá las condiciones especificadas en §01301. La relación agua cemento será  $\leq 0,50$ .

3.4.- Aditivos para hormigones. (Art. 29.1 EHE) Plastificante, conforme a su cláusula.

4.- Dosificación. Sin perjuicio de respetar las limitaciones impuestas al contenido de cemento por el Art. 68 de la EHE, el constructor deberá comprobar mediante ensayos previos que la dosificación que emplea cumple todas las condiciones impuestas al hormigón en esta cláusula. No obstante, podrá prescindir de aquéllos si justifica que las consigue con los materiales, dosificación y proceso de ejecución previstos.

5.- Características del hormigón fresco.

5.1.- Docilidad. (Art.30.6. EHE).

5.1.1.- Definición. Por tipo de consistencia.

5.1.2.- Especificación y tolerancia. Consistencia blanda,  $\pm 2 \text{ cm}$ .

5.2.- Peso específico. (UNE 7.286): No se exige.

5.3.- Contenido de aire (UNE 83.315). No se exige.

6.- Características del hormigón endurecido.

6.1.- Resistencia característica a compresión,  $f_{ck}$ . (UNE 83.304):  $25 \text{ N/mm}^2$ .

6.2.- Resistencia a compresión a 7 días. (UNE 83.304):  $20 \text{ N/mm}^2$ .

6.3.- Resistencia a tracción,  $f_{ct,k}$ . Art. 39.1 EHE (UNE 83.306): No se exige.

6.4.- Profundidad de penetración de agua bajo presión, Art. 37.3.2 EHE (UNE 83.309/ EX.): No se exige.

6.5.- Aspecto externo.

6.5.1.- Color: Verde.

6.5.2.- Homogeneidad de tono: Las condiciones de amasado y en particular la duración del periodo de mezcla serán tales que el tono del hormigón sea regular en toda la masa.

7.- Fabricación.(Art. 69 EHE).

7.1.- Amasado Los componentes se amasarán en las condiciones idóneas y durante el periodo de batido que sea preciso para que se consiga su mezcla íntima y homogénea, debiendo quedar el árido bien recubierto por la pasta de cemento. El tiempo de batido, una vez alcanzada por la amasadora la velocidad de régimen, no será inferior a los 90 segundos.

7.2.- Transporte. El transporte del hormigón desde su punto de fabricación dentro de la obra hasta su punto de empleo se hará de modo que no se pueda producir la pérdida de homogeneidad de la masa. De modo particular se evitará su transporte en carretillas con llanta metálica o en otro medio que, como aquéllas, favorezca la vibración del hormigón.

8.- Control de la calidad del hormigón.(Art. 82 EHE).

8.1.- Control de consistencia.(Art. 83 EHE) Conforme al Art. 83 EHE, se determinará el valor de la consistencia especificada en el Apdo 5.1. de esta cláusula mediante el cono de Abrams de acuerdo con la UNE 83 313.

8.2.- Control de durabilidad.(Art. 85 EHE) No se exige.

8.3.- Control de resistencia.(Art. 84 EHE).

8.3.1.- Ensayos previos.(Art. 86 EHE) No se requieren.

8.3.2.- Ensayos característicos.(Art. 87 EHE) No se requieren.

8.3.3.- Ensayos de control. (Art. 88 EHE) Control estadístico (Art. 88.4) como se especifica en la correspondiente cláusula. (Hay un ejemplo al final).

9.- Condiciones específicas de seguridad y salud.

Los operarios que manipulen el hormigón y sus componentes irán provistos de guantes para evitar dermatitis a causa del cemento. Si el método de mezclado da lugar a la formación de polvo, se les dotará asimismo de mascarilla de seguridad antipartículas de retención mecánica simple. También irán provistos de taponcillos o de cascos protectores auditivos, en función del nivel de ruido emitido por la mezcladora.

10.- Medición.

La unidad de medición del hormigón fabricado a pie de obra será el  $\text{m}^3$ .

## HORMIGÓN FABRICADO EN CENTRAL, DESIGNADO POR PROPIEDADES. (INSTRUCCIÓN EHE, ART. 69.2.8)

Se entiende por Central de fabricación de hormigones un centro de producción dotado a menos de instalaciones de almacenamiento y dosificación, así como de equipos de amasado. Aunque el Centro de producción puede estar a pie de obra, siendo potestativo del Director de Obra calificarlo como "Central", para el manejo de hormigones designados "por propiedades" es prudente contratarlos con Centrales Hormigoneras exteriores y ajenas a la obra.

1.- Definición. Conglomerado resistente de cemento, áridos normales y agua, de una densidad  $2.000 \text{ kg/m}^3 < d \leq 2.800 \text{ kg/m}^3$  y que puede llevar adiciones y/o aditivos en su composición, fabricado en una central dotada de instalaciones de almacenamiento y dosificación, equipos de amasado y, en su caso, transporte, y de



servicios de control de calidad de producción. Puede ser en masa o bien ir armado o pretensado.

2.- Tipo (Art. 39.2). HA-30/P/31,5/ Qa + IIa.

3.- Composición de la mezcla.

3.1.- Condición general. El suministrador responsable de la Central de fabricación de hormigones establecerá la composición de la mezcla del hormigón, garantizando las características de tamaño máximo del árido, consistencia y resistencia característica, así como las limitaciones derivadas del tipo de ambiente, extremos todos ellos especificados en la presente cláusula.

3.1.- Tamaño máximo del árido: 31,5 mm.

3.2.- Docilidad. (Art.30.6. EHE).

3.2.1.- Definición. Por tipo de consistencia.

3.2.2.- Especificación y tolerancia. Consistencia plástica,  $\pm 1$  cm.

3.3.- Resistencia característica a compresión,  $f_{ck}$ . (UNE 83.304): 30 N/mm<sup>2</sup>.

3.4.- Otras limitaciones derivadas del tipo de ambiente.

3.4.1.- Clase de exposición: Qa + IIa.

3.4.2.- Máxima relación A/C 0,50.

3.4.3.- Mínima dosificación de cemento 325 kg/m<sup>3</sup>.

4.- Aspecto externo.

Esta condición no es directamente exigible al suministrador ateniéndose sólo a lo dispuesto en la Instrucción EHE. Por ello, si el usuario desea exigir esta condición, deberá especificarla.

4.1.- Color: Blanco.

4.2.- Homogeneidad de tono: Las condiciones de amasado y en particular la duración del período de mezcla serán tales que el tono del hormigón sea regular en toda la masa.

5.- Transporte. El transporte del hormigón desde la central hasta su punto de empleo se hará conforme a lo dispuesto en el Apdo. 69.2.7. de la EHE, de modo que no se pueda producir la pérdida de homogeneidad de la masa.

6.- Entrega y recepción. El aparejador se hará cargo a la recepción de cada carga de hormigón, de su reglamentaria Hoja de Suministro expedida por el responsable de la Central de fabricación. El contenido de dicho documento se ajustará a lo exigido para él en el Art. 69.2.9.1. de la EHE.

La entrega y recepción se harán conforme a lo señalado en el Art. 69.2.9.2. de la EHE.

7.- Control de la calidad del hormigón.(Art. 82 EHE).

7.1.- Control de consistencia.(Art. 83 EHE): Conforme al Art. 83 EHE, se determinará en el momento de la entrega el valor de la consistencia especificada en el Apdo 3.2. de esta cláusula mediante el cono de Abrams de acuerdo con la UNE 83 313. Si el asiento en el cono de Abrams es menor que lo especificado, en ese momento el suministrador podrá añadir aditivo fluidificante para alcanzar el asiento requerido, cumpliendo las condiciones que para ello se especifican en el párrafo 4º del Art. 69.2.9.2 de la EHE.

7.2.- Control de resistencia: Ensayos de control. (Art. 88 EHE) Control estadístico (Art. 88.4) como se especifica en la correspondiente cláusula.

7.3.- Control del resto de características El suministrador justificará documentalmente al Director de obra que el hormigón suministrado cumple las demás condiciones ligadas a la designación y que figuran en los Apos 3.2. y 3.4. de esta cláusula.

8.- Condiciones específicas de seguridad y salud.

Los operarios que manipulen el hormigón recibido en obra irán

provistos de guantes para evitar dermatitis a causa del cemento.

9.- Medición.

La unidad de medición del hormigón fabricado en Central hormigonera y designado por propiedades, será el m<sup>3</sup>.

#### HORMIGÓN FABRICADO EN CENTRAL, DESIGNADO POR DOSIFICACIÓN. (INSTRUCCIÓN EHE, ART. 69.2.8)

Se entiende por Central de fabricación de hormigones un centro de producción dotado a menos de instalaciones de almacenamiento y dosificación, así como de equipos de amasado. El Centro de producción puede estar a pie de obra, en cuyo caso es potestativo del Director de Obra calificarlo como "Central".

El hormigón fabricado en central puede designarse por propiedades o por dosificación. Esta cláusula se refiere a hormigones de Central designados por dosificación.

1.- Definición. Conglomerado resistente de cemento, áridos normales y agua, de una densidad  $2.000 \text{ kg/m}^3 < d \leq 2.800 \text{ kg/m}^3$  y que puede llevar adiciones y/o aditivos en su composición, fabricado en una central dotada de instalaciones de almacenamiento y dosificación, equipos de amasado y, en su caso, transporte, y de servicios de control de calidad de producción. Puede ser en masa o bien ir armado o pretensado.

2.- Tipo (Art. 39.2). HA-25/B/16/IIIf.

3.- Componentes.

3.1.- Cemento.

3.1.1.- Tipo. CEM II/A-P-42,5.

3.1.2.- Contenido de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón.

3.1.2.1.- Mínimo. (Art. 37.3.2): 300 kg.

3.1.2.2.- Máximo. (Art. 68, b) 450 kg.

3.1.2.3.- Justificación experimental. El constructor justificará documentalmente su experiencia en la fabricación de hormigones cuya dosificación de cemento sea igual o superior a la indicada en 3.1.2.2. De no poder hacerlo, se llevarán a cabo ensayos previos a su costa, conforme a lo establecido en el Art. 86 de la EHE.

3.1.3.- Almacenamiento. Se hará conforme a lo indicado en la cláusula del cemento. El período de almacenamiento no deberá ser superior a un mes.

3.2.- Árido. (Art.28 EHE).

3.2.1.- Grueso. 4/16 para hormigón.

3.2.2.- Gravilla. Gravilla 4/8 para hormigón.

3.2.3.- Fino. Arena 0/4 para hormigón.

3.2.4.- Almacenamiento. Para cada tipo de árido, las condiciones de almacenamiento serán las que figuran en las correspondientes cláusulas. En el momento del empleo se comprobará que no se ha producido segregación, mezcla entre ellos o contaminación con otros productos durante el almacenamiento ni tampoco en su transporte hasta la mezcladora.

3.3.- Agua de amasado y/o de curado. Cumplirá las condiciones especificadas en su cláusula. La relación agua cemento será  $\leq 0,50$ .

3.4.- Aditivos para hormigones. (Art. 29.1 EHE): Fluidificante inclusor de aire conforme a su cláusula.

3.5.- Adiciones. (Art. 29.2 EHE) No se requieren.

4.- Condiciones de dosificación y amasado.

4.1.- Instalaciones de dosificación. Deberán cumplir las características para ellas exigidas en el Art. 69.2.3. de la Instrucción EHE.

4.2.- Dosificación de componentes. El cemento se dosificará en peso, mediante básculas propias, con la tolerancia establecida al efecto en el apdo. 69.2.4.1. de la EHE. Los áridos también se dosificarán en peso, con las correcciones que sean precisas por su



humedad, debiendo contar la central con medidores automáticos de ésta. Las condiciones de mezcla y tolerancias serán asimismo las previstas en el apdo. 69.2.4.2 de la EHE. La dosificación de agua se ajustará en condiciones y tolerancias a lo señalado en el Apdo. 69.2.4.3. La de aditivos pulverulentos se hará según las instrucciones del fabricante que, en todo caso será conforme a lo dispuesto en el Apdo. 69.2.4.4. En caso de emplear adiciones, su dosificación se hará conforme al Apdo. 69.2.4.5.

Sin perjuicio de respetar las limitaciones impuestas al contenido de cemento por el Art. 68 de la EHE, el constructor deberá comprobar mediante ensayos previos que la dosificación que emplea cumple todas las condiciones impuestas al hormigón en esta cláusula.

4.3.- Equipos de amasado. Los responsables de la Central de fabricación de hormigones deberán garantizar documentalmente a la Dirección de Obra que sus equipos de amasado cumplen las condiciones que les exige la Instrucción EHE en su Art. 69.2.5., y en particular las del grupo B de la tabla 69.2.5. que se definen en la presente cláusula.

5.- Características del hormigón fresco.

5.1.- Docilidad. (Art.30.6. EHE).

5.1.1.- Definición. Por asiento.

5.1.2.- Especificación y tolerancia.  $8 \pm 2$  cm.

5.3.- Peso específico. (UNE 7.286)  $2.300 \pm 150$  kg/m<sup>3</sup>.

5.4.- Contenido de aire (UNE 83.315).  $\geq 45$  l/m<sup>3</sup>.

6.- Características del hormigón endurecido.

6.1.- Resistencia característica a compresión,  $f_{ck}$ . (UNE 83.304): 25 N/mm<sup>2</sup>.

6.2.- Resistencia a compresión a otra edad. (UNE 83.304): No se exige.

6.3.- Resistencia a tracción,  $f_{ct,k}$ . Art. 39.1 EHE (UNE 83.306): 1,8 N/mm<sup>2</sup>.

Figura el valor correspondiente a la expresión  $f_{ct,k} = 0,21 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$ .

6.4.- Profundidad de penetración de agua bajo presión, Art. 37.3.2 EHE (UNE 83.309/ EX.) No se exige.

6.5.- Aspecto externo. No se exige.

7.- Fabricación.(Art. 69 EHE).

7.1.- Amasado Los componentes se amasarán en las condiciones idóneas y durante el período de batido que sea preciso para que se consiga su mezcla íntima y homogénea, debiendo quedar el árido bien recubierto por la pasta de cemento.

7.2.- Transporte. El transporte del hormigón desde la central hasta su punto de empleo se hará conforme a lo dispuesto en el Apdo. 69.2.7. de la EHE, de modo que no se pueda producir la pérdida de homogeneidad de la masa.

8.- Entrega y recepción. El aparejador se hará cargo a la recepción de cada carga de hormigón, de su reglamentaria Hoja de Suministro expedida por el responsable de la Central de fabricación. El contenido de dicho documento se ajustará a lo exigido para él en el Art. 69.2.9.1. de la EHE.

La entrega y recepción se harán conforme a lo señalado en el Art. 69.2.9.2. de la EHE.

9.- Control de la calidad del hormigón.(Art. 82 EHE)

9.1.- Control de consistencia.(Art. 83 EHE) Conforme al Art. 83 EHE, se determinará el valor de la consistencia especificada en el Apdo 5.1. de esta cláusula mediante el cono de Abrams de acuerdo con la UNE 83 313.

9.2.- Control de durabilidad.(Art. 85 EHE) No se exige.

9.3.- Control de resistencia.(Art. 84 EHE).

9.3.1.- Ensayos previos.(Art. 86 EHE) Se harán conforme a lo

indicado en el Art. 86 EHE.

9.3.2.- Ensayos característicos.(Art. 87 EHE) Se harán conforme a lo indicado en el Art. 87 EHE.

9.3.3.- Ensayos de control. (Art. 88 EHE) Control estadístico (Art. 88.4) como se especifica en su cláusula.

10.- Condiciones específicas de seguridad y salud.

Los operarios que manipulen el hormigón y sus componentes serán provistos de guantes para evitar dermatitis a causa del cemento. Si el método de mezclado da lugar a la formación de polvo, se les dotará asimismo de mascarilla de seguridad antipartículas de retención mecánica simple. También irán provistos de taponillos o de cascos protectores auditivos, en función del nivel de ruido emitido por la mezcladora.

11.- Medición.

La unidad de medición del hormigón fabricado en Central hormigonera y designado por dosificación, será el m<sup>3</sup>.

Ayuda para determinación relación A/C y dosificación de cemento en función del ambiente (Tabla 37.3.2 de la EHE.)

Parámetro de dosificación	Máxima relación a/c			Mínimo contenido de cemento (kg/m <sup>3</sup> )			
	En masa	Armado	Pretensado	En masa	Armado	Pretensado	
Tipo de hormigón							
CLASE DE EXPOSICIÓN	I	-	0,65	0,60	200	250	275
	Ila	-	0,60	0,60	-	275	300
	Ilb	-	0,55	0,55	-	300	300
	IIla	-	0,50	0,50	-	300	300
	IIlb	-	0,50	0,45	-	325	325
	IIlc	-	0,45	0,45	-	350	350
	IV	-	0,50	0,45	-	325	325
	Qa	0,50	0,50	0,50	275	325	325
	Qb	0,50	0,50	0,45	300	350	350
	Qc	0,45	0,45	0,45	325	350	350
	H	0,55	0,55	0,55	275	300	300
	F	0,50	0,50	0,50	300	325	325
	E	0,50	0,50	0,50	275	300	300

#### CLÁUSULA DE ENSAYOS DE CONTROL ESTADÍSTICO DE HORMIGONES. (ART. 88.4. EHE)

1.- Objeto. Comprobar a lo largo de la ejecución de obras en que se emplea el hormigón tipo HA/30/P/20/Qa+Ilb que ha sido definido en su cláusula, que la resistencia característica de aquél es igual o superior a la de proyecto, empleando para ello los métodos estadísticos propuestos en el Art. 88.4. de la Instrucción EHE.

2.- Establecimiento de lotes.

2.1.- Estructura que tiene elementos comprimidos.

2.1.1.- Criterio. Por superficie construida.

2.1.1.1.- Volumen de hormigón.

2.1.1.1.1.- En elementos comprimidos. No se considera.

2.1.1.1.2.- En elementos flectados. No se considera.

2.1.1.2.- Tiempo de hormigonado.

2.1.1.2.1.- En elementos comprimidos. No se considera.

2.1.1.2.2.- En elementos flectados. No se considera.

2.1.1.3.- Superficie construida.

2.1.1.3.1.- En elementos comprimidos. 2.800 m<sup>2</sup>.

2.1.1.3.2.- En elementos flectados. 2.800 m<sup>2</sup>.

2.1.1.4.- Número de plantas.

2.1.1.4.1.- En elementos comprimidos. No se considera.

2.1.1.4.2.- En elementos flectados. No se considera.



2.1.1.5.- Número de amasadas.

2.1.1.5.1.- En elementos comprimidos. No se considera.

2.1.1.5.2.- En elementos flectados. No se considera.

2.1.2.- Número de lotes de estructura que tiene elementos comprimidos.

2.1.2.1.- Lotes de elementos comprimidos: 6.

2.1.2.2.- Lotes de elementos flectados: 3.

2.2.- Estructura que tiene únicamente elementos sometidos a flexión. No existe.

2.3.- Elementos estructurales macizos.

2.3.1.- Criterio. Por volumen de hormigón.

2.3.1.1.- Volumen de hormigón. 100m<sup>3</sup>.

2.3.1.2.- Tiempo de hormigonado. No se considera.

2.3.1.3.- Número de amasadas. No se considera.

2.3.2.- Número de lotes de elementos estructurales macizos. 1.

3.- Control de resistencia a compresión.

3.1.1.- Toma de muestras. Se hará conforme a UNE 83.300. Se tomarán muestras de hormigón de 2 amasadas no consecutivas de cada lote, no pudiendo hacerse de la primera de todas.

3.1.2.- Fabricación y conservación de probetas. Conforme a UNE 83.301 se fabricarán y conservarán de modo adecuado 4 probetas cilíndricas de  $\phi$  15 cm y 30 cm de altura por amasada.

3.2.- Ensayos. El constructor propondrá al arquitecto el nombre de un Laboratorio oficialmente reconocido al que se vayan a encarar los ensayos de resistencia a compresión del hormigón. El arquitecto podrá aceptarlo o solicitar que se le proponga otro. El contrato del constructor con el Laboratorio aceptado deberá firmarse al menos una semana antes de que empiece la fabricación del hormigón para la obra.

3.2.1.- Forma. La preparación de las probetas para el ensayo se hará conforme a UNE 83.303 y su ensayo de resistencia a compresión, conforme a UNE 83.304.

3.2.2.- Alcance.

3.2.2.1- Preceptivos. Se ensayarán 2 probetas de cada amasada a 28 días.

3.2.2.2- Complementarios. Se ensayará 1 probeta a 7 días.

3.2.3.- Información de resultados. En un plazo no superior a tres días desde el momento del ensayo, el Laboratorio hará llegar una copia de los resultados al constructor, otra al aparejador y una tercera al arquitecto. Éste dejará constancia en el libro de órdenes de la recepción de su copia.

3.3.- Criterio de aceptación. Cada lote se aceptará si se cumple la condición de resistencia característica a compresión,  $f_{ck}$ , especificada en la cláusula del hormigón controlado en los términos señalados en el Art. 88.5. de la Instrucción EHE.

Si la resistencia estimada  $f_{est}$  a partir de los resultados del laboratorio fuese  $< 0,9 f_{ck}$ , con independencia de que sea o no solicitado por el constructor o por el suministrador, el arquitecto encargará la realización de un estudio de seguridad de los elementos que componen el lote en función del valor de  $f_{est}$  para estimar la variación del coeficiente de seguridad respecto del previsto en el Proyecto.

Cualquiera de los estudios o ensayos que deban hacerse a causa del citado incumplimiento será abonado por el constructor. En función de sus resultados, y con la información adicional que aquél pueda aportar, el arquitecto decidirá si acepta el lote, procede a reforzarlo o a demolerlo.

4.- Penalización. El hormigón solicitado debe cumplir las condiciones de resistencia característica,  $f_{ck}$ , especificadas en su cláusula.

En caso de que la resistencia estimada a compresión del hormigón no alcance el valor de  $f_{ck}$  estipulado, si aquél resulta ser aceptado por el arquitecto, se aplicará un descuento al precio de contrata del 3% por cada 1% que haya disminuido porcentualmente  $f_{est}$  en relación con  $f_{ck}$ .

5.- Medición. A efectos de su valoración, los ensayos de control estadístico de hormigones se medirán en número de probetas fabricadas y ensayadas. No obstante, podrán incorporarse a la unidad de medición de los hormigones de que formen parte.

Determinación de lotes para el control estadístico (tabla 88.4.a, Instrucción EHE)

LIMITE SUPERIOR	TIPO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES		
	Estructuras que tienen elementos comprimidos (pilares, pilas, muros portantes, pilotes, etc.)	Estructuras que tienen sólo elementos sometidos a flexión (forjados de hormigón con pilares metálicos, tableros, muros de contención, etc)	Macizos (zapatas, estribos de puente, bloques, etc.)
VOLUMEN DE HORMIGÓN	100 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>	100 m <sup>3</sup>
NÚMERO DE AMASADAS(1)	50	50	100
TIEMPO DE HORMIGONADO	2 semanas	2 semanas	1 semana
SUPERFICIE CONSTRUIDA	500 m <sup>2</sup>	1.000 m <sup>2</sup>	-
NÚMERO DE PLANTAS	2	2	-