

cuadernos de

Joint Committee CEB-CIB-FIP-RILEM

Presidente del Comité Mixto:

H. Rüsçh, Munich.

Presidente del Comité Editorial:

A. G. Meseguer, IETcc, Madrid.

PRINCIPIOS RECOMENDADOS PARA EL CONTROL DE CALIDAD DEL HORMIGON Y CRITERIOS PARA SU ACEPTACION O RECHAZO

3. CONTROL DE PRODUCCION

3.1. Generalidades

Bajo el nombre «control de producción» se comprende el conjunto de métodos que ayudan al fabricante del hormigón a cumplir lo especificado de la forma más económica. Puesto que el fabricante es normalmente el responsable de la calidad de la producción, debe otorgársele también la responsabilidad de poder controlar la producción (autocontrol), dejándole la mayor libertad posible en cuanto a los métodos por medio de los cuales tratará de conseguir un hormigón de la calidad requerida en forma económica.

Así por ejemplo, un cierto fabricante o suministrador puede estimar más económico el concentrar sus esfuerzos, en lo que a control se refiere, en una intensificación y perfeccionamiento de los ensayos de autocontrol, empleando los resultados de dichos ensayos como base para la toma de aquellas decisiones que sean más adecuadas para conseguir la calidad requerida. Otro fabricante, por el contrario, puede encontrar más económico el concentrar sus esfuerzos en asegurar la uniformidad de los materiales componentes y de las instalaciones de amasado, quizá empleando maquinaria de mejor calidad y vigilando mucho todas las operaciones, y prescindir en cambio de los ensayos del producto (o reducirlos a un mínimo) a efectos de control de producción. Incluso en casos de pequeñas obras, un constructor puede estimar más económico el emplear dosificaciones más caras y reducir a cambio el coste del control.

Ninguna disposición general debe impedir al productor de hormigón el ejercicio de su derecho a escoger el procedimiento que desee, por tratarse de un tema económico que es de su competencia, con tal de que el hormigón resultante alcance la calidad requerida.

El juicio de aceptación o rechazo es responsabilidad de una autoridad diferente. Dicho juicio debe derivarse de la aplicación de un cierto criterio de aceptación, adecuadamente establecido y claramente especificado de antemano, con un sistema anejo de penalizaciones para el caso de no aceptación.

Naturalmente, son necesarias algunas limitaciones a la libertad del productor. La experiencia demuestra que ciertos materiales y procedimientos no son satisfactorios. Por otra parte, de vez en cuando aparecen nuevos materiales o métodos sobre los que no hay suficiente conocimiento o experiencia para poder asegurar una aplicación satisfactoria. Ambos casos son ejemplos de lo que podrían llamarse regulaciones «pasivas», es decir, por una parte el prohibir los materiales inadecuados o las prácticas viciosas y, por otra, el garantizar un empleo seguro de nuevos materiales o métodos, pero sin impedir su desarrollo.

El control de producción está también y principalmente relacionado con medidas «activas» para obtener información sobre la constancia del proceso de producción y el nivel de calidad del hormigón que se está produciendo. La finalidad que se persigue al obtener esta información es posibilitar la corrección de desviaciones medidas con respecto a la calidad que se busca. Para ello, cada acción correctora debe derivarse de la respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿Qué aspecto del proceso de producción ha cambiado?
- ¿cuánto ha cambiado?
- ¿cuándo ha cambiado?
- ¿cuánto tiempo persistirá el cambio?

Como en muchos otros procesos, un control efectivo de la producción de hormigón exige una rápida retro-alimentación de las mediciones de las variables que se controlan, correlacionadas con los requisitos exigidos. La medición rutinaria de una cierta variable especificada (por ejemplo, la resistencia a 28 días) puede no ser una condición necesaria para el control activo.

Por ejemplo, cuando se está fabricando un determinado hormigón de una cierta resistencia especificada y se están empleando cemento y áridos de calidad, así como una maquinaria adecuada, puede esperarse que la trabajabilidad del hormigón se correlacione bien con la resistencia a compresión de las probetas. La medición de la trabajabilidad puede proporcionar unos datos rápidos, convenientes, baratos y muy directos, representativos de una variable objeto de control, por ejemplo la relación agua/cemento; lo cual, junto con algunos ensayos del cemento y los áridos, puede emplearse de manera eficaz para mantener una calidad uniforme, sin necesidad de efectuar mediciones rutinarias directas de la variable especificada.

Un razonamiento análogo cabe hacer con respecto al análisis rápido del hormigón fresco: medir el contenido en cemento y en agua como método de control de producción. Una vez establecida, para una obra particular, la necesaria correlación entre resistencia y composición, el análisis del hormigón fresco proporcionará una gran parte de la información necesaria, directamente en la forma que es más útil para el control de producción y sin necesidad de recurrir a ensayos rutinarios de resistencia.

Sin duda existen circunstancias en las que tales métodos no proporcionarán información adecuada; por ejemplo, el método de ensayo puede no ser suficientemente preciso, o puede ser necesario un régimen diferente de ensayos a efectos de control (tal como el curado acelerado de probetas). Cada caso particular debe analizarse individualmente, con objeto de alcanzar un equilibrio óptimo en lo que a esfuerzo dedicado al control se refiere.

No es oportuno, por ello, tratar de imponer, para uso universal en control de producción, un determinado sistema de ensayos basado en los requisitos finales que se exigen al hormigón. Sin embargo, es adecuado el dar recomendaciones relativas a principios generales de muestreo, ensayo e interpretación estadística de resultados, dejando libre la elección particular de métodos de control, para adaptarse a las circunstancias de cada caso particular.

COMENTARIOS

C.3.2.1.

Se ha dicho en 3.1 que el contratista es responsable de los procedimientos de control de producción. No obstante, es inviable por ahora el preparar una especificación completa basada únicamente en las características del producto final y, por ello, es necesario que los métodos de fabricación cumplan los requisitos mínimos indicados en 3.2.

C.3.2.2.

La vigilancia sobre el proceso de producción es de la mayor importancia, pero el tipo de inspector puede variar de acuerdo con la clase de obra. Para una obra pequeña en la que se utilicen Dosificaciones Normalizadas, el inspector puede ser un operario hábil y entrenado, responsable de la planta de dosificación y amasado. En una obra grande con un nivel intenso de ensayos, toda la producción y ensayo de los materiales y del hormigón debe estar supervisada por un técnico facultativo (1), que disponga de un laboratorio bien utillado a pie de obra. En este caso, pueden ensayarse con más frecuencia los materiales componentes y las diversas partidas de cemento. A efectos de control de producción, puede conseguirse una información más rápida si se utilizan procedimientos tales como el ensayo de probetas con curado acelerado y/o el análisis del hormigón fresco.

C.3.2.3. a C.3.2.6.

Aun cuando haya sido especificada la resistencia del hormigón y se hayan aprobado las proporciones de la mezcla, la calidad del hormigón fabricado en obra puede variar, debido a variaciones en los materiales componentes y a errores de dosificación. Por ello, conviene tomar medidas para controlar la producción del hormigón a un nivel razonable. Por ejemplo, hay que llevar cuidado al medir las cantidades de cada amasada de hormigón y hay que especificar de antemano la precisión de los equipos de medida y de la maquinaria de dosificación y amasado.

Los métodos concretos de control deben dejarse al contratista, pero las prescripciones de los principios 3.2.3 a 3.2.6 son requisitos mínimos que hay que cumplir en cualquier caso de confección de hormigón.

Se acepta el empleo de zahorra de buena calidad para los tipos de hormigón de menor resistencia. Pero debe quedar bien entendido que esta aceptación se hace en el supuesto de que existe una Norma Nacional adecuada en la que se regula este tipo de árido.

Las variaciones del contenido de humedad de los áridos contribuyen a la variación total de resistencia del hormigón, lo que no debe olvidarse a la hora de fijar y controlar la cantidad de agua directamente vertida en la hormigonera.

PRINCIPIOS

3.2. Prescripciones relativas a la fabricación del hormigón

3.2.1.

Deberá otorgarse la mayor libertad posible al contratista en cuanto a los métodos que prefiera emplear para producir un hormigón que cumpla con lo especificado. Los métodos utilizados deberán basarse en las siguientes prescripciones mínimas.

3.2.2.

Se ejercerá la vigilancia oportuna para asegurar el nivel de control adecuado sobre los materiales y el proceso de fabricación. Ambos deben ser objeto de inspección, tomando las muestras necesarias y realizando los oportunos ensayos.

3.2.3.

Se tomarán las medidas oportunas para proteger el cemento antes de su empleo, así como para impedir mezclas accidentales de diferentes tipos de cemento. Si se exigen, habrán de presentarse certificados de ensayo del fabricante de cemento.

3.2.4.

El árido deberá estar compuesto por dos fracciones separadas por lo menos, fino y grueso, admitiéndose el empleo de zahorra (todo uno), con tal de que sea de buena calidad, para los tipos de hormigón de menor resistencia. Cada tamaño de árido deberá almacenarse en instalaciones adecuadas, provistas de drenaje. El manejo y almacenamiento de áridos se efectuarán de manera que resulten mínimas la segregación y la contaminación. Todas las partidas de áridos deben ser sometidas a inspección, ensayando regularmente una cierta proporción de las mismas. Por ejemplo, para hormigón de tipo B20 o superior, conviene realizar un análisis granulométrico del árido al menos una vez por semana.

3.2.5.

El cemento, el árido fino y las distintas fracciones de árido grueso se medirán en peso, admitiéndose la medición en volumen para los tipos de hormigón de menor resistencia, siempre que se efectúe con el cuidado necesario. El cemento se pesará en báscula aparte o se medirá utilizando un número entero de sacos. El agua puede medirse en peso o en volumen, pero deberá corregirse su cantidad para compensar la que contengan los áridos. La precisión de los instrumentos dosificadores deberá estar dentro de límites adecuados, previamente establecidos.

3.2.6.

El hormigón debe amasarse mecánicamente para conseguir una mezcla uniforme de todos sus componentes. Se continuará el amasado hasta que los materiales resulten homogéneamente distribuidos y el hormigón alcance un color y una consistencia uniformes.

(1) La expresión inglesa «concrete production engineer» ha sido traducida por «técnico facultativo», aunque la equivalencia no sea completa (N. del T.).

3.3. Prescripciones relativas a la medición de variables significativas

3.3.1.

El control activo de producción debe basarse en la medición de aquellos parámetros del proceso de producción que son susceptibles de acciones de control directo. Tales parámetros pueden ser objeto de especificación, no directa, sino en cuanto a calidad resultante (por ejemplo, las proporciones de la mezcla en una Dosificación Proyectoada). En este caso, hay que establecer una correlación adecuada entre el parámetro de control y el parámetro de calidad resultante especificado.

3.3.2.

Las mediciones usadas en el control de producción se derivarán, generalmente, de una cierta forma de muestreo y ensayo. Por consiguiente, las mediciones deben ser evaluadas estadísticamente.

3.3.3.

El régimen de muestreo se fijará de tal modo que se tomen muestras independientes y al azar. Si puede establecerse que los resultados individuales de los ensayos son realmente independientes, pueden tomarse varias muestras al azar a lo largo de un corto intervalo del proceso de producción, repitiendo esta toma regularmente a intervalos más largos. Si se evidencia que los resultados de los ensayos están correlacionados, cualquier tipo de agrupación en el muestreo debe tener cuenta cuidadosa de tal correlación. Deberán tomarse muestras también cuando exista algún indicio de discontinuidad en la producción, por ejemplo, el suministro de una nueva partida de cemento.

3.3.4.

Debe establecerse una cierta función de control que, particularizada para el grupo de mediciones obtenidas de la muestra, proporcione una estimación, en cada muestreo, del valor y de la dispersión del parámetro de control. Deben establecerse condiciones límites que no sean menos severas (y preferiblemente, que sean más severas) que las impuestas por la función de aceptación (ver 4.2) con la cual se correlaciona la función de control.

3.4. Control estadístico de la resistencia

3.4.1.

Los principios descritos en 3.3 se aplican igualmente al control estadístico de la resistencia.

3.4.2.

Además, si el proceso de producción está en control, puede suponerse que las mediciones de resistencia obtenidas por muestreo y ensayo se distribuyen según una ley Normal, siendo entonces la resistencia media independiente de la dispersión. En tales circunstancias, para mayor facilidad, se recomienda que la media y la dispersión sean contempladas independientemente.

C.3.3.3.

Controlar significa descubrir y rectificar aquellas perturbaciones del proceso de producción que son debidas a causas asignables. El régimen de muestreo escogido debe ser capaz de dar mediciones prácticamente simultáneas del valor y de la dispersión del parámetro de control, con una frecuencia mayor de la que puede esperarse que corresponda a la aparición de perturbaciones controlables en el proceso de producción.

C.3.3.4.

La función de control debe dar señales de aviso sobre la necesidad de introducir acciones correctivas, antes de que resulte violado el límite de especificación. Por ello, las condiciones límites deben estar ubicadas, de forma probabilista, a un nivel tal que su violación resulte más frecuente que la del límite de especificación, cuando la producción sea estrictamente igual a la admisible. Por ejemplo, si el límite de especificación para la calidad aceptable admite un 5 por 100 de defectuosos, el límite de control puede muy bien colocarse de forma que aparezcan señales de aviso sobre la necesidad de introducir acciones correctivas cuando el porcentaje de defectuosos excede del 2 ó 3 por 100.

C.3.4.1.

Cuando el control activo se basa en resistencias medidas a la edad de 28 días, o incluso de 7 días, dicho control queda necesariamente restringido a proporcionar correcciones de largo plazo. El valor de tales ensayos reside más en su empleo como evidencia histórica y garantía de calidad, así como en su correlación con otros parámetros, que en su empleo directo para controlar la resistencia.

C.3.4.2.

Existen varias técnicas para valorar medias y dispersiones. Cabe emplear una función de control que combine ambas estimaciones, de forma similar a como lo hace la función de aceptación (ver 4.2). Sin embargo, es más útil casi siempre llevar por separado las variaciones en la media y en la dispersión, porque tales variaciones suelen provenir de causas diferentes.

Así por ejemplo, la media de un pequeño número de ensayos puede ser comparada con límites de control para medias; y la dispersión puede controlarse comparando el recorrido del pequeño número de ensayos con límites de control para recorridos. Ambos juegos de límites de control dependen de la desviación típica apropiada a la variabilidad a corto plazo, incontrolable, así como del número de resultados de ensayos. La desviación típica suele estimarse a partir de ensayos previos de control de la producción. El procedimiento se lleva a cabo fácil y rápidamente de forma gráfica, por medio de gráficos de control para medias y recorridos.

C.3.5.

El control activo requiere una rápida retroalimentación de la información derivada de los ensayos. El curado acelerado permite ensayar las probetas en 24 horas o menos, con lo que los resultados son mucho más útiles para un control activo. Existen diferentes métodos de curado acelerado que presentan correlaciones distintas con los resultados a 28 días. Aun cuando para poder usarlo como ensayo de aceptación, sería necesaria una aprobación previa del método de curado acelerado que se ha escogido, a efectos de control de producción el empleo del método tan sólo necesita el establecimiento de su correlación con el régimen especificado de ensayos, correlación que depende de las condiciones particulares de la producción y de los materiales que se consideran.

C.3.6.1.

Para el análisis rápido del hormigón existen diversos métodos. Una vez establecida la dosificación adecuada para la producción de un cierto hormigón dado, con unos materiales particulares conocidos, el control a través de la composición de la mezcla presenta unas ventajas obvias de rapidez, información directa y sencillez.

3.5. Curado acelerado

A efectos de control de producción, se recomienda la adopción de un método de curado acelerado de probetas. A tal efecto, la elección de un método particular se basa principalmente en su adecuación a las operaciones de producción y control. El método escogido debe mantenerse en forma coherente para conservar la validez de las correlaciones que se hayan establecido con los resultados a 28 días de edad (o a otras edades especificadas).

3.6. Análisis rápido

3.6.1.

A efectos de control de producción, se recomienda el empleo del análisis rápido del hormigón fresco, el cual proporciona la medida más directa de variables controlables tales como el contenido en cemento, el contenido en agua y la granulometría del árido.

3.6.2.

Para el muestreo a efectos de control por análisis rápido del hormigón, deberán seguirse los principios enunciados en 3.3.3.

4. CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO

4.1. Generalidades

La mayor parte de las Normas y Especificaciones exigen el cumplimiento de dos tipos de requisitos: por una parte, la posesión de determinados atributos por parte de los materiales y métodos; y por otra, la posesión de determinadas propiedades que son variables medibles según una escala numérica. Ambos tipos de limitaciones, por atributos y por variables, pueden imponerse a los materiales componentes, al proceso de fabricación y al producto acabado, en este caso el hormigón fresco.

Como se dijo en el Capítulo 2, hay tres formas de especificar el hormigón llamadas de Dosificación Proyectada, de Dosificación Normalizada y de Dosificación Impuesta. Estas tres formas de especificación incluyen juicios de aceptación similares en lo que a atributos se refiere, pero difieren en lo relativo a las diferentes variables objeto de medida. En las Dosificaciones Proyectadas, la variable más importante objeto de medida es la resistencia mientras que en las Dosificaciones Normalizadas Impuestas, las variables más importantes son las proporciones de la mezcla.

Si bien el control por atributos se basa en muestreos, es muy raro que surjan dudas con respecto al juicio de aceptación, por causa de variabilidad de las observaciones. Por ejemplo, si se ha exigido un hormigón de cemento Portland, el hormigón hecho con cemento de escorias está claramente fuera de especificación; si se ha exigido que los áridos fino y grueso se pesen por separado, el fabricante que utiliza zahorra viola claramente la especificación; etcétera. El cumplimiento de todos estos atributos con arreglo a lo especificado es importante, por supuesto, pero el juicio de aceptación no es difícil de hacer ni está sujeto a incertidumbres, por lo que no se tratará de estos casos en lo sucesivo.

Por el contrario, ninguna certeza en cuanto a la decisión que se tome puede existir cuando se está sometiendo a juicio aquellos requisitos correspondientes a propiedades medibles, sea de los materiales componentes o del producto acabado, las cuales están sujetas a variaciones aleatorias debidas a variaciones en los materiales componentes, en el proceso de fabricación y en los procesos de muestreo y ensayo. Aun cuando lo dicho es aplicable también a los materiales componentes, las incertidumbres de decisión que más importancia tienen son todas las relativas a mediciones de características del producto acabado. Tales mediciones son, por ejemplo, la composición del hormigón fresco o endurecido; el contenido en aire; la consistencia (asiento en cono o valor del consistómetro VB) del hormigón fresco; y sobre todo, la resistencia intrínseca, medida mediante probetas enmoldadas, del hormigón endurecido (1). Cada una de estas mediciones es más o menos incierta, dependiendo de la magnitud de la variación relativa tolerable, pero todas pueden tratarse con arreglo a los mismos principios. Esos principios son los que se exponen en el presente Capítulo, referidos en particular al caso en que el juicio de aceptación-rechazo se basa en la resistencia.

(1) Importa recordar la diferencia que existe entre la resistencia intrínseca, que es el valor potencial de la resistencia, medida en probetas enmoldadas y en condiciones estándar, y la resistencia real del hormigón en la estructura.

La resistencia intrínseca es la que constituye la base contractual entre constructor y propietario. Si resulta ser correcta, el contrato se ha cumplido y no es necesaria ninguna investigación ulterior sobre la resistencia real. Si no es correcta, se deducen dos consecuencias:

- a) el contrato no se ha cumplido; y
- b) hay que investigar el valor de la resistencia real, con objeto de estimar cuál sea el verdadero margen de seguridad de la estructura (Capítulo 5).

El control de recepción (juicio de aceptación-rechazo) difiere del control de producción en dos aspectos esenciales. Primero, en que la responsabilidad de la decisión no corresponde al productor del hormigón, sino al ingeniero autorizado que actúa en nombre del cliente; y segundo, en que la finalidad de la decisión es juzgar sobre la aceptación o rechazo de una cierta cantidad de hormigón y no la de juzgar sobre la estabilidad del proceso de producción. Es necesario, por tanto, definir para cada decisión una cantidad determinada de hormigón, denominada «lote», dentro de la cual debe efectuarse un muestreo aleatorio. Además, el lote debe ser definido con relación al lugar que el hormigón ocupa en la estructura, teniendo en cuenta las circunstancias con arreglo a las cuales se ha fabricado y colocado el hormigón.

Un lote consta de un cierto número de amasadas de hormigón, siendo la amasada la cantidad más pequeña de hormigón que puede considerarse como unidad de producto. Se supone que el proceso de dosificación y amasado se realizan conforme a norma e, igualmente, para la validez de los resultados, que el proceso de muestreo y ensayo se realizan conforme a norma. Si hay razones para pensar que no se cumple alguna de estas condiciones, es necesario emprender una investigación separada de los procesos de dosificación, amasado, muestreo y ensayo.

COMENTARIOS

C.4.2.

Cualquier juicio acerca del cumplimiento con la resistencia especificada está sujeto inevitablemente a un riesgo de tomar una decisión equivocada. Por una parte, el riesgo del suministrador consiste en que un hormigón de calidad aceptable pueda ser rechazado sobre la base de resultados de ensayos válidos pero pesimistas. Por otra parte, el riesgo del utilizador consiste en que un hormigón de calidad inaceptable pueda ser aceptado sobre la base de resultados de ensayo válidos pero optimistas. La magnitud de estos riesgos varía con las variaciones de calidad del hormigón y con el número de probetas. Dado un criterio de aceptación particular, estos riesgos pueden evaluarse a través de la probabilidad de aceptación P_a que el criterio adoptado otorga a cada una de las calidades posibles de hormigón. Esta relación se muestra claramente a través de un diagrama que liga la probabilidad de aceptación P_a con la calidad verdadera, representada por el porcentaje p de defectuosos, es decir, por la fracción correspondiente a la distribución de resistencias que quedan por debajo de la resistencia característica especificada f_c . Tales diagramas se denominan Curvas Características o Curvas O-C (del inglés Operational Characteristic). Cuando las dos variables P_a y p se representan en escala probabilista normal, la mayor parte de los criterios de aceptación al uso dan líneas O-C que son rectas, como se indican en la figura 2.

Lo deseable es establecer un criterio de aceptación único, lo más eficaz y práctico posible, teniendo en cuenta por un lado la sencillez de cálculo y empleo, y por otro, su eficacia estadística. La forma de función dada en 4.2. es normalmente la de mayor eficacia estadística y emplea toda la información contenida en los resultados obtenidos de la muestra. Por facilidad de cálculo, la función puede modificarse para que aparezcan en ella los recorridos de un pequeño número de resultados en vez de la desviación típica de la muestra, s_n , obtenida de los resultados de los ensayos; y si la variabilidad es conocida por experiencia previa, puede asignarse entonces un valor a la desviación típica de la población, σ , y emplearlo como constante en lugar de S_n .

En principio, la elección de n , número de resultados de ensayo, determina principalmente la sensibilidad de la función de aceptación, de tal manera que valores crecientes de n aumentan la pendiente de las curvas O-C; y la elección de λ determina principalmente la posición de la curva O-C, de manera que valores decrecientes de λ trasladan la curva hacia la derecha en el diagrama que liga P_a con p (ver figura 2).

Otras funciones, más sencillas aritméticamente, pueden resultar apropiadas en algunas circunstancias (1), pero requieren normalmente un número mayor de resultados de ensayos para compensar su menor eficacia estadística en comparación con el tipo recomendado en 4.2.

C.4.3.

En la Tabla 3 se dan algunos ejemplos que corresponden a criterios de aceptación que figuran en diversas Normas nacionales. Cuando ha sido posible, el criterio se ha expresado en la

(1) Este es el caso del estimador español (casos H e I de la Tabla 3), construido sobre la idea de que, normalmente, el valor de σ no es conocido y de que las variaciones relativamente frecuentes que pueden presentarse en materiales componentes y proceso no aconsejan el empleo de valores constantes de σ . (N. del T.).

PRINCIPIOS

4.2. La función de aceptación

El juicio de aceptación, basado en el cumplimiento de la resistencia especificada, ha de efectuarse en primer lugar por evaluación estadística de un cierto número de resultados obtenidos del ensayo de probetas enmoldadas, confeccionadas con el hormigón de la muestra. Hay que llegar a una decisión extendida a todo el hormigón y esta decisión no puede tomarse con certidumbre absoluta a causa de la variabilidad de la información que ofrece el muestreo y ensayo de una cierta propiedad variable. Si el muestreo es aleatorio e independiente, es un axioma que todos y cada uno de los resultados válidos de ensayo representan por igual a todo el hormigón. Por consiguiente, la cuestión debe plantearse de la manera siguiente:

¿Existe una seguridad razonable de que la distribución de resistencia del lote de hormigón dado, del cual se ha tomado una muestra aleatoria de la que procede el conjunto de resultados de ensayos, es de una calidad igual o superior a la especificada?

Para contestar a esta pregunta es necesario construir una función de aceptación $Z(x)$ que, particularizada para los valores numéricos individuales x_i que provienen de medidas obtenidas de la muestra, arrojará un valor que debe compararse con un valor límite que es la resistencia característica especificada. La forma general recomendada para la función de aceptación es:

FUNCION DE ACEPTACION:

$$Z(x) = \frac{\bar{x}_n - \lambda \cdot s_n}{f_c}$$

siendo:

\bar{x}_n = media aritmética de los n valores individuales de la resistencia:

$$\bar{x}_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

s_n = desviación típica del conjunto de resultados de los ensayos:

$$s_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2}{n - 1}}$$

λ = constante cuyo valor debe fijarse y que depende de n y del grado de seguridad requerido (nivel de confianza) respecto a que la decisión de aceptación o rechazo no sea equivocada.

El valor de la función de aceptación, comparado con la resistencia característica especificada f_c , proporciona el criterio de aceptación:

ACEPTAR SI RESULTA:

$$Z(x) \geq f_c$$

4.3. La curva característica (curva O-C)

Las decisiones que se derivan del empleo de criterios de aceptación diferentes, combinadas con un sistema apropiado de penalizaciones para el caso de no cumplimiento, pueden tener en la práctica efectos similares sobre la seguridad y la economía. Existen varios criterios de aceptación hoy en uso, asociados con penalizaciones de severidad muy variada. Pero hay poca experiencia disponible para poder cuantificar sus efectos combinados, en términos de seguridad y economía. Por ello no es posible escoger uno u otro de los sistemas existentes y presentarlo

TABLA 3
Algunos criterios de aceptación de normas nacionales

| Referencia a la figura 4 | Norma nacional | Número de ensayos | Desviación típica | λ | Criterio de aceptación | Observaciones |
|--------------------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|-----------|--|----------------|
| A | República Federal Alemana | 35 | estimada por s_{15} | 1,65 | $\bar{x}_{35} - 1,65 s_{15} \geq f_c$ | |
| B | | 15 | σ conocida | 1,65 | $\bar{x}_{15} - 1,65 \sigma \geq f_c$ | |
| C | | 3 | desconocida | — | $\bar{x}_3 - 5,0 \geq f_c$ $x_1 \geq f_c$ | (1) (2) (3) |
| D | | 9 | desconocida | — | $\bar{x}_9 - 5,0 \geq f_c$ $x_1 \geq 0,8 f_c$ | (1) (2) (3) |
| E | Holanda | 12 | estimada por s_{12} | 1,52 | $\bar{x}_{12} - 1,52 s_{12} \geq f_c$ | |
| F | | 6 | σ conocida | 1,52 | $\bar{x}_6 - 1,52 \sigma \geq f_c$ | |
| G | Reino Unido | 4 | σ conocida | 0,82 | $\bar{x}_4 - 0,82 \sigma \geq f_c$ | (1) |
| H | España | 12 | desconocida | — | $2 \cdot \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_5}{5} - x_6 \geq f_c$ | (4) |
| I | | 6 | desconocida | — | $x_1 + x_2 - x_3 \geq f_c$ | (4) |
| J | U.S.A. | 3 | desconocida | — | $\bar{x}_3 \geq f_c$ $x_1 \geq f_c - 3,5$ | (1) (2) (3) |
| K | Francia | 30 | estimada por s_{30} | 1,69 | $\bar{x}_{30} - 1,69 s_{30} \geq f_c$ | (5) |

OBSERVACIONES A LA TABLA 3

- (1) \bar{x}_n esaquí una media encadenada, referida a cualquier conjunto de n resultados consecutivos (*).
 (2) Unidades en N/mm².
 (3) x_1 es el más bajo de los valores de la serie.
 (4) Los n resultados de ensayo se colocan en orden creciente de magnitud de x_1 a x_n . La mitad más baja de la serie, x_1, x_2, \dots, x_m se utiliza en la función:

$$Z(x) = 2 \cdot \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_{m-1}}{m-1} - x_m;$$

donde:

$$m = \frac{n}{2} \text{ para valores pares de } n; \text{ y } m = \frac{n-1}{2} \text{ para valores impares de } n.$$

- (5) Se ha incluido este criterio como representativo de un conjunto de criterios aplicables a 30 o más resultados de ensayo y que se utiliza en «control normal» de obras de hormigón pretensado en Francia. Pueden aplicarse también otros criterios de «control atenuado» cuando hay menos de 30 resultados, pero no menos de 6. Por sencillez, no se ha intentado representar estos otros criterios.

El ejemplo K forma parte de un criterio dual, ya que también se exige que $\bar{x}_3 \geq f_c$. El efecto de este componente es difícil de cuantificar y no se ha tenido en cuenta al dibujar la curva O-C para $\bar{x}_{30} - 1,69 s_{30} \geq f_c$, que aparece en la figura 4. Cualitativamente, el efecto sería aumentar la pendiente de la recta y hacerla moverse hacia la izquierda.

Además, debe observarse que los 30 resultados de ensayo se obtienen haciendo 3 probetas procedentes de 10 amasadas diferentes. Este caso no es directamente comparable con el caso en que se obtiene una sola probeta por amasada, utilizando 30 amasadas diferentes.

OBSERVACION GENERAL

Cualquier comparación entre criterios de aceptación diferentes debe tener en cuenta las penalizaciones y demás acciones posteriores que siguen a un juicio de no cumplimiento (ver Capítulo 5).

(*) Es decir, cada nuevo resultado se añade a los anteriores, suprimiendo el más antiguo, para formar la media; con ello, cada nuevo resultado da origen a un nuevo juicio de aceptación (N. del T.).

forma recomendada en 4.2 y utilizando la misma notación, por lo que algunos de ellos aparecen de modo diferente a como figuran en las Normas nacionales. En la figura 4 se han dibujado las curvas O-C correspondientes, identificadas por una letra de referencia (ver primera columna de la Tabla 3).

Las curvas O-C mostradas en la figura 4 se han determinado haciendo varias suposiciones y simplificaciones con respecto a los criterios de aceptación tal y como figuran en las Normas nacionales; por ello, no pueden hacerse comparaciones directas entre estas curvas. En particular, todas estas curvas O-C se han determinado sobre el supuesto de una distribución Normal de resistencias, con un porcentaje variable de defectuosos con respecto a la resistencia característica especificada.

Puede observarse que los criterios A y B tienen la misma curva O-C, así como los criterios E y F. Esto ilustra que, para criterios de eficacia estadística equivalente, cuando el valor de σ es conocido, el número de resultados de ensayos necesarios puede reducirse aproximadamente a la mitad con respecto al caso en que el valor de σ es desconocido.

como recomendado. Además, los detalles del tratamiento teórico de este problema aún no están lo suficientemente bien definidos, como para emitir una recomendación clara de uso universal. Se necesita todavía una mayor evidencia cuantitativa, derivada de la experiencia en la aplicación práctica de los sistemas actuales, y también un desarrollo más completo de la teoría, para poder llegar a un acuerdo universal a nivel de recomendaciones prácticas.

Por todo ello, lo único que cabe presentar por el momento es un intento de establecimiento de fronteras para la curva O-C.

Consideraciones de seguridad estructural conducen a sugerir el que se defina una frontera superior en la región de calidad inaceptable, $p > 0,05$ (5 por 100 de defectuosos), con objeto de limitar el riesgo del utilizador. Esta frontera aparece indicada por tres segmentos rectilíneos en la figura 3.

Análogamente, consideraciones de economía conducen a sugerir el que se defina una frontera inferior para P_u en la región de calidad aceptable, $p \leq 0,05$ (5 por 100 de defectuosos), con objeto de limitar el riesgo del suministrador. Esta frontera aparece igualmente en la figura 3.

Se recomienda que el criterio de aceptación escogido corresponda a una curva O-C tal que caiga dentro de las fronteras indicadas en la figura 3. Junto con el criterio de aceptación definido en cada Norma nacional debería figurar la curva O-C correspondiente dibujada en un gráfico como el de la figura 3, y lo mismo puede decirse respecto a cualquier nuevo criterio cuya adopción se proponga, con objeto de mostrar claramente cuál es el efecto de cada criterio de aceptación y con el fin de facilitar las comparaciones entre diferentes criterios (1).

C.4.4.

Los resultados de los ensayos se emplean normalmente para emitir un juicio que afecta a muchas amasadas de hormigón. Por consiguiente, el criterio de aceptación debe contener en sí mismo una estimación de la variabilidad total, que incluye variabilidad entre amasadas, variabilidad dentro de una misma amasada y variabilidad debida al muestreo y ensayo. La experiencia demuestra que, si el proceso de amasado es correcto, la variabilidad dentro de una misma amasada es despreciable en comparación con las otras. Por ello, en un proceso continuo de hormigonado, es más económico dedicar el esfuerzo disponible para muestreo y ensayo en estimar la variabilidad total, mejor que tratar de reducir la ya despreciable contribución de la variabilidad dentro de una misma amasada, por duplicación o triplicación de las probetas de una misma amasada.

Cuando se adopta un muestreo múltiple para juzgar la aceptación de una sola amasada, el criterio de aceptación debe tener en cuenta solamente la variabilidad en la amasada y la variabilidad de muestreo y ensayo. Esto afectará a los valores de n , λ y σ en el criterio de aceptación.

4.4. Procedimientos de muestreo y ensayo

4.4.1.

Como norma general, se confeccionará una sola probeta a partir de una sola muestra representativa de una sola amasada de hormigón. Si se confecciona más de una probeta, se tomará el valor medio de las mismas como representativo de la amasada.

De entre todas las amasadas se escogerán al azar aquellas que deban ser muestreadas.

Excepcionalmente, por ejemplo cuando con una sola amasada grande se confecciona una parte de importancia crítica de una estructura, será indicado comprobar que los supuestos de homogeneidad dentro de la amasada y de bondad de las operaciones de muestreo y ensayo, se cumplen efectivamente. En tales casos se tomarán diversas muestras independientes representativas de la amasada única, confeccionándose una probeta por muestra. A los resultados de los ensayos de tales probetas se les aplicará una función de aceptación especialmente diseñada para someter a juicio el hormigón de la amasada única.

4.4.2.

Se observarán estrictamente en todos los casos los métodos normalizados de muestreo y ensayo.

4.4.3.

Todos los resultados de los ensayos deben utilizarse para calcular el valor de la función de aceptación. Ninguno puede descartarse, a menos que pueda probarse que se ha cometido un error grosero en el proceso de muestreo, confección, curado o ensayo de la probeta.

(1) Con posterioridad a la publicación de los presentes Principios Recomendados, la ISO ha hecho suyas estas dos fronteras indicadas en la figura 3 (N. del T.).

C.4.5.

En algunas circunstancias puede resultar apropiado definir el tamaño del lote simplemente por consideraciones técnicas, por ejemplo, cuando una cantidad de hormigón relativamente pequeña se destina a un elemento de identificación rápida en una zona particular, o a un elemento estructural particularmente significativo. La frecuencia del muestreo aleatorio dentro del lote debe ser suficiente para dar lugar al número correcto de resultados de ensayos que se requiere para aplicar el criterio de aceptación; dicha frecuencia variará con el tamaño del lote.

Lo más corriente, sin embargo, es que el tamaño medio óptimo del lote sea establecido por consideraciones de equilibrio económico entre las consecuencias de los riesgos del productor y del utilizador y el coste del muestreo y ensayo, aplicados al lote completo de hormigón. Mientras que la curva O-C cuantifica las probabilidades asociadas a los riesgos, las consecuencias económicas sólo pueden valorarse cuando se ha definido el sistema de penalizaciones anejo al no cumplimiento.

El determinar el tamaño del lote por medio de la frecuencia de muestreo y del número de ensayos requerido para tomar una decisión, proporciona la flexibilidad necesaria para tener en cuenta las distintas consecuencias económicas, por ejemplo según se trate de hormigón de forjados o de soportes, ajustando a ellas la frecuencia de muestreo. Con esta óptica, el tipo de consideraciones técnicas aludido más arriba puede servir para determinar unos mínimos o máximos del tamaño del lote.

4.5. Tamaño del lote y frecuencia de muestreo y ensayo

El lote puede definirse como la cantidad de hormigón producido bajo las mismas condiciones esenciales, que se somete a juicio de una vez aplicando un criterio de aceptación dado. Por consiguiente, el lote es todo el hormigón representado por todos los resultados de las probetas confeccionadas, e incluye las amasadas que no fueron seleccionadas para muestreo y ensayo.

El tamaño medio del lote viene, pues, determinado por el producto del número de ensayos necesarios para tomar una decisión y la frecuencia media de muestreo y ensayo.

Al no estar todavía bien establecidas las consecuencias técnicas y económicas derivadas de los riesgos existentes en los juicios de aceptación o rechazo, no es posible recomendar unas frecuencias óptimas de muestreo y ensayo, que en cualquier caso variarán con las diferentes circunstancias de las obras. Entretanto, para elegir frecuencias, que deben ser especificadas, pueden darse las siguientes indicaciones a título orientativo:

1. *Una sola muestra no representará por término medio, más de 100 m³ ni más de 50 amasadas.*
2. *Por cada tipo de hormigón y por cada día de hormigonado, deberá tomarse al menos una muestra.*
3. *Si la desviación típica es desconocida, debe duplicarse la frecuencia de muestreo y ensayo.*
4. *La frecuencia de muestreo será suficiente si, en plena producción, conduce a una decisión diaria de aceptación o rechazo por cada tipo de hormigón suministrado.*

4.6. Resumen de principios relativos al criterio de aceptación o rechazo

A continuación se indica un breve resumen de los diversos aspectos que deben quedar bien especificados con objeto de que el criterio de aceptación y rechazo pueda funcionar de manera eficaz, económica y correcta, ofreciendo además una evaluación y comprensión de los distintos riesgos intrínsecos al mismo.

El Pliego de Condiciones o la Instrucción deben establecer explícitamente, con claridad y sin ambigüedad, para cada tipo diferente de hormigón:

1. *el nivel exigido del parámetro de calidad que se especifica;*
2. *los procedimientos de muestreo y ensayo, que deben observarse estrictamente;*
3. *la frecuencia de muestreo y ensayo;*
4. *el criterio que permitirá comparar los resultados de los ensayos con el nivel de calidad especificado para el parámetro correspondiente. Esto incluye:*
 - a) *el número de ensayos necesarios para cada aplicación del criterio;*
 - b) *la función de aceptación de los valores de los ensayos;*
y
 - c) *el límite o límites con el que se compara la función de aceptación.*
5. *una descripción de los riesgos inevitables de tomar una decisión equivocada, preferiblemente dada en forma de curva característica O-C; y*
6. *una descripción completa del tipo y magnitud de las consecuencias que se derivan cuando corresponde tomar una decisión adversa.*

5. ACCIONES DERIVADAS DE LA APLICACION DEL CRITERIO DE ACEPTACION O RECHAZO

5.1. Generalidades

Para realizar una estructura de hormigón correcta en lo que al hormigón se refiere, deben reunirse dos condiciones: En primer lugar, la calidad intrínseca del hormigón y, en segundo lugar, el proceso de ejecución, deben cumplir unas ciertas especificaciones. Es evidente que la decisión final en cuanto a la aceptación o rechazo de la estructura debe basarse en el hormigón terminado, que incluye ambos aspectos.

La calidad intrínseca del hormigón se aprecia normalmente mediante ensayos de resistencia, cuyos resultados deben satisfacer a una cierta función de aceptación prescrita.

El proceso de ejecución incluye aspectos tales como el encofrado, la compactación y el curado del hormigón que, en primera instancia, pueden apreciarse visualmente. Si hay señales de que la ejecución es inadecuada, pueden llegar a ponerse en cuestión puntos tales como la seguridad estructural, la durabilidad y las posibilidades de reparación, incluso aunque el hormigón cumpla el criterio de aceptación relativo a la resistencia a compresión. En cualquier caso, se supone aquí que o bien la ejecución es satisfactoria, o si no, que se han tomado medidas correctivas.

Las recomendaciones incluidas en este Capítulo 5 se refieren solamente a la aceptación y/o rechazo basados en el criterio de aceptación prescrito para la resistencia intrínseca a compresión, y a las acciones que deben aplicarse en caso de no cumplimiento con dicho criterio (véase nota a pie del apartado 4.1). Estas acciones se muestran en forma secuencial de medidas de severidad creciente en el diagrama de la figura 5, y se describen en los apartados siguientes.

COMENTARIOS

C.5.2.1.

Como ya se ha dicho en la introducción, para la aceptación de la estructura final se requiere también una buena ejecución.

C.5.2.2.

Aun cuando los procedimientos de ensayo han de estar bajo control para asegurar la validez de los resultados, puede suceder que algunos resultados sean no válidos debidos a errores de muestreo, ensayo, etc. En tal caso, no sería razonable ni realista el rechazar el hormigón. Por el contrario, si los resultados no válidos representan menos de, por ejemplo, el 10 % del total de hormigón ya aceptado, del mismo origen y con la misma dosificación, y si no hay otras razones para sospechar de la calidad, parece razonable aceptar aquel hormigón. Si los datos disponibles son insuficientes, será necesaria una investigación del hormigón in situ para llegar a una decisión. En esta fase, no están todavía en cuestión la seguridad estructural ni la durabilidad. Por consiguiente, la investigación debe servir tan sólo para llegar a una decisión en cuanto a si se ha cumplido o no el criterio de aceptación.

C.5.3.1.

En un informe reciente (1) se dan recomendaciones detalladas sobre dimensiones, forma, tolerancias, tratamiento, etc., de probetas testigo. Además de toda esta información, se dan también indicaciones para la interpretación de los resultados de los ensayos.

Así por ejemplo, se recomienda que cada estimación esté basada en un mínimo de 10 probetas testigo. Si se efectúa una estimación basada en resultados de ensayos realizados sobre probetas que provienen de diferentes elementos estructurales, deben tomarse al menos 3 probetas de cada uno de dichos elementos.

El informe establece también que la resistencia del hormigón en una estructura es normalmente menor que la de las probetas enmoldadas. La diferencia entre los valores de ambas depende del nivel de resistencia y se da una tabla mostrando una reducción de resistencia del hormigón de la estructura que vale un 5 por 100 para hormigones de 20 N/mm² y un 15 por 100 para hormigones de 50 N/mm².

C.5.4.1.

La penalización puede abarcar un amplio abanico de posibilidades. Como mínimo, no podrán proseguirse los trabajos hasta que se tomen medidas para incrementar la calidad del hormigón. Y en el otro extremo, puede llegarse hasta la demolición y pago de los costes adicionales necesarios.

(1) N. Petersons, «Recomendaciones para estimar la calidad del hormigón en estructuras terminadas». Boletín RILEM n.º 24, noviembre-diciembre 1971.

PRINCIPIOS

5.2. Aceptación con respecto a la resistencia exigida

5.2.1.

Si los resultados de los ensayos cumplen con el criterio establecido, se aceptará el hormigón correspondiente.

5.2.2.

Si los resultados de los ensayos no cumplen con el criterio establecido, deberán revisarse para comprobar que son resultados válidos. Si se comprueba que son no válidos, se tomarán las medidas adecuadas para asegurarse de que lo serán en el futuro. En tal caso, el hormigón puede ser aceptado con tal de que existan suficientes datos a la mano mostrando que otros lotes de hormigón con las mismas proporciones de mezcla, producidos en las mismas instalaciones y para la misma estructura, cumplieron el criterio de aceptación. Si tales datos no son disponibles, no puede haber aceptación sin una investigación ulterior del hormigón in situ tendiente a determinar si los ensayos cumplan o no.

5.3. Confirmación de los ensayos sobre probetas enmoldadas por medio de probetas testigo

5.3.1.

Si no ha sido posible llegar a una decisión de aceptación o rechazo basada en los resultados de las probetas enmoldadas, pueden extraerse y ensayarse probetas testigo del hormigón in situ, por ejemplo, cilíndricas.

Los resultados que se obtengan deben introducirse en el criterio de aceptación prescrito, o en otro que tenga una curva O-C adecuada, que no conduzca a un riesgo del consumidor más alto del correspondiente al criterio original. Los testigos deben extraerse de zonas distribuidas por igual en toda la parte de estructura afectada. Esta distribución homogénea hay que efectuarla también en lo que se refiere a diferentes profundidades de extracción por debajo de la superficie superior del hormigón.

Si los resultados satisfacen el criterio de aceptación inicialmente prescrito o al que se utilice para el caso, teniendo en cuenta las diferencias de edad, condiciones climáticas, etc., el hormigón debe aceptarse.

Si los resultados no satisfacen el criterio de aceptación, es necesaria una investigación ulterior con vistas a comprobar la seguridad y/o durabilidad a la estructura.

5.4. Penalizaciones por incumplimiento de la resistencia exigida

5.4.1.

Si resultan ser válidos los resultados de los ensayos que no cumplen la función de aceptación, o si las probetas testigo no cumplen, no cabe aceptar el hormigón sin una consideración ulterior de la seguridad, durabilidad y posible reparación. Debe imponerse siempre al contratista en este caso alguna forma de penalización, generalmente especificada de antemano, con objeto de conservar el equilibrio de los riesgos inevitables.

Deben comprobarse las proporciones de la mezcla, modificándolas si fuese necesario para aumentar la resistencia en el futuro. Y se considerará la conveniencia de aumentar el nivel de inspección.

C.5.4.2.

El ajuste económico puede relacionarse con el posible aplazamiento de la marcha de los trabajos, con los costes adicionales de las consultas necesarias, etc.

C.5.5.1.

Aun cuando puede resultar necesario también ensayar la durabilidad de la parte de estructura en litigio, estas directrices se establecen primordialmente para determinar la resistencia.

No es posible deducir conclusiones estadísticas válidas cuando se dispone de menos de 10 probetas testigo.

b) Cuando se emplean métodos no destructivos en combinación con otros destructivos, puede obtenerse una buena corrección a base de multiplicar todos los valores de la resistencia derivados de las curvas de tarado, por un factor igual al cociente entre el valor medio de la resistencia de las probetas testigo y los valores obtenidos de las mediciones no-destructivas efectuadas en los mismos lugares de donde se extrajeron aquéllas.

c) Respecto a la interpretación de resultados, deben tenerse en cuenta las siguientes observaciones:

— la resistencia a tracción del hormigón, que normalmente se desprecia en los cálculos, puede influir en el valor de la carga última;

5.4.2.

Es necesario identificar, en la estructura, la posición del hormigón en litigio.

En esta fase, la única información disponible es la dada por los resultados de los ensayos, que no cumplen el criterio de aceptación. Tales resultados permiten estimar la resistencia media del hormigón con un grado moderado de precisión, pero el cuantil 5 por 100 del hormigón en litigio sólo puede estimarse mediante estos resultados con un grado de precisión mucho menor.

Si, en base a los resultados de los ensayos que no cumplen el criterio de aceptación, resulta no existir garantía suficiente en cuanto a la seguridad estructural (y/o a la durabilidad), debe emprenderse una investigación más a fondo sobre la calidad del hormigón en la estructura.

5.5. Investigación de la seguridad estructural**5.5.1.**

Los ensayos que deben realizarse en la parte afectada de la estructura pueden ser o destructivos solamente, o destructivos en combinación con otros no destructivos.

Según la situación de que se trate, para comprobar la seguridad de la estructura será apropiado uno u otro de dos tipos diferentes de investigación. En unos casos, puede resultar apropiado y posible el investigar en detalle todas las secciones críticas. En tales casos, la resistencia medida en las secciones críticas puede tomarse como estimador de la resistencia real en dichas zonas.

Cuando no es posible emprender una investigación detallada de todas las zonas críticas, será más indicado valorar la resistencia en ellas mediante la estimación del cuantil 5 por 100. Ello requerirá en general, para alcanzar un nivel de confianza suficiente, el empleo de un estimador distinto del utilizado con las probetas enmoledas. Este estimador debe basarse en los resultados de un amplio número de probetas testigo y/o ensayos no destructivos. Todos estos ensayos deben distribuirse al azar en toda la zona sospechosa de la estructura. Si sólo se efectúan ensayos destructivos, deben extraerse un mínimo de 10 probetas testigo del área correspondiente a los ensayos que no cumplieron.

Los principios que a continuación se indican son aplicables a todos los casos.

a) Ensayos destructivos

Al extraer probetas testigo debe tenerse en cuenta la posible merma de capacidad resistente del elemento en cuestión, en relación con la seguridad estructural.

b) Ensayos destructivos junto con otros no destructivos

Los métodos mixtos son preferibles a los simples ensayos destructivos, por ejemplo, la combinación del esclerómetro y la velocidad de propagación para deducir la resistencia.

Debe disponerse de curvas de tarado, basadas en un número suficiente de resultados de ensayos, y que sean aplicables al hormigón en cuestión. Para dar validez a los ensayos no destructivos, deben extraerse al menos tres probetas testigo, preferiblemente en lugares que contengan, a la vez, hormigones de alta y baja resistencia. Los resultados de estos ensayos destructivos deberán utilizarse para, si es necesario, corregir los resultados de los ensayos no destructivos.

c) Pruebas de carga en elementos prefabricados

Si se trata de elementos prefabricados pueden llevarse a cabo pruebas de carga, llegando hasta la rotura, sobre un cierto número de los mismos.

- las pruebas de carga, que son de corta duración, no toman en consideración ni los efectos dinámicos ni los mantenidos, causantes ambos de una reducción de resistencia y de rigidez.

C.5.5.2.

Corresponde al técnico responsable tomar la decisión de aceptar o rechazar, teniendo presentes los requisitos de la Normativa nacional sobre seguridad. De cualquier modo, siempre existirá un cierto margen de incertidumbre que deberá evaluarse de forma personal, lo que corresponde al campo de la responsabilidad profesional. Futuros conocimientos y estudios sobre el tema habrán de reducir el referido margen.

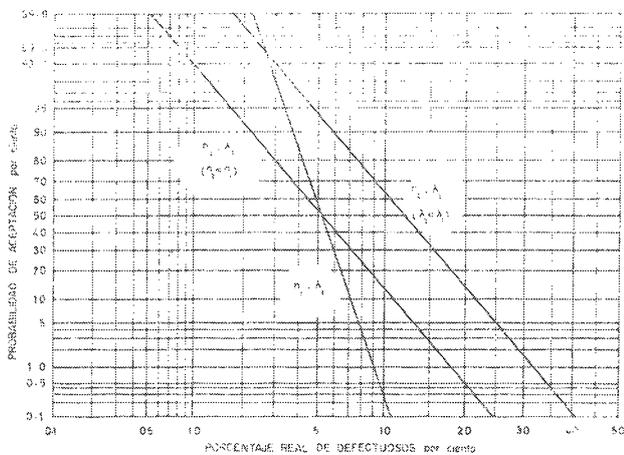


Fig. 2. — Curvas O-C para criterios de aceptación de la forma $\bar{x}_n - \lambda s_n \geq f$, con parámetros variables n y λ .

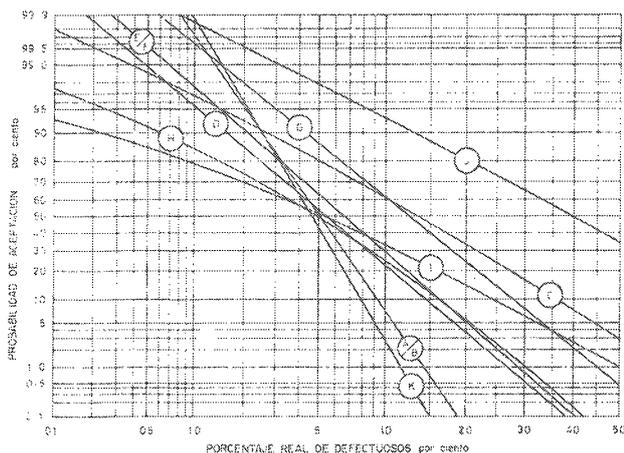


Fig. 4. — Curvas O-C para algunos criterios de aceptación que figuran en normas nacionales (ver tabla 3).

Puesto que los resultados de los ensayos en los tres casos a), b) y c) indicados se obtienen directamente de la estructura real, cabe considerar el empleo de valores reducidos del coeficiente parcial de seguridad γ_m al calcular los efectos sobre la estructura, en el supuesto de que todas las secciones críticas han sido investigadas. Ello es así porque, en este caso, desaparece una parte de las incertidumbres que cubre el factor γ_m aplicado a la resistencia sobre probetas enmoldadas.

5.5.2.

Si, en base a los resultados de ensayos realizados en la parte afectada de la estructura, es posible concluir que la seguridad estructural no resulta afectada, deberá aceptarse el hormigón, tras haber decidido si hay que efectuar reparaciones a efectos de durabilidad y tras haber decidido si es necesario fijar un ajuste económico con el contratista.

5.5.3.

Si la seguridad estructural resulta afectada, cabe considerar si la estructura puede reforzarse o clasificarse en un nivel inferior de utilización en el que dicha seguridad sea suficiente. De ser imposible, el hormigón deberá rechazarse.

Si es posible reforzar o declarar, puede aceptarse el hormigón tras haber decidido si hay que efectuar reparaciones a efectos de durabilidad y tras haber decidido si es necesario fijar un ajuste económico con el contratista.

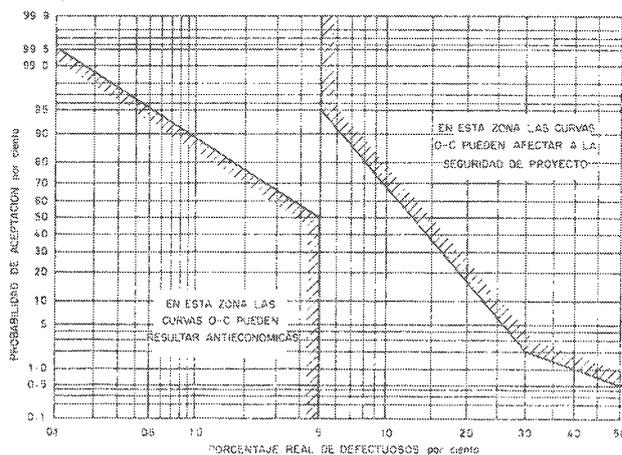


Fig. 3. — Propuesta de fronteras para las curvas O-C correspondientes a criterios de aceptación de la forma $\bar{x}_n - \lambda s_n \geq f$.

índice

INFORMES N.º 329

NOTA HISTORICA

PROLOGO A LA VERSION ESPAÑOLA

1. INTRODUCCION

- 1.1. Generalidades
- 1.2. Objeto de este documento
- 1.3. Criterios de aceptación y rechazo
- 1.4. Responsabilidades relativas al proyecto, al control de producción y a la aceptación o rechazo
- 1.5. Selección de reglas para el control de producción y para la aceptación o rechazo

2. PRESCRIPCIONES DE PROYECTO

- 2.1. Generalidades
- 2.2. Resistencia característica del hormigón
- 2.3. Tipificación de resistencias de hormigón
- 2.4. Formas de especificar el hormigón
- 2.5. Hormigón de Dosificación Proyectada
- 2.6. Hormigón de Dosificación Normalizada
- 2.7. Hormigón de Dosificación Impuesta

3. CONTROL DE PRODUCCION

- 3.1. Generalidades
- 3.2. Prescripciones relativas a la fabricación del hormigón
- 3.3. Prescripciones relativas a la medición de variables significativas
- 3.4. Control estadístico de la resistencia
- 3.5. Curado acelerado
- 3.6. Análisis rápido

INFORMES N.º 330

4. CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO

- 4.1. Generalidades
- 4.2. La función de aceptación
- 4.3. La curva característica (curva O-C)
- 4.4. Procedimientos de muestreo y ensayo
- 4.5. Tamaño del lote y frecuencias de muestreo y ensayo
- 4.6. Resumen de principios relativos al criterio de aceptación o rechazo

5. ACCIONES DERIVADAS DE LA APLICACION DEL CRITERIO DE ACEPTACION O RECHAZO

- 5.1. Generalidades
- 5.2. Aceptación con respecto a la resistencia exigida
- 5.3. Confirmación de los ensayos sobre probetas enmoldadas por medio de probetas testigo
- 5.4. Penalización por incumplimiento de la resistencia exigida
- 5.5. Investigación de la seguridad estructural