
NOTAS TÉCNICAS

HORMIGONES CONTROLADOS

En diversas oportunidades han surgido dudas sobre cuál es la interpretación que debe dársele al concepto de hormigón controlado que aparece en la norma INDI-TECNOR 30-62¹.

En esa norma se define como confección controlada del hormigón "el método de ejecución en que se regulan, en forma continua, las características de los materiales componentes y su dosificación, en virtud de ensayos de laboratorio, con el fin de cumplir las exigencias prescritas". Además se establece que los hormigones de las clases A, B y C se denominarán "no controlados" y los de las clases D y E, "controlados". Se dispone también que los tres primeros se dosificarán a partir de una cantidad mínima de cemento por metro cúbico, mientras que los hormigones D y E se determinarán atendiendo a la resistencia mínima a los 28 días y a la consistencia necesaria según el destino del hormigón.

Es difícil encontrar razones para justificar la diferencia que se hace entre los dos grupos de hormigones. Tal vez se pensó que los del primero, debido a sus resistencias relativamente bajas, se destinan a obras poco importantes en las cuales no es usual encontrar condiciones propicias para ejercer control, y para contrarrestar esa deficiencia se les fijó una dosis mínima de cemento. En cambio, según una línea de ideas semejantes, las resistencias más elevadas de los hormigones D y E impondrían la obligación de aplicar un control eficiente para obtenerlas.

Sin embargo, la verdad es que hay obras cuya estabilidad o durabilidad pueden no estar determinadas por la resistencia a la compresión, sino por otras propiedades del hormigón: en ellas puede ser suficiente usar hormigón de las clases A, B o C, o aún inferiores, pero no por eso dejan de ser importantes y de requerir control. O sea, que la necesidad de controlar una obra no está determinada por el valor absoluto que se fije a la resistencia del hormigón sino por la exigencia de cumplir con una especificación.

Las dudas y confusiones se suscitan porque siendo razonable concluir que cualquier hormigón puede, y en algunos casos, debe ser controlado, sucede que

la aplicación estricta de la norma deja fuera de esa posibilidad a algunos hormigones.

Apartándonos del texto de la norma, que en el aspecto comentado nos parece susceptible de ser corregida, queremos analizar las condiciones que deben cumplirse en una obra para que se le pueda dar el calificativo de controlada.

Calidad del hormigón

La calidad del hormigón depende de muchos factores, cada uno de los cuales experimenta variaciones imprevisibles, de manera que, como resultado, el hormigón producido en una obra cualquiera sufre también variaciones imprevisibles o al azar. La calidad del hormigón queda, por esto, representada por dos índices: el valor medio de la propiedad que interesa (generalmente la resistencia a la compresión, pero también puede tratarse del coeficiente de permeabilidad, de la durabilidad, etc), y la desviación estándar o el coeficiente de variación. Conociendo ambos índices se puede calcular la fracción defectuosa, es decir la proporción de material que tiene calidad inferior a la especificada como mínima.

Cuanto menor sea el valor de la desviación, menor es la fracción defectuosa a igualdad de media; sobre la desviación se puede influir a través de la organización, cuidado y vigilancia que se despliegan en la preparación del hormigón, o sea, a través del control en obra. La diferencia entre un buen control y un control deficiente sólo se traduce en una disminución del coeficiente de variación y no tiene efecto, teóricamente, sobre el valor medio. En la práctica, sin embargo, sucede con mucha frecuencia que en las obras mal controladas hay una tendencia sistemática a aumentar la cantidad de agua del hormigón, con lo cual la calidad media desmejora.

Fuentes de variación

Tres son las fuentes principales de variación: cambios en las características de los componentes del hormigón, diferencias en las mediciones y modificaciones en las operaciones de preparación.

Las propiedades de los materiales que integran el hormigón, o sea, el cemento y los áridos fino y grueso, varían de una partida a otra. El cemento, en cuya fabricación se ejerce buen control, no varía mucho; en cambio los agregados presentan diferencias que pueden ser importantes entre envíos y aun dentro de cada entrega. La calidad del agua se puede suponer que no tiene variaciones.

Para la preparación de cada cachada de hormigón se miden previamente los materiales, sea en volumen sea en peso. Cada método de medición tiene imprecisiones y errores inherentes. El cemento, por venir envasado, se agrega

por sacos completos y da lugar a pocas diferencias en las medidas. Los áridos se miden, muy frecuentemente, en volumen, sistema que resulta defectuoso, a menos que se sacrifique el rendimiento en aras de la precisión; otra manera, es medirlos en peso en cuyo caso puede lograrse un grado de uniformidad bastante bueno. El agua es, desde este punto de vista, uno de los materiales que más influye. A menudo la cantidad de agua se decide por observación visual del aspecto del hormigón; tal procedimiento da origen a las mayores variaciones de calidad. El agua debe agregarse en cantidades bien medidas y además hay que hacer correcciones debidas a cambio de humedad de los agregados.

El mezclado del hormigón es desigual dentro de cada cachada y entre cachadas a causa de modificaciones de los tiempos relativos de llenado, revoltura y vaciado; también influyen las condiciones mecánicas del equipo usado y su limpieza. Si el mezclado es manual, las variaciones son mayores en magnitud, especialmente las que se producen dentro de cada cachada.

La compactación y el curado también introducen diferencias de calidad, las que dependen de la forma y cuidado con que se realicen y el segundo factor, además, del clima.

Exigencias de un buen control.

Tal como se dijo antes, todas y cada una de las variaciones descritas se producen siempre en las obras: son inevitables; no obstante, es posible reducirlas a límites estrechos ejerciendo un control adecuado.

En primer lugar se requiere mantener pareja, durante toda la obra, la calidad de los materiales. Deben usarse un mismo tipo y marca de cemento para cada dosificación; es preferible usar uno solo en toda la obra, para evitar confusiones, a menos que haya razones claras que aconsejen emplear varios. Los agregados deben ser de igual origen y proveniencia durante toda la obra; deben mantenerse separados y acopiarse de forma que se evite la segregación; a veces puede ser conveniente separar el árido grueso en dos o tres fracciones.

En segundo lugar hay que utilizar métodos de medición adecuados. El agua debe medirse con especial cuidado, con medidores automáticos cuyos dispositivos de regulación se conserven en buen estado. Los agregados se medirán por pesadas en balanzas automáticas y periódicamente se determinará su humedad para hacer las correcciones que correspondan.

En tercer lugar, debe ejercerse vigilancia sobre las operaciones de mezclado, compactación y curado con el objeto de que se realicen en forma sistemática y uniforme siguiendo una pauta previamente fijada.

El cumplimiento de un programa de control estricto, que llene los requisitos anotados, exige que el hormigonado esté a cargo de personal técnico capacitado. Otra condición adicional es la existencia en obra de un laboratorio en que se puedan hacer ensayos de calidad de los agregados y determinación de hu-

medad.

En la mayoría de los casos, sin embargo, no se toman todas las precauciones que hemos señalado. Puede suceder que no se mantenga una calidad pareja de los agregados, o que los materiales se midan por métodos menos rigurosos que el de las pesadas, o que no se tome en cuenta el agua proveniente de la humedad de los agregados, o que el hormigonado esté a cargo de personal sin suficiente competencia, o en fin, que se den varias de estas circunstancias simultáneamente.

Valores del coeficiente de variación

La experiencia ha hecho ver que según sea el grado de vigilancia y de control que se tenga en una obra se obtienen coeficientes de variación que se pueden considerar típicos. En diversas publicaciones^{2,3,4} se anotan valores de ellos y los que damos a continuación se basan, en gran parte, en la referencia 2.

Control en laboratorio, coeficiente de variación inferior a 5%.

Control excelente, coeficiente de variación hasta 10%. Se logra con plantas dosificadoras automáticas, operaciones a cargo de personal competente que incluyen ensayos de laboratorio en faena y constancia rigurosa de la calidad y humedad de los agregados.

Control bueno, coeficiente de variación de 10 a 15%. Se obtiene con dosificación automática, operaciones a cargo de personal competente, laboratorio en faena y ajustes por variación de calidad de los materiales.

Control normal, coeficiente de variación de 15 a 20%. Se logra con dosificación automática, operaciones a cargo de personal competente, laboratorio en faena, correcciones y ajustes por cambios importantes en la calidad de los materiales.

Control pobre, coeficiente de variación de 20 a 30%. Corresponde a dosificación en volumen y operaciones a cargo de personal sin mucha competencia.

Control malo, coeficiente de variación superior a 30%. Resulta con dosificación en volumen y sin cuidados especiales en la preparación del hormigón; en realidad corresponde a falta de control, en estas condiciones se pueden producir coeficientes de variación bastante mayores que 30%.

Hormigones controlados

Ya se han expuesto todos los antecedentes para responder a la pregunta planteada: ¿cuando se puede considerar controlado un hormigón?.

Según nuestra opinión, se debe considerar controlado todo hormigón del que se compruebe que cumple con una calidad mínima supuesta con anticipación. Veamos por tanto, en qué condiciones sucede esto.

Nos referiremos solamente a aquellos casos en que el índice de la calidad del hormigón está representado por su resistencia a la compresión. Además,

aceptamos que las resistencias mínimas especificadas en la norma INDITEC-NOR 30-62ch corresponden a una fracción defectuosa de 20%, siguiendo el criterio de ACI⁵ para obras de hormigón armado calculadas proporcionalmente con tensiones admisibles semejantes a las aceptadas en Chile.

Entonces, para garantizar una resistencia mínima dada, hay que especificar, además de ésta, la media correspondiente a una fracción defectuosa de 20% en las condiciones de control que se esperan en la obra.

Para ello es suficiente conocer el coeficiente de variación el cual, aunque en general no es conocido a priori, puede estimarse sirviéndose de informaciones disponibles. Valen para esto las que se han presentado en este trabajo, que son de carácter general y están basadas en la suposición de que a igual control corresponde igual coeficiente de variación. Hay informaciones más específicas que se deducen del análisis de resultados anteriores obtenidos en obras semejantes por empresas constructoras de organización y métodos de trabajo parecidos a la que se considera. En este último caso los valores llevan también incorporados el efecto, comprobado experimental y teóricamente, de que, para igual grado de control, el coeficiente de variación disminuye al aumentar la resistencia media⁶.

Las resistencias medias se calculan a partir de la mínima por la siguiente fórmula:

$$R_{\text{med}} = \frac{R_{\text{mín}}}{1 - 0,85 v}$$

en que v es el coeficiente de variación. Haciendo las operaciones se obtienen los valores que se anotan en la Tabla I.

Una simple mirada a la Tabla I hace resaltar, sin ninguna duda, la conveniencia de establecer un buen control en las obras. Se puede deducir, deteniéndose en algunas cifras, que los hormigones A, B y C pueden lograrse, con los cementos corrientes nacionales, aun con controles pobres; en cambio los hormigones D y E requieren por lo menos un control normal o, para más seguridad, un buen control. En estos dos últimos casos, por lo tanto, deben agregarse en las especificaciones del proyecto las exigencias de dosificación en peso, de elaboración a cargo de personal competente y de constancia de la calidad de los agregados comprobada por ensayos frecuentes de laboratorio; o bien, como alternativa, el uso de cemento de alta resistencia junto con un control normal.

En todos los casos hay que hacer en la obra misma, o encomendar a algún laboratorio, el cálculo de la dosificación para obtener la calidad media y la consistencia necesarias del hormigón y deberán comprobarse ambas características haciendo hormigones de prueba. Si tales hormigones se hacen en las

TABLA I

RESISTENCIAS MEDIAS NECESARIAS PARA OBTENER HORMIGONES DE LAS CLASES A,B,C,D Y E DE INDITECNOR 2.30-65

Clase	Resistencia mínima kg/cm ²	Coefficiente de variación %	Resistencia media kg/cm ²
A	120	0,10	130
		0,15	138
		0,20	145
		0,30	160
		0,40	180
B	160	0,10	175
		0,15	183
		0,20	193
		0,30	215
		0,40	245
C	180	0,10	197
		0,15	205
		0,20	215
		0,30	240
		0,40	275
D	225	0,10	245
		0,15	260
		0,20	270
		0,30	300
		0,40	340
E	300	0,10	330
		0,15	345
		0,20	360
		0,30	400
		0,40	450

mismas condiciones en que se trabajará posteriormente en la faena, darán además información sobre el coeficiente de variación que se obtendrá; en caso que se hagan en condiciones diferentes o en laboratorio, sólo servirán para elegir la dosificación.

Muestras y ensayos

Queda por considerar la última etapa del control que consiste en comprobar que el hormigón cumple con la calidad especificada. Para ello se toman muestras y se someten a los ensayos correspondientes; si las muestras están tomadas conforme a alguna norma adecuada, en ellas quedan representadas todos los factores de variación que hemos mencionado, en su magnitud real, excepto la compactación y el curado que pueden ser, y generalmente son, diferentes en las muestras que en la obra.

Con respecto al número de muestras, la norma INDITECNOR 2.30-62 ch lo establece para los efectos de la recepción oficial de la obra; pero para el propósito que estamos analizando, parecen más adecuados otros criterios^{3,7,8}

Según ellos, se tomará a lo menos una muestra por turno, por betonera y

por cada dosificación que se prepare, aunque es recomendable tomar el mayor número posible.

Estimamos que esta frecuencia de muestreo debe mantenerse desde el comienzo de la obra y hasta que se obtengan valores estables de la media y del coeficiente de variación.

Posteriormente, si se cumplen las especificaciones, puede irse a un programa de muestreo menos estricto, que se podrá mantener o modificar según lo determine el análisis de los resultados que se sigan obteniendo.

Si no se cumplen las especificaciones, o si el coeficiente de variación es muy distinto del que se ha supuesto, la primera etapa de muestreo sirve para hacer los ajustes que sean aconsejables y debe mantenerse hasta que se obtengan los resultados apetecidos.

La mejor forma de ir siguiendo la fluctuación de los resultados es por medio de un diagrama de control confeccionado según las recomendaciones de la técnica estadística, ver INDITECNOR 5-2 ch⁹.

Hay que tener presente que los resultados definitivos se conocen recién a los 28 días, plazo que es largo; por eso hay que hacer ensayos a 3 y a 7 días, para tener información que haga posible tomar decisiones oportunas. No corresponde tratar aquí el problema de las relaciones entre resistencias a estas fechas con la de 28 días; se pueden encontrar datos valiosos a este respecto en un artículo publicado en un número anterior de esta Revista¹⁰.

Parece aconsejable que todo el plan de control, muestreo y ensayos sea formulado por el ingeniero proyectista, como parte de las disposiciones de cálculo. Al mismo tiempo es de interés que se deje sentado el criterio sobre la manera de proceder en caso de que se produzcan resultados inferiores al mínimo con frecuencia superior al 20%; este aspecto, que es de mucho interés, no forma parte del tema de este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- INDITECNOR 30-62 ch, "Hormigones de cemento".
- 2.- ACI Committee 214: "Recommended practice for evaluation of compression tests results of field concrete". Journal of the American Concrete Institute. Proc. vol 54. jul 1957 pp.1-34
- 3.- HIMSWORTH, F.R. "The application of statistics to concrete quality". Proceedings of a symposium on mix design and quality control concrete. Cement and Concrete Association Londres, May 1954 pp. 465-487.
- 4.- PEÑA DE LA, L. "Método de dosificación para obras importantes de hormigón en masa o ligeramente armado". Laboratorio control de ensayo de materiales de construcción. Publicación n° 115. Madrid 1961.
- 5.- ACI Committee 318. "Proposed revision of Building Code Requirements for Reinforced

- Concrete". Journal of the American Concrete Institute. Proc. vol 59, feb. 1962 pp. 145-276.
- 6.- LAMANA, A. "Calidad del hormigón y del acero para hormigón armado de las construcciones sometidas a los terremotos de mayo de 1960 en el sur de Chile". Revista del IDIEM. vol 1, nº 1, marzo 1962 pp. 41-73.
 - 7.- "Construction Manual" State of California. Dept. of Public Works. Division of Highways. 1955.
 - 8.- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento. "Instrucción Eduardo Torroja especial para estructuras de hormigón armado H.A. 61" Madrid 1961.
 - 9.- INDITECNOR 5-2 ch. "Control estadístico de calidad".
 - 10.- PIÑEIRO, M. "Relación entre las resistencias a la compresión de hormigones a 7 y a 28 días." Revista del IDIEM. vol 2, nº 1, abril 1963 pp. 33-43.

E. Gómez G.