Materiales de Construcción Vol. 17, nº 126
Abril, mayo, junio de 1967

687-21

endurecimiento acelerado del hormigón con vistas a los ensayos rápidos de control

Prof. A. BERIO

Bulletín RILEM n.º 31, junio 1966

Bajo este tema se reúnen las comunicaciones presentadas, en un total de ocho, a un coloquio convocado por la Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayo de Materiales (RILEM), con el fin de discutir la importancia de la aplicación del endurecimiento acelerado de los hormigones por tratamiento con agua caliente o vapor en los ensayos de control a corto plazo.

Este coloquio fue presidido por el profesor Berio, de la Universidad de Cagliari (Italia), quien hizo el siguiente resumen del mismo:

El coloquio por correspondencia sobre «Endurecimiento acelerado del hormigón con vistas a los ensayos rápidos de control» tiene por finalidad reunir la información al día sobre una técnica de ensayos que había tenido importantes aplicaciones en los últimos años, con el fin de sentar las bases para una posible normalización. En un rapport preliminar (publicado en el núm. 18 del boletín RILEM), el objeto del coloquio se restringía al empleo de procedimientos de endurecimiento acelerado del hormigón con el fin de sacar resultados experimentales más rápidos que cuando se recurre al endurecimiento natural. En dicho coloquio se habían excluido todos aquellos estudios que tratan de sugerir procedimientos de endurecimiento rápido (agua caliente, o más a menudo vapor) de todo tipo de piezas prefabricadas de hormigón: problema cuya importancia técnica es considerable y cuya bibliografía se extiende a muchos trabajos que cubren al menos medio siglo. Es evidente que las muestras de hormigón empleado en la fabricación de estas piezas, que deben ser ensayadas para el control de calidad, deben someterse al mismo tratamiento antes del ensayo.

Por el contrario, el problema discutido en este coloquio era la posibilidad y la ventaja de someter las probetas de hormigón a un proceso de endurecimiento rápido, con el fin de obtener, ensayándolas después del tratamiento, una predicción en el plazo de tiempo más corto posible, de la resistencia del mismo hormigón empleado en una construcción sometida a un envejecimiento natural y en un plazo convencional de 28 ó 90 días. Esto exigía a los participantes al Coloquio enviar, según los casos:

- rapports originales;
- fichas de información sobre los procedimientos de endurecimiento rápido empleados en el laboratorio;
- reseñas bibliográficas aparte de una lista previsora enviada a los participantes.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

Los participantes han sido un total de 26. Como es natural, muchos de ellos se han inscrito solamente con el fin de ser informados sobre el asunto presentado en el Simposio, ya que sólo se han presentado nueve trabajos, y solamente 10 laboratorios de ensayo han dado información de los procedimientos de endurecimiento acelerado de probetas de hormigón empleados en dichos laboratorios.

comunicaciones presentadas

El examen de los nueve trabajos originales que se han sometido al Coloquio ha permitido clasificarlos como sigue, en la forma que enfocan el problema.

Hay que señalar que dos trabajos, los de el Sr. DUTRON y los Sres. YOKOMICHI y HAYASHI, no sólo consideran la ganancia en resistencia a consecuencia del tratamiento de endurecimiento acelerado; examinan también el curado posterior que pueden adquirir las probetas más tarde, comparándolo con el de los hormigones que no se han tratado.

El Sr. DUTRON ha recogido los resultados comparativos de la resistencia de cubos tratados en vapor entre 20 y 60° C y ensayados después de 24 horas de su confección y la resistencia de cubos conservados en agua a 20° C hasta la edad de 28 días. Los ensayos se han llevado a cabo sobre 23 cementos de todas las calidades normalizadas en Bélgica, con diferentes contenidos en cemento: los resultados muestran la posibilidad de agruparlos y de relacionar la resistencia después del tratamiento a la resistencia de referencia después de 28 días con una fórmula logarítmica y una dispersión de ± 15 por ciento.

Los Sres. YOKOMICHI y HAYASHI, tratan el problema de una forma un poco diferente. Ellos han investigado un método de endurecimiento acelerado que responde a dos condiciones:

a) Obtener, en 3 ó 4 días, al menos el 80 % de la resistencia convencional a 28 días;

b) No sacrificar, sin embargo, la posibilidad de endurecimiento natural del hormigón, de tal forma que las muestras tratadas puedan alcanzar, a 90 días, la misma resistencia que la de las probetas de referencia.

Como consecuencia de los resultados llevados a cabo, sugieren no sobrepasar en el tratamiento la temperatura de 40° C; el endurecimiento acelerado se aplica durante un período de 2-3 días. Este resultado, bien entendido, es más útil a los constructores de piezas prefrabicadas que a los laboratorios; sin embargo, podría encontrar aplicación en ensayos, por ejemplo, de hormigones para presas. En este caso, se podría someter al tratamiento todas las muestras tomadas, previendo el ensayo ordinario a 3 días y un control más estricto a 90 días, con la ventaja de una completa uniformidad de tratamiento para todas las muestras.

La comunicación del Sr. DUBOIS se limita, por el momento, puesto que ha sido necesario interrumpir los ensayos en curso, a ilustrar una instalación para el endurecimiento acelerado de probetas de hormigón para piezas prefabricadas. El endurecimiento se obtiene en atmósfera de vapor saturado a la presión atmosférica. La temperatura más favorable parece ser la de 80° C mantenidos durante 4 horas.

El autor se reserva a comentar los resultados definitivos de su investigación; parece, sin embargo, que se pueden obtener después de 5 horas de la confección de las probetas, resistencias apreciables para juzgar la calidad del hormigón.

Con el mismo fin de obtener datos sobre la resistencia de un hormigón lo antes que sea posible, el Sr. MIHAIL propone un método de endurecimiento muy rápido. Trabaja sobre probetas cilíndricas (11,3 cm de diámetro y 10 cm de altura) confeccionadas en moldes estancos y expuestas inmediatamente después de su confección a 98° C. El tratamiento dura 3 horas,

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

Para una protección anticorrosiva duradera de las armaduras de tensión dispuestas en los canales o conductos tubulares habituales, deberán llenarse posteriormente éstos con mortero de cemento. Los espacios vacíos que aquí puedan resultar, debido a las inevitables oscilaciones de la temperatura y de la humedad relativa del aire que con ella se relaciona, así como los vanos aislados, pueden provocar, en el mejor de los casos, corrosiones locales que, cuando menos, perdurarán en tanto exista oxígeno en el hueco.

La efectividad de los aceros para hormigón está relacionada con sus elevadas tensiones internas, que en el pretensado se acumulan en forma todavía más alta y de efecto más permanente. Por esta razón, estos aceros son muy sensibles a los defectos superficiales. Los fabricantes de acero, a causa de esta sensibilidad de los aceros tesados a sus fallos superficiales, se ocupan constantemente de eliminarlos, y cada vez en mayor medida. Al manipular estos aceros a pie de obra, o en fábricas de hormigón, debe tenerse en cuenta esta particularidad, ya que, de lo contrario, podrían malograrse los esfuerzos del fabricante en este sentido. Los usuarios, y en particular las autoridades, debieran en cualquier caso convencerse de que la fabricación de piezas para la construcción en hormigón pretensado, incluso en las factorías mejor equipadas, es asunto que presenta grandes complicaciones, y que siempre existen ciertos límites para la utilización de las propiedades nominales.

La aparición de fractura en los hilos, en el momento de la tensión o después, ha sido objeto de los más encendidos comentarios, llegando incluso a comprometer este procedimiento de construcción, en sí mismo. De pronto, surgió el tema de la corrosión por tensión o de la corrosión por fisuras de tensión, a la que se hizo responsable general de las rupturas.

Lo extraordinariamente complejo de las circunstancias no ha sido hasta ahora debidamente desentrañado ni explicado en forma satisfactoria, con la excepción de algunos pocos casos concretos. Hay que tener en cuenta que la frecuencia efectiva de estas rupturas es mínima en proporción con la totalidad. La investigación a escala mundial de las fracturas efectivamente producidas, en el transcurso de 1 año, por ejemplo, por parte de la FIP, representaría una valiosa contribución a su esclarecimiento, y la base para la elaboración de unas normas severas, con cuya aplicación quedarían desterradas las prácticas constructivas inconvenientes. Y todo ello, sin necesidad de llegar a construir los soportes de hormigón pretensado bajo una campana esterilizada, estudiando la obra como si fuera el campo de operación de un cirujano.

10. reglas de la protección anticorrosiva en los hormigones armado y pretensado

El resumen de la exposición precedente nos permite la formulación de algunas reglas para el proyecto y ejecución de construcciones de hormigón armado y hormigón pretensado, con cuyo cumplimiento queda garantizada una protección anticorrosiva constante de la armadura durante toda la vida de la construcción:

a) la valoración de las posibles incidencias químicas sobre la construcción, a causa del ambiente circundante o de su utilización, ha de realizarse durante la planificación. Para cada caso concreto, se establecerán las medidas necesarias para una protección anticorrosiva suficiente en cada momento;

b) en la tabla se han resumido los valores mínimos del revestimiento de hormigón y del contenido de cemento, así como la relación agua/cemento máxima en función de la acción protectora exigible contra las agresiones, indicadas en orden creciente de arriba abajo, a las que pueden verse sometidos los elementos constructivos.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

Hormigón armado y hormigón pretensado, compactados y con protección anticorrosiva permanente

Situación presente	Cobertura (cm)	Cemento (kg/m³)	agua/cemento
1. normal, seco humedad relativa del aire, 60 % permanentemente bajo agua	≥ 2	≥ 250	≤ 0,7
2. húmedo, industria intemperie atmosférica	≥ 2	≥ 300	≤ 0,6
3. agresivo, seco humedad relativa del aire, 60 %	≥ 3	≥ 300	≤ 0,6
4. agresivo, húmedo	≥ 3	≥ 300 estable	≤ 0,5
5. fuertemente agresivo, líquido	≥ 4	≥ 300 estable	≤ 0,5

Debe entenderse por «cobertura», la ligera separación entre la cara exterior de un elemento constructivo y la varilla de armadura que yace en su inmediata proximidad.

Los áridos y el amasado del hormigón han de seleccionarse dentro de unos límites tales que sea posible obtener un material suficientemente seco. Su densidad puede comprobarse en obra, de un modo muy sencillo, basándose en el peso del volumen de un cubo de hormigón recién compactado. Este no deberá estar, para una relación agua/cemento máxima, por debajo de los 2.300 kg/m³, y para una relación mínima, por debajo de los 2.400 kg/m³.

En la situación 4 del cuadro adjunto hay que contar, por ejemplo, con la zona de influencia del aire marino húmedo. Conviene emplear en ese caso un cemento resistente a esta agresividad específica.

En la situación 5 del mismo cuadro se incluyen, entre otras, las construcciones situadas en zonas de flujo y reflujo marinos, en terrenos agresivos, las destinadas a la industria química o de la alimentación, así como a recipientes para medios agresivos. Hay que emplear cementos resistentes a cada agresividad específica. Los revestimientos protectores, por ejemplo en depósitos para la industria de la alimentación, han de ser completamente compactos y aplicarse en cuanto aparezca la mínima fisura en el hormigón armado, ya que se deteriora con grietas de 2/10 de milímetro.

c) en todos los casos, el revestimiento de hormigón prescrito incluye un número suficiente de topes separadores, entre la superficie de encofrados y el acero de armadura situado en su inmediata proximidad. El espesor de estos separadores depende de la disposición

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

importante y de actualidad. Un número no despreciable de laboratorios efectúa ya ensayos de este tipo y probablemente otros se estimularán a hacerlo después de este coloquio.

Es digno señalar un segundo punto. La mayor parte de los investigadores están tratando de buscar un método de endurecimiento acelerado capaz de dar, a 1 día después de su confección, datos suficientemente precisos sobre la resistencia convencional de un hormigón a 28 días. Parece demostrado, por las investigaciones llevadas a cabo hasta ahora, que puede obtenerse el resultado deseado con una precisión media de ± 15 %, lo que parece suficientemente aceptable.

Finalmente, los ciclos de ensayo ampliados a 24 horas, empleados en los laboratorios que han dado información a este respecto, no se diferencian entre ellos más que en detalles que no son esenciales. Parece pues posible unificar todos estos métodos en una normalización preliminar. La preparación de estas normas podría ser confiada a la comisión «Hormigón» de la RILEM.

bibliografía

Unido al rapport general de el Sr. BERIO existen 55 referencias bibliográficas que dan una idea bastante definida del tema.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es

Laboratorio	Laboratoire d'Essais des Matériaux de la Ville de PARIS	Institutul de Cercetari in Constructii si Economia Constructiilor BUCURESTI	Instituut T. N. O. voor Bouwmaterialen en Bowconstructies DELFT	Materials Laboratory of the Snowy Mountains Hydro-Electric Authority AUSTRALIA
Problema que ha inducido a la adopción del endurecimiento acelerado.	Predicción rápida de la resistencia de los hormigones para piezas prefabricadas.	Control inmediato de la resistencia en obra y en prefabricación.	Control rápido de la resistencia de los hormigones.	Control rápido de los hormigones para construcciones hidráulicas.
Epoca inicial:	1963	1961	1957	1956
Procedimiento adoptado:		en encofrado estanco	desmoldadas	en los moldes
Las probetas se ponen después de moldeadas:		inmediatamente	48 h	30 min
En:	vapor	vapor o agua	agua hirviendo	agua
A la temperatura de:	80° C	98° C	100° C	74° C
El tratamiento dura:	4 h	3 h	2 h 30 min	21 h 30 min
Después se rompen:	inmediatamente	inmediatamente después de sacadas del molde	21 h después de sacadas del molde	2 h después de sacar y desmoldar
Duración total del ciclo de ensayo:		3 h	72 h	24 h
Observaciones:				

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

Materials Laboratory of the Snowy Mountains Hydro-Electric Authority AUSTRALIA	Imatran Voima Osakeyhtiö HELSINKI	Materials and Research Division Dept. of Highways of Ontario TORONTO	Instytut Techniki Budowlanej WARSZAWA	Dept. for Testing Materials - Norges Teckniske Hogskole TRONDHEIM	Facolta di Ingegneria, Istituto di Scienza delle Costruzioni Universita de CAGLIARI
Predicción a 24 horas de la resistencia de los hormigones a 28 días.	Control rápido de la resistencia de los hormigones en obra.	Control rápido de calidad de los hormigones para carreteras.	Control rápido de calidad de los hormigones para una presa.	Estimación rápida de la resistencia de los hormigones.	Estimación rápida de la resistencia de los hormigones.
1963	1961	1962		1963	1960
en los moldes	en los moldes	en los moldes			desmoldadas
24 h		20 min después de obtener una resistencia al ensayo Proctor de 246 kg/cm³ (1)	16 h	24 h	16 h
agua hirviendo	agua	agua hirviendo	agua	agua hirviendo	agua
100° C	80-85° C	100° C	75-80° C	100° C	80-85° C
3 h 30 min		16 h	7 h	3 h 30 min	8 h
1 h después de sacar y desmoldar	después de desmoldar	después de desmoldar	1 h después de sacar	1 h después de sacar	inmediatamente
28 h 30 min	24 h	24 h	24 h	28 h 30 min	24 h
El procedimiento adoptado es el método «Akroyd» modificado		Procedimiento FSAC			El mismo procedimiento es adoptado para el endurecimiento de los modelos reducidos en hormigón

(1) Según la norma ASTM C 403.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)
http://materconstrucc.revistas.csic.es