

RETRACCION DEL HORMIGON E INFLUENCIA DE LOS ADITIVOS EN LA MISMA (*)

Por JOSE COLOMER FERRANDIZ

Alumno de la E. T. S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Son muy diversos los factores que influyen sobre la retracción del hormigón. En el artículo que sigue, y después de un estudio general de algunos de dichos factores, se analiza en particular la influencia de los aditivos en sus distintas modalidades: retardadores, aceleradores, plastificantes, aireantes, etc., así como de los tratamientos térmicos y el comportamiento de hormigones especiales, retractarios y ligeros. El artículo es el resumen del trabajo que obtuvo el primer premio en el concurso convocado por HA-LESA en 1973.

1. Retracción. Mecanismo de la misma.

Entendemos por retracción del hormigón la disminución de volumen causada por las reacciones del agua, bien sea con los otros componentes del hormigón o con el medio ambiente. Juntamente con la retracción estudiaremos los aumentos de volumen (hinchamientos), ya que son fenómenos de la misma naturaleza.

Atendiendo a cuando se produce la retracción, podemos distinguir entre una retracción inicial debida a las reacciones que tienen lugar durante el prefraguado y el fraguado, y una retracción continuada que se produce en el hormigón ya fraguado por cambios higrométricos.

El mecanismo de la retracción es uno de los temas que aún hoy está muy debatido. El Dr. Calleja (7) dice al respecto: "Las dimensiones (volumen) de un sólido dependen de un equilibrio entre las fuerzas elásticas que le confieren rigidez y las fuerzas de superficie que tienden a hacerle adoptar la forma esférica y a anular la porosidad, siendo tanto más eficaces cuanto mayor es la superficie sobre la que actúan". Cuando las fuerzas de superficie aumentan se produce un mayor contacto entre las partículas sólidas, dando lugar a una retracción parcialmente irreversible.

Una consecuencia muy importante de la retracción es la fisuración. Si a la retracción de

un elemento se opone un obstáculo se originan unas fuerzas que dan lugar a las correspondientes tensiones. Las tensiones de tracción creadas pueden superar a la resistencia a tracción del hormigón, produciéndose grietas.

La tendencia a la fisuración también depende de otros factores como la elasticidad por tracción, la deformabilidad plástica del hormigón y la duración de la retracción, siendo mayor el peligro de agrietamiento cuanto más rápidamente se desarrolla ésta y más lentamente crecen las resistencias mecánicas.

Para evitar este agrietamiento lo mejor es retrasar la desecación, y con ella la retracción, hasta que el hormigón haya alcanzado la resistencia suficiente para absorber las tensiones creadas, cuidando mucho el curado o acelerando adecuadamente el endurecimiento del hormigón.

2. Factores que influyen en la retracción.

La Instrucción (24) tiene en cuenta en su artículo 26.7 la influencia de la retracción, y cita como variables más importantes para el cálculo de ésta, el grado de humedad ambiente, el espesor o menor diámetro de la pieza, la composición del hormigón, la cantidad de armadura (en el caso de hormigón armado) y el tiempo transcurrido desde la ejecución.

En los comentarios a la instrucción se da una fórmula para el cálculo del coeficiente de

Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que deben remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 1 de enero de 1975.

retracción en la que se tienen en cuenta todos estos factores. Del análisis de esta fórmula, podemos deducir:

- Al aumentar la humedad ambiente decrece la retracción.
- Cuanto mayor es el espesor ficticio de la pieza (es decir, el cociente entre el área de la sección y el semiperímetro en contacto con la atmósfera), menor es la retracción.
- Al aumentar la relación agua/cemento la retracción crece.
- En el hormigón armado, cuanto mayor es la cantidad de armadura, menor es la retracción.
- La retracción aumenta con el tiempo, aunque no de un modo uniforme.

Aparte de estas consideraciones de carácter eminentemente práctico que señala la Instrucción, para realizar un estudio más completo de los factores que influyen en la retracción, los podemos dividir en tres grandes grupos: En primer lugar, los factores ajenos a la ejecución del hormigón, a continuación los dependientes de ésta, y, por último, iremos estudiando en sucesivos apartados los efectos de los aditivos, hormigones especiales, tratamientos térmicos, etcétera.

2.1. Factores ajenos a la ejecución del hormigón.

El grado de humedad ambiente, es decir, las condiciones de conservación del hormigón, es uno de los factores más influyentes.

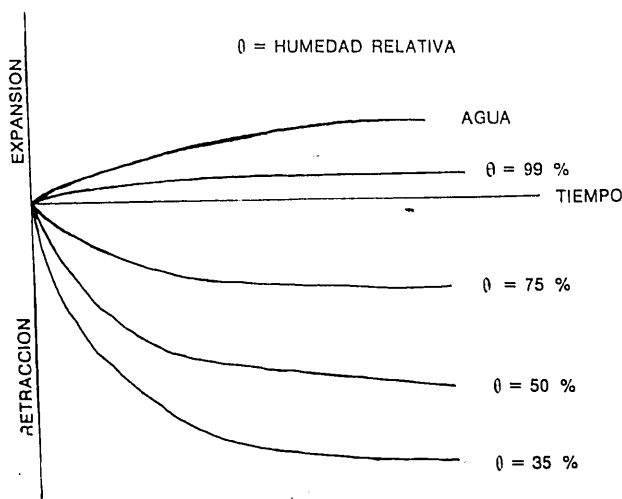


Figura 1.

Las curvas que nos ligan la variación de volumen con el medio de conservación son del tipo de las de la figura 1. En ellas podemos ver que la retracción disminuye al aumentar la humedad, y que en el caso de conservación en agua no sólo no se produce retracción, sino que tienen lugar hinchamientos.

Al someter a un hormigón a ciclos de desecación y humidificación continuados se producen contracciones y expansiones sucesivas, pero con la particularidad de que queda casi siempre una retracción remanente. El fenómeno queda reflejado en la figura 2, en la que en abscisas se ha puesto la pérdida de agua y en

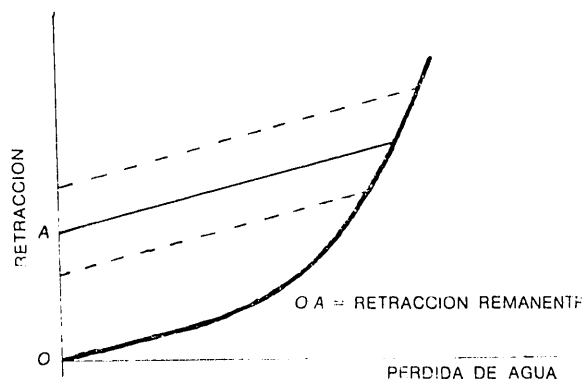


Figura 2.

ordenadas la retracción. En ella apreciamos que a partir de una cierta pérdida de agua se produce una retracción remanente (OA).

Para evitar una excesiva retracción, es muy importante el curado. Un curado realizado cuidadosamente evita la desecación del hormigón en su primera edad, que es cuando las resistencias son menores y, por tanto, el peligro de fisuración mayor.

La puesta en obra del hormigón también influye en la retracción. Un hormigón bien dosificado, con una puesta en obra cuidadosa y sobre todo bien compactado, a ser posible vibrado, que además sea sometido a un buen curado, es muy difícil que presente problemas retractivos.

2.2. Factores que dependen del hormigón.

Distinguiremos entre los dependientes de la composición del hormigón, es decir, de cemento, agua y áridos por separado y los que

son función de la relación entre los anteriores, o sea, de la dosificación.

2.2.1. Factores que dependen del cemento y áridos.

Como es lógico, la retracción de los hormigones está ligada al tipo de cemento y al comportamiento retractor de éste. La retracción de los cementos (y de los hormigones) depende de la finura de molido, aumentando conforme aumenta ésta. Este resultado es acorde con el mecanismo de la retracción indicado en el apartado anterior, ya que con la finura de molido aumenta la superficie, y con ella la eficacia de las fuerzas de superficie, que son las causantes de retracción.

F. Matouschek (22) ha realizado unas experiencias acerca de la retracción del cemento pòrtland en función del grado de saturación en cal y de la finura de molido del cemento, y ha llegado a la conclusión de que los cementos

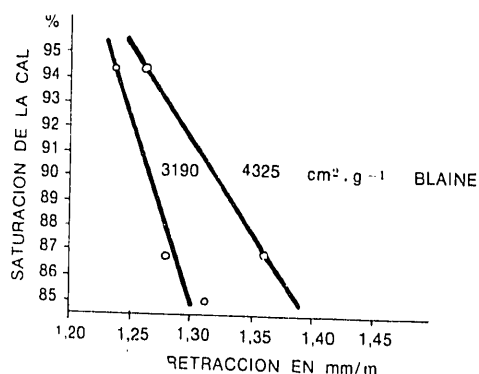


Figura 3.

con alto contenido de cal tienen una retracción menor. Sin embargo, este factor tiene menos importancia que la finura de molido, siendo la influencia de la cal mayor al aumentar la finura del cemento, como podemos apreciar en la figura 3, que nos da la retracción a los noventa días en función de la saturación en cal para cementos con distinta finura.

Respecto al tipo de cemento, Martínez Yndurá (21) afirma que la retracción aumenta en el orden de los cementos que a continuación citamos: Pòrtland ordinario, cemento aluminoso, cemento de escoria y pòrtland de alta resistencia inicial.

El mismo autor, refiriéndose a la composición del cemento, dice que el aumento de silicato tricálcico disminuye la retracción, mientras que al crecer el contenido de aluminato tricálcico ocurre lo contrario.

El contenido de yeso añadido al *clinker* también tiene su importancia. Se ha comprobado que la retracción es mínima en los cementos "correctamente retardados" cuyo contenido de yeso corresponde a la cantidad necesaria para transformar el aluminato tricálcico en monosulfato de aluminato tricálcico hidratado.

Por último, en cuanto a los áridos, hay que tener cuidado con los áridos porosos, ya que producen un incremento de los fenómenos reactivos. Hemos de procurar áridos limpios y con pocos finos. La adición de cenizas volantes no suele tener efectos perniciosos sobre la retracción, salvo en el caso de que sean muy finas.

2.2.2. Factores dependientes de la dosificación.

La relación agua/cemento (que ya hemos visto anteriormente que está considerada en la Instrucción) es uno de los factores que más influyen en los fenómenos reactivos.

Si observamos la figura 4, podemos apreciar en ella la influencia de la relación agua/cemento en la retracción del hormigón (según Haller) a diversas edades para un hormigón de unas características determinadas.

L'Hermite afirma que las retracciones sufridas por un hormigón de 350 Kg/m³ son las indicadas en la tabla 1. Podemos ver que la retracción crece con la relación agua/cemento (a./c.), pasando por un máximo para luego disminuir.

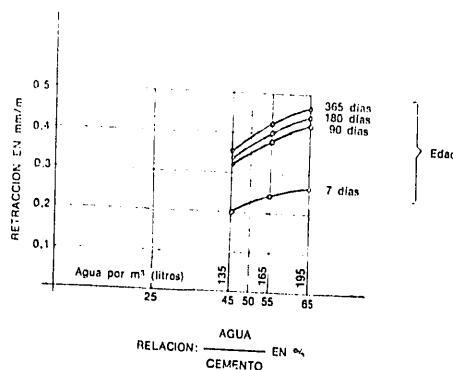


Figura 4.

TABLA 1

a/c	0,40	0,45	0,55	0,60
ret x 10	1,000	1,550	1,600	1,350

Todos los datos anteriormente citados están sacados de la monografía de Martínez Ynzega: "Retracción de morteros y hormigones" (21).

En la misma publicación nos viene también la influencia de otros muchos factores. Así, en la figura 5 vemos la influencia del cemento con los polvos inferiores a 0,1 mm y el agua ($c + p + a$), del factor tiempo, de la dosificación y de la fluidez del hormigón. (Estas variables no son independientes entre sí, ya que, por ejemplo, al aumentar el cociente ($c + p +$

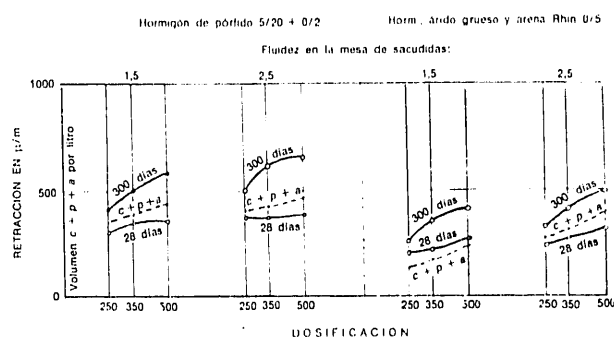


Figura 5.

+ a)/volumen de hormigón, la fluidez suele aumentar, etc.).

De la figura podemos deducir que los fenómenos de retracción aumentan con la cantidad de ($c + p + a$) por litro y con la fluidez. Asimismo, son más acusados conforme pasa el tiempo, y una mayor dosificación de cemento nos lleva a una retracción más intensa.

Es conveniente señalar la mayor importancia del conjunto ($c + p + a$) frente a la simple consideración de la cantidad de cemento por centímetro cúbico de hormigón, ya que si sustituimos parte del cemento por arena fina lo más probable es que la retracción no varíe.

2.3. Influencia del tiempo, ambiente y tipo de cemento en la retracción.

En los puntos anteriores hemos visto la influencia de todos estos factores por separado.

Con el fin de ratificar lo anteriormente expuesto y de tener una visión de la acción de estas variables actuando conjuntamente, creemos interesante exponer aquí algunos resultados recopilados por Campus (3) de unas experiencias realizadas en Francia.

Dichas experiencias se realizaron midiendo la retracción hasta trescientos sesenta y cinco días con morteros, pastas puras y hormigones. Sólo consideraremos los resultados correspondientes a los hormigones indicando que en el caso de morteros y pastas puras todos los fenómenos reactivos se veían considerablemente incrementados.

Las características del hormigón usado (granulometría, cantidad de cemento, relación agua/cemento), así como el tipo de probetas, etcétera, son comunes para todos los tipos de cemento ensayados.

Los ambientes en que se conservaron las probetas fueron:

Aire a 16° y 75 por 100 de humedad.

Agua potable a 16° C.

Disolución de 15 gr por litro de sulfato de magnesio cristalizado (a 16°).

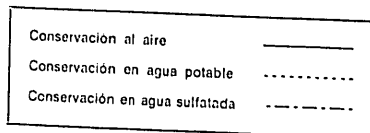
Los tipos de cementos usados fueron:

- Número 1. Cemento pórtland, de alta resistencia inicial.
- " 2. Cemento pórtland normal.
- " 3. Mezcla de dos partes en peso de cemento pórtland normal y de una parte de trass molido.
- " 4. Cemento de alto horno y de alta resistencia.
- " 5. Cemento de alto horno normal.
- " 6. Cemento siderúrgico normal.
- " 7. Cemento sobresulfatado.
- " 8. Cemento aluminoso.

En las figuras 6 a 13 representamos los resultados obtenidos.

Conclusiones.

En general, vemos que la retracción (o hinchamiento) varía mucho más rápidamente en los sesenta primeros días, para hacerlo después más lentamente. Una excepción lo constituye el hormigón con cemento número 3 debido, sin lugar a dudas, a la existencia de trass.



CEMENTO 1

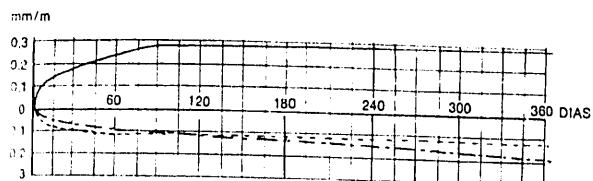


Figura 6.

CEMENTO 3

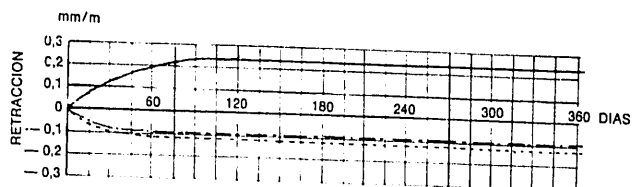


Figura 8.

CEMENTO 2

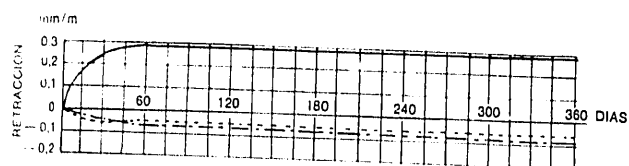


Figura 7.

CEMENTO 4

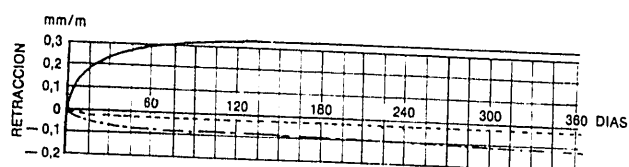


Figura 9.

CEMENTO 5

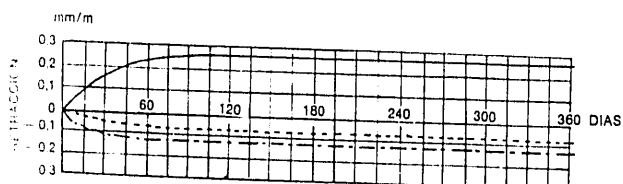


Figura 10.

CEMENTO 7

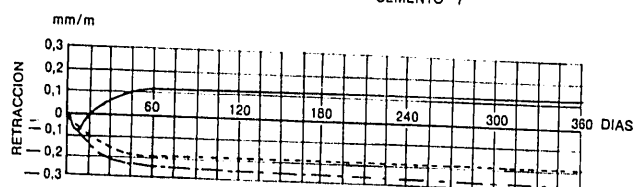


Figura 12.

CEMENTO 6

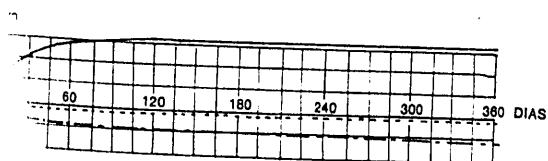


Figura 11.

CEMENTO 8

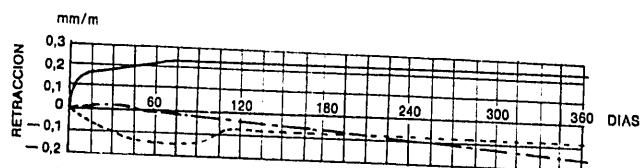


Figura 13.

Las retracciones no terminan, en general, a los trescientos sesenta y cinco días.

La inmersión en un medio líquido da lugar a hinchamientos, que son más pronunciados en el caso de agua sulfatada que si se trata de agua potable.

Todos los diagramas son bastantes semejantes, excepto los correspondientes a los cementos 7 y 8 (dada su diferente composición). En el caso de usar cemento sobresulfatado (número 7) se aprecia que al ser conservado en aire se produce en los primeros días un hinchamiento, para después provocarse una retracción menor. Esto se debe al carácter expansivo de dicho cemento, que ha de restarse de la retracción total.

3. Aditivos. Modo de actuar en la retracción.

El Dr. Calleja, en su obra "Estado Actual de los Estudios sobre Aditivos para Hormigón en España" (7), define los aditivos para el hormigón como: "sustancias naturales o productos artificiales que se añaden en pequeñas dosis al hormigón en el momento de su amasado, con objeto de conferir (o de modificar, generalmente, en sentido favorable y por un efecto físico, químico o físico-químico) alguna o algunas propiedades, o un determinado comportamiento, bien sea del hormigón recién amasado, o bien del material ya fraguado y endurecido".

Antes de pasar al estudio de la actuación de los aditivos, es conveniente hacer algunas observaciones sobre los mismos para comprender mejor su acción:

a) Los aditivos se añaden en pequeñas dosis, pero siempre existe un límite (superior o inferior), que caso de sobrepasarse lleva a efectos distintos de los perseguidos e incluso contrarios.

b) La acción de un aditivo casi nunca es única y específica y depende de la dosificación.

c) Nunca debe adicionarse a un hormigón un producto que no haya sido antes experimentado en condiciones similares a las de empleo.

d) Los productos de adición mejoran las características del hormigón, pero en ningún

caso hacen bueno un hormigón mal dosificado o mal puesto en obra.

Respecto al modo de actuar de los aditivos, ya vimos en el apartado 1, al estudiar el mecanismo de la retracción, que el volumen del hormigón dependía del equilibrio entre las fuerzas elásticas y las fuerzas de superficie y que al aumentar éstas se producía una retracción.

Según esta teoría, todos los factores que tienden a disminuir las fuerzas de superficie (reduciendo la tensión superficial) actúan sobre la retracción haciéndola menor, mientras que aquellas sustancias que aumenten la tensión superficial harán que la retracción sea mayor.

Los agentes tensoactivos, al reducir la tensión superficial del agua en los capilares, colaboran a la reducción de la retracción.

La absorción de gases y vapores tiende a reducir la tensión superficial, y disminuyen las áreas de contacto entre partículas, aumentando las fuerzas elásticas (o disminuyendo las fuerzas de superficie) y produciendo una expansión que neutraliza parcial o totalmente la retracción.

Por otro lado, las sustancias que no actúan sobre los fenómenos de capilaridad (electrolitos) influyen sobre la retracción aumentándola.

De todos modos, en la acción de todo aditivo hay que considerar que como ésta no es única, junto a su acción principal suele haber otras de carácter secundario, que pueden afectar a la retracción. Así, por ejemplo, un aditivo que reduzca la relación agua/cemento o actúe sobre cualquiera de las múltiples variables que hemos visto influyen en la retracción, influirá también en ella de modo indirecto.

4. Estudio de la acción de los distintos aditivos en la retracción.

Dado que no existe una clasificación oficial de los aditivos, y con el fin de seguir un cierto orden, en el presente trabajo consideraremos los grupos siguientes:

- Retardadores de fraguado.
- Aceleradores de fraguado y endurecimiento.
- Fluidificantes y plastificantes.
- Aireantes.
- Productos de curado.
- Impermeabilizantes.
- Anticongelantes.

4.1. Retardadores del fraguado.

Son sustancias, generalmente orgánicas, que añadidas al hormigón producen un retraso en el fraguado del mismo. En su composición ocupan un lugar importante el ácido lignosulfónico y sus sales, el ácido hidrocarboxilo y sus sales y algunos hidratos de carbono.

Estas sustancias actúan sobre la retracción tendiendo a disminuirla, ya que por un lado tienen un cierto carácter tensoactivo, y por otro, disminuyen la cantidad de agua, y con ella la relación agua-cemento (que, como ya vimos, al disminuir, la retracción es menor).

4.2. Aceleradores del fraguado y del endurecimiento.

Son sustancias o productos que al ser añadidos al hormigón adelantan el fraguado, el endurecimiento, o ambos a la vez, del mismo, haciendo que alcance más rápidamente sus resistencias mecánicas.

Para su estudio distinguiremos entre algunas sustancias como el cloruro cálcico y el carbonato sódico que pueden actuar como aceleradores, pero que producen siempre una mayor retracción, y los gérmenes que aceleran el endurecimiento sin influir sobre la retracción.

4.2.1. El cloruro cálcico.

Es sin lugar a dudas el aditivo que más ha sido utilizado, más estudiado y, precisamente por ello, más debatido.

Las acciones del cloruro cálcico son múltiples, pero quizá las principales son, que además de acelerar el fraguado y endurecimiento del hormigón aumenta las resistencias mecánicas del mismo, si bien es cierto que ejerce (o favorece) una acción de tipo corrosivo sobre las armaduras y hace crecer la retracción.

Otra acción es que, al provocar una rápida hidratación del cemento, el calor de hidratación es en los primeros momentos muy elevado, usándose muchas veces en los productos anti-congelantes.

Centrándonos en los efectos sobre la retracción hay que indicar que dado el carácter de sustancia inactiva desde el punto de vista de

la acción capilar, el cloruro cálcico aumenta la retracción pese a que mejora la trabajabilidad del hormigón aumentando la fluidez, es decir, para una misma fluidez disminuye la relación agua/cemento.

4.2.2. Empleo de gérmenes.

Según Le Chatelier, el fraguado y endurecimiento de los cementos resulta de un proceso basado en la cristalización de los hidratos en una disolución sobresaturada. Esta cristalización se desencadena por la existencia de microcristales, que van apareciendo lentamente. La introducción de uno solo o un pequeño número de microcristales que se multiplican, activa las reacciones.

De aquí surge la idea de tratar de dirigir y controlar el proceso del fraguado y endurecimiento por inoculación de gérmenes escogidos entre los elementos de los cementos del mismo tipo o de tipo similar, e incluso diferente ya fraguados.

Una de las ventajas del empleo de estos gérmenes es el que actúan aumentando la rapidez del fraguado y endurecimiento del hormigón, pero sin afectar a la retracción.

4.3. Plastificantes y fluidificantes.

Aunque ambos producen una acción similar sobre la reología del hormigón (mejorando su trabajabilidad y facilitando la puesta en obra), el modo de actuar es distinto, ya que los plastificantes suelen ser sólidos finalmente divididos, cuya acción es de tipo físico-químico, reteniendo el agua de amasado, mientras que los fluidificantes suelen ser sólidos finamente divididos, disuelven o dispersan en el agua de amasado y reducen la tensión superficial y la tensión interfacial entre el agua y las partículas finas del conglomerante.

Los plastificantes para poder ser útiles han de poseer la propiedad de, pese a su gran finura, no aumentar excesivamente la relación agua/cemento para, de este modo, no actuar desfavorablemente sobre la retracción.

Los fluidificantes, dado su carácter tensoactivo actúan beneficiosamente sobre la retracción.

4.4. Aireantes.

Son aditivos que, añadidos a los hormigones, producen minúsculas burbujas de aire que se reparten uniformemente en todo el material.

Los aireantes son sustancias orgánicas de moléculas como jabones de ácidos resínicos, hidrocarburos sulfónicos, derivados de ácidos hidrocarboxílicos, etc. Estas sustancias tienen un cierto carácter tensoactivo.

Las características que confieren al hormigón son entre otras mejora de la docilidad y reducción de la relación a./c. en el hormigón fresco, mientras que una vez ya endurecido aumentan la impermeabilidad y la resistencia a las heladas, aunque disminuyen la resistencia a compresión.

Dada la diferente estructura del hormigón aireado frente al normal, estas sustancias, pese a su carácter tensoactivo, pueden aumentar la retracción, aumento que se ve contrarrestado e incluso anulado por la reducción del agua de amasado.

4.5. Productos de curado (Curing-Compounds).

Generalmente son emulsiones resinosas que permiten tapar temporalmente los capilares del hormigón amasado y lo protegen así de los peligros derivados de una desecación prematura. Están directísimamente relacionados con la retracción, ya que su misión es evitar que ésta resulte excesiva.

En el caso de hormigones que deben permanecer en climas secos, es muy recomendable su uso.

4.6. Impermeabilizantes.

Son productos que confieren al hormigón una alta estanqueidad. Entre los productos que se usan se encuentran el estearato de butilo, derivados del petróleo, derivados siliconados, algunos jabones como estearatos u oleatos cálcicos o amónicos. Algunos de estos productos actúan como introductores de aire.

Ciertos aditivos ya citados, como los aireantes, plastificantes y fluidificantes, producen una acción de tipo impermeabilizante.

La acción del paso del agua se ve muy incrementada por la aparición de fisuras y micro-

fisuras de diversa índole, lo que nos permite afirmar que en ningún caso podrán estos aditivos aumentar el peligro de retracción excesiva, tendiendo a disminuirla.

4.7. Anticongelantes.

Su misión es proteger al hormigón durante su fraguado de los peligros provenientes de las temperaturas inferiores a 0° C, rebajando el punto de congelación del agua y elevando el calor de hidratación del cemento.

Suelen ser mezclas de acelerantes y aireantes o a veces plastificantes-aireantes, ya que así se combinan los efectos de ambos productos. Como acelerante, muchas veces se usa el cloruro cálcico.

Su comportamiento frente a la retracción está marcado por un lado, por un incremento de retracción debido al cloruro cálcico, y por otro, por la disminución que pueden producir los demás componentes.

5. Influencia de los tratamientos térmicos en la retracción del hormigón.

Si a un hormigón le añadimos calor se producen una serie de efectos más o menos notables en la formación de su estructura.

La hidratación se acelera al igual que la formación de silicatos hidratados, dando lugar a un endurecimiento más rápido, pero junto a estos fenómenos ocurren otros de tipo retractivo que vamos a estudiar.

Los tratamientos térmicos más usuales y que consideramos son:

Tratamiento con agua caliente. — Consiste en mantener al hormigón sumergido en agua caliente durante un cierto tiempo.

Al realizarse el curado en presencia de agua en estado líquido, aparecen unas expansiones e hinchamientos muy grandes.

Tratamiento térmico con vapor libre. — Consiste en una aportación de calor y humedad. Se realiza normalmente a temperaturas inferiores a los 100° C.

No es apto para hormigones con cemento aluminoso ni sobresulfatado.

Debido a que la disminución de la retracción después del tratamiento térmico depende

de las características de éste, y en el caso de realizarse con vapor libre las condiciones no son excesivamente enérgicas, la retracción es del mismo orden que en el caso de un curado normal.

Tratamiento térmico con vapor a presión. — Se realiza con temperaturas de 100-200° C y presiones de 1 a 16 atmósferas por medio del autoclave.

Debido a las altas temperaturas y presiones, la superficie original del cemento disminuye, dando lugar a una mayor cristalización de los productos hidratados. Con consecuencia de esto, se produce entonces una disminución considerable de la retracción.

Algunas veces, en este método, suele añadirse polvo de cuarzo en proporción variable, ya que así se evitan las eflorescencias y/o se elevan las resistencias, o se ahorra cemento para una resistencia dada. En este caso, la retracción aumenta algo, pero manteniéndose inferior a la del curado normal.

6. Hormigones especiales: refractarios y ligeros.

6.1. Hormigones refractarios.

Están formados por cemento aluminoso y áridos refractarios de distinta naturaleza, según las condiciones en que vayan a trabajar. Su misión es poder soportar altas temperaturas sin perder sus propiedades.

En el caso de estar fabricados con ladrillos refractarios bien cocidos, la retracción que experimentan es casi despreciable. Si los ladrillos refractarios usados no están bien cocidos, dan lugar a unas retracciones grandísimas que hacen imposible su utilización.

6.2. Hormigones ligeros.

Son aquellos cuya principal característica es que poseen un peso específico bastante inferior al del hormigón normal.

Su misión no es, generalmente, resistente, aunque pueden contribuir indirectamente a ella, sino que suelen ser utilizados como aislantes.

Según el procedimiento empleado para conseguir la ligereza, podemos distinguir entre: hormigones sin finos, hormigones de áridos ligeros y hormigones celulares.

Hormigones sin finos. — Como su propio nombre indica, son los fabricados con áridos cuyo tamaño está comprendido entre 10 y 20 milímetros.

Desde el punto de vista de la retracción, al carecer de finos (que como ya vimos son causantes de retracción) se comportan muy bien, dando lugar a contracciones algo menores que los hormigones corrientes.

Hormigones de áridos ligeros. — Están formados con áridos de poco peso (porosos).

Debido a su estructura interna suelen tener una retracción bastante elevada. Si el endurecimiento se realiza al aire libre, el proceso retractivo además de intenso es muy prolongado y hace que no puedan emplearse *in situ*.

Se emplean siempre en elementos prefabricados, y para ello es necesario un proceso que, además de proporcionarles un endurecimiento rápido, reduzca la retracción. Generalmente, suele emplearse el curado en autoclave a una presión de 8 a 9 atmósferas durante varias horas.

Hormigones celulares. — Son en realidad morteros a los que se les adicionan productos que al reaccionar dan lugar a burbujas o, a veces, se les añaden burbujas ya formadas por medio de una espuma estable.

Como podemos imaginar, se produce un proceso de tipo expansivo, seguido de otro de tipo retractivo, que hace imposible su utilización *in situ*, por lo que se usan para piezas prefabricadas.

Para que pueda imprimirse un ritmo rápido a la fabricación de piezas en taller, es necesario un endurecimiento rápido, que se suele lograr por medio del autoclave. Otras veces se usa la carbonatación.

El principal uso de estos hormigones es el aislamiento térmico. Algunas Normas los consideran utilizables para temperaturas de hasta 400° C, y es en este campo donde los hormigones celulares tienen un papel importante que desempeñar.

A este respecto es interesante ver algunos resultados del estudio realizado por Djabarov (9) sobre el distinto comportamiento a altas temperaturas de los hormigones celulares tratados en autoclave y los tratados por medio de CO₂.

Los ensayos fueron realizados con probetas de 4 x 4 x 16 cm, sacadas de elementos

corrientes provenientes de una empresa de hormigón celular tratado por CO₂ y de otra de hormigón celular tratado en autoclave.

Las materias empleadas en ambas empresas eran el cemento pórtland y las cenizas volantes. Las probetas tenían una edad aproximada de dos meses.

En primer lugar, fueron secadas hasta peso constante a una temperatura de $80 \pm 5^\circ \text{C}$, después se determinó la densidad de las probetas y la retracción mediante un micrómetro (apreciando 0,01 mm). A continuación se calentaron a 400°C , y fueron mantenidas durante dieciséis horas a $250\text{-}400^\circ \text{C}$.

Los resultados se insertan en la tabla 2. Todas las medidas fueron tomadas a $20 \pm 5^\circ \text{C}$.

De la observación de la tabla podemos deducir que el hormigón celular tratado con CO₂ presenta después del secado una retracción algo mayor (15,8 por 100) que el hormigón tra-

tado en autoclave. Sin embargo, al someterlo a temperaturas mucho mayores, ocurre que la retracción en el hormigón celular tratado con CO₂ es considerablemente menor (71,2 por 100).

Por otro lado, la densidad del hormigón celular tratado con CO₂ no disminuye más que en un 4,7 por 100, mientras que en el tratado en autoclave es un 7,6 por 100 inferior. Además, las probetas de este último presentaban una cierta fisuración.

El diferente comportamiento de estos hormigones se debe a que mediante el tratamiento por carbonatación se forma una estructura que es más estable a las altas temperaturas que en el caso de tratamiento en autoclave.

Como conclusión podemos afirmar que para aislamiento térmico a altas temperaturas ($250\text{-}400^\circ \text{C}$) son mucho mejores los hormigones celulares tratados por CO₂ que los tratados en autoclave.

TABLA 2

Tipo de hormigón	de probeta Número	Densidad, Kg/m ³		Retracción mm/m		
		Después del secado a $80 \pm 5^\circ \text{C}$	Después de calentar a $250\text{-}400^\circ$	Después del secado	Después de calentar	TOTAL
Celular tratado con CO ₂	1	450	430	2,1	5,7	—
	2	448	425	2,2	6,0	—
	3	440	418	2,4	5,8	—
	4	450	429	2,1	6,0	—
	5	438	420	2,2	5,9	—
	6	449	425	2,3	5,9	—
	Media	446	425	2,2	5,9	8,1
Celular tratado en autoclave	1	466	429	2,1	10,2	—
	2	458	420	2,0	10,1	—
	3	465	428	1,8	10,1	—
	4	460	421	1,9	10,0	—
	5	455	428	1,8	10,1	—
	6	452	427	1,8	10,1	—
	Media	460	425	1,9	10,1	12,0

BIBLIOGRAFIA

1. ARREDONDO, F.: "Estudio de materiales de construcción", tomo V. I.E.T.C.C.
2. ARREDONDO, F.: "Hormigones ligeros". Monografía 124 del I.E.T.C.C.
3. CAMPUS, F.: "Rapport d'ensemble relatif aux essais et observations effectués sur des éprouvettes de mortiers et de bétons pendant une durée de trente ans (1934-1964) dont un grand nombre ont été immergées en permanence dans la mer du Nord, à Ostende". Centre d'études, de recherches et d'essais scientifiques du génie civil. Université de Liège. Mémoires C.E.R.E.S. Janvier 1968.
4. CALLEJA, J.: "El cloruro cálcico en la construcción". Normas y manuales del I.E.T.C.C.
5. CALLEJA, J.: "El cloruro cálcico como acelerador en la prefabricación del hormigón". Revista Ciencia Aplicada. Marzo-abril 1958.
6. CALLEJA, J.: "Consideraciones generales sobre los aditivos y su normalización". XVI Jornada Técnica ALEMAS, 1970.
7. CALLEJA, J.: "Estado actual de los estudios sobre aditivos para hormigón en España". Cuadernos Investigación, núm. 15. I.E.T.C.C.
8. CALLEJA, J.: "Tratamientos térmicos del hormigón". Monografía 269 del I.E.T.C.C.
9. DJABAROV, N. E.: "Sur le retrait des bétons cellulaires à température élevée". Revue des Matériaux, número 643.
10. DURIEZ, M.: "Considerations nouvelles sur les adjuvants du béton". Revue des Matériaux, núm. 482-483.
11. ESPARZA, J.: "Empleo de los aditivos en el hormigón utilizado en la construcción de grandes presas". Revista de Obras Públicas, septiembre 1971.
12. FERET, L., et VENUAT, M.: "De l'aditions de quelques cendres volantes au ciment". Revue des Matériaux, núm. 651.
13. FERRERAS, L.: "Empleo de los aditivos en el hormigón en masa". XVI Jornada Técnica ALEMAS. Edi. ALEMAS, 1970.
14. FRANJETIC, F.: "Endurecimiento rápido del hormigón". I.E.T.C.C.
15. HERNANDEZ, J.: "Empleo de los aditivos en el hormigón utilizado en la construcción de grandes presas". Revista de Obras Públicas, julio 1971.
16. HUMMEL: "Prontuario del hormigón". Editores Técnicos Asociados, S. A., 1966.
17. JIMENEZ MONTOYA: "Hormigón armado". Edit. Gustavo Gil, S. A., Barcelona.
18. LAFUMA, H.: "Retrait et fisuration des ciments mortiers et bétons". Annales ITBTP.
19. LAHUERTA VARGAS: "Los aditivos en la edificación". XVI Jornada Técnica ALEMAS.
20. LOPEZ BAILLO, J. F.: "Los hormigones premezclados y los aditivos". Revista de Obras Públicas, 1972.
21. MARTINEZ INZEGA: "Retracción de morteros y hormigones". Monografía núm. 260 del I.E.T.C.C.
22. MATOUCHEK, F.: "Le retrait du ciment portland en fonction de la saturation de la chaux du clinker". Revue des Matériaux, núm. 651.
23. "Mesures du premier retrait des bétons hydrauliques". Bulletin de Liaison des Laboratoires Ron-tiers, mayo 1968.
24. M. O. P.: "Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado".
25. DE LA PEÑA QUEVEDO: "Empleo de los aditivos en hormigones armados y pretensados". XVI Jornada Técnica ALEMAS.
26. VENUAT, M.: "Los aditivos en Francia". XVI Jornada Técnica ALEMAS.
27. VENUAT, M., et ALEXANDRE, J.: "De la carbonatation du béton". Revue des Matériaux, núm. 638-639, noviembre-diciembre 1968.