

Precauciones a tener en cuenta en la ejecución de los arcos de hormigón

No basta, al ejecutar una obra cualquiera de hormigón armado o sin armar, dosificar esmeradamente los áridos que constituyen la masa, ni mezclar debidamente el conjunto de éstos, el cemento y el agua, para llegar así a obtener la garantía de que el material citado, al estar ya en obra, reúne, en todas y en cada una de las porciones que de él se elijan, las condiciones de resistencia que se ha supuesto al proyectar y calcular los elementos constructivos en que se aplica.

Desde la ejecución de un hormigón hasta su vertido en los moldes y conseguirse el fraguado correspondiente, intervienen, además de los citados, una serie de factores que, si bien no actúan, por así decir, de una manera directa y preponderante en la resistencia intrínseca del material *hormigón*, contribuyen a modificar la manera como se comporta éste en la obra y, por tanto, intervienen eficazmente en el resultado obtenido, dando lugar, en ocasiones, a aparentes faltas de resistencia, que se achacan a descuidos en la elaboración de los hormigones, a viciosas disposiciones constructivas o a defectos de cálculo que no existen.

Al hacer mención de dichos factores, nos referimos: primero, a la influencia de la temperatura ambiente, y segundo, a las soluciones de continuidad que forzosamente se han de producir al hacerse el hormigonado, y que, aparte otras diversas causas, son motivadas por la propia jornada de trabajo, que impide hacer la obra de seguido, desde su comienzo a su final.

No hacemos mención de la retracción de fraguado porque es factor éste que si bien se comporta en las obras con los mismos efectos que un descenso de temperatura, su estudio está más ligado al de los hormigones en sí mismos que al de las otras causas externas que detallábamos antes.

El proyectista, al estudiar una obra de hormigón, analiza los posibles efectos de una variación de temperatura entre ciertos límites y obtiene unos esfuerzos por este concepto cuya importancia, como ya conocen cuantos han hecho cálculos de esta índole, es indiscutiblemente superior en muchos casos al de las máximas sobrecargas que se tienen en cuenta para el cálculo; el constructor, si no es cuidadoso o es profano en estos asuntos, ejecuta la obra sin preocuparse mucho de seguir al proyectista en sus supuestos, y, *si acaso*, admite que la no coincidencia en un mismo instante de todas las diversas cargas del cálculo garantiza a la construcción un coeficiente de seguridad amplio y de sobra tranquilizador.

Resultados poco satisfactorios que se han obtenido con este método de proceder en varias construcciones, y la observación diaria de obras realizadas, evidencian que el factor temperatura ambiente debe tenerse muy en cuenta, sobre todo en nuestros climas, en los que se agudiza, por así decir, el fenómeno apuntado, pues ya es sabido que la época más utilizada para construir es corrientemente el verano, que, por tener sus días largos, sin entorpecimientos de

lluvias ni peligros de avenidas, permite una gran continuidad del trabajo y garantiza un máximo aprovechamiento de la jornada, que puede además *alargarse* fácilmente utilizando *horas extraordinarias*; pero dándose lugar con todo esto a trabajar en la época de máxima elongación de la temperatura anual, y falseándose así, de no tomarse las posibles precauciones, las hipótesis de cálculo de la obra, en lo concerniente a oscilación de temperatura. Un ejemplo: en nuestras provincias de Extremadura es corriente observar, a pleno día y al sol en verano, temperaturas de 48 y 50 grados; en ese mismo punto, en un invierno medianamente frío, se alcanzan temperaturas de cuatro y cinco grados bajo cero, y aun más bajas; si el hormigonado de una obra se lleva a cabo en la época de más calor, la elongación total de temperatura es entonces de 55 o 60 grados, y ya se puede suponer que durante los meses fríos el régimen elástico del hormigón llegará a ser comprometido, no solamente por los posibles esfuerzos que puede determinar la variación absoluta de temperatura, sino porque la contracción inmediata que ello produce puede sumarse a otras tensiones que hayan causado la retracción de fraguado, el asiento de moldes y cimbras o algún otro descuido, sin contar además con que dichas tensiones pueden poner en evidencia al producirse algún defecto de la buena continuidad del hormigonado, de la que nos ocuparemos en un próximo artículo, produciéndose también por esta causa esos *pelos y grietas* que se acusarán en las zonas en que el enlace de dos hormigones de edades diferentes no ha sido todo lo íntimo que reclama el necesario monolitismo de la obra.

Claro es que todos estos fenómenos serán más importantes en el hormigón en masa que en el hormigón armado, puesto que la armadura tiene un papel activo para evitarlos o atenuarlos; no así el hormigón solo, al que se procurará entonces defender con precauciones adecuadas, armándolo parcialmente en las zonas de posibles tensiones, practicando ambas cosas a la vez, o empleando disposiciones especiales, que vamos a detallar después.

En todo cuanto llevamos dicho y digamos más adelante nos referimos más especialmente a las bóvedas, que es el elemento constructivo en que se aplica el hormigón en masa en condiciones que tengan influencia decisiva los efectos apuntados.

Estos efectos tienen también cierta importancia en los grandes muros, que se va generalizando, cada día más, construir de hormigón, y que si bien en muchos casos se paramentan con ladrillo, convendrá siempre proveerlos de juntas de dilatación convenientemente distribuidas, que eviten las fisuras que suelen producirse y que, a más de dar un aspecto poco agradable, pueden ser peligrosas en aquellos muros que por cualquier motivo estén sometidos a cargas vibratorias.

En las bóvedas de hormigón en masa, como ya decíamos, sobre todo cuando se trata de salvar luces de alguna importancia, debe siempre atenderse con

preferencia a los esfuerzos combinados de variación de temperatura y retracción de fraguado, a más de los derivados de la acción del peso propio y sobrecargas, pues de no preverse alguno de los primeros, o no tomarse precauciones conducentes a atenuarlos en la construcción de las obras, pueden derivarse perjuicios de importancia para las mismas y que han motivado en ocasiones que muchos proyectistas, al tomarlos en cuenta, desistan, para las bóvedas, de la solución de hormigón en masa, que, sin embargo, creemos siempre factible estudiando detenidamente todos los aspectos del problema, empezando por el que consideramos también fundamental, cual es el de la elección de la forma de la fibra media del arco que se proyecte.

En Alemania, donde el desarrollo de las construcciones de hormigón es tan considerable, no se han decidido los ingenieros por el arco empotrado de hormigón en masa de una manera absoluta, sino que, a la vista de sus dificultades prácticas, han ido a la solución de bóvedas de hormigón en masa, pero triarticuladas ¹ con rótulas de acero o piedra, a pesar de todos los inconvenientes que pueden imputarse a este tipo de bóveda mixta.

Los procedimientos constructivos de los ingenieros Sejourné y Freyssinet, principalmente de este último, cuya bóveda del puente de Villeneuve, de hormigón en masa, es un modelo de concepción y ejecución, han demostrado la posibilidad de construir bóvedas de gran luz con hormigón desprovisto de armaduras.

El procedimiento de Freyssinet consiste principalmente en producir en el arco construido un estado elástico previamente elegido, modificando la longitud de la fibra media del mismo en la forma conveniente para, con la referida modificación, adaptarlo mejor a su definitiva forma de trabajo, tomándose como base para ello el acortamiento que determina en la directriz del arco no solamente la variación de temperatura y retracción del fraguado, sino también el que produce el peso propio cuando se verifica el descimbramiento.

Sejourné, en los arcos de fábrica que ha construido, procede de modo diferente.

Construye la bóveda por anillos, y al formarlos deja un número determinado de *juntas secas* que no son consolidadas hasta el final, utilizándose para ello una *lengüeta* de acero, que a golpes de maza introduce y apisona el mortero que se precisa y creándose por esa operación un estado de compresión inicial en el arco que contrarresta las posibles tensiones ulteriores al descimbramiento.

* * *

Este procedimiento de Sejourné, que, como decimos, sólo se ha aplicado a los arcos de sillería o sillarejo, lo hemos utilizado nosotros en las bóvedas de hormigón en masa que tenemos construidas, y desde luego con excelente resultado, por lo que creemos que debe generalizarse, ya que el procedimiento Freyssinet, aunque de más eficacia, es de difícil aplicación, de más elevado costo y encierra peligro evidente de no efectuarse las operaciones debidamente,

si bien estará justificado su empleo siempre que las luces de los arcos a construir sean considerables.

La manera como procedemos en nuestras bóvedas es la siguiente:

Las construimos por anillos independientes ¹ y en cada anillo dejamos el número de juntas secas que se estima preciso, teniendo en cuenta la luz del arco, con el objeto de conseguir:

1.º Consolidar dichas juntas a la temperatura del día más próxima a la media anual, por lo que dicha consolidación se hace previa observación termométrica, y si es preciso *fuera de las horas de jornada ordinaria*; es decir, que si tenemos en el anillo de una bóveda una junta seca tal como *AB* (fig. 1.^a), antes de consolidar dicha junta las dos zonas de hormigón *I* y *II* se dilatan y contraen libremente; al consolidar la junta se establece la continuidad correspondiente a la bóveda y entonces las porciones

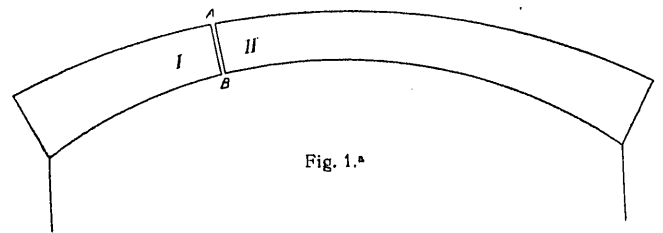


Fig. 1.^a

I y *II* tienen que seguir solidariamente las variaciones de temperatura; de ahí el interés y necesidad que hay en buscar, para la consolidación, aquella temperatura más adecuada, que será desde luego la media anual, con lo cual es indudable que nos aproximamos lo más posible a las circunstancias de cálculo por este concepto.

2.º Apisonar el mortero que cierra dichas juntas utilizando una lengüeta de acero provista de unas asas, para sujetarla, según detalla la figura 2.^a.



Fig. 2.^a . Lengüeta.

La lengüeta se golpea energicamente por su parte superior, para comprimir dicho mortero, transmitiéndose así esta presión a la junta cerrada, con lo que conseguimos, al crear una compresión inicial en el arco, anular prácticamente el descenso del mismo; al verificarse el descimbramiento, facilitamos esta operación, y al sufrir menor deformación la fibra media, mejoramos sus condiciones elásticas.

En la figura 3.^a aparece la forma como efectuamos la repetida consolidación.

Para conocer la temperatura media del lugar de la obra instalamos un termómetro de máxima y mínima y con las observaciones diarias se dibuja un gráfico como el adjunto, en el que se figuran también las temperaturas de cierre de los anillos que integran el perfil de bóveda.

¹ Puentes de Munderkingen, Kempten, Grasdorf, Wallstrasse, Illerbeuren, Inzigkofen, Neckarhausen, etc.

¹ Véase la REVISTA de 1.º de febrero de 1927. pág. 47



Fig. 3.ª Consolidación de una junta en la bóveda.

Si, como desde luego ocurre, cada bóveda se compone de más de un anillo, convendrá cerrar todos ellos a la misma temperatura, para evitar esfuerzos longitudinales entre los mismos.

anillo es, por ejemplo, de 0,50 metros, convendrá establecer una junta de 0,30 metros y otra contigua de 0,20 metros.

La consolidación con la lengüeta debe hacerse por capas de 0,08 a 0,10 metros, siguiendo en la misma forma hasta completar el espesor total a cerrar en la junta marcada.

El cálculo de los arcos lo hacemos prescindiendo absolutamente de armaduras; pero al deducir los esfuerzos totales, y a la vista sobre todo de la influencia de la temperatura, colocamos, si se precisan, algunas armaduras localizadas en clave y arranques (principalmente en los arcos bastante rebajados), que desde luego no tienen un papel activo, puesto que no aparecen tensiones suficientes a justificarlas, sino que casi únicamente intervienen mejorando la posición de la fibra neutra para que en la deformación de la sección que se estudia, bajo la acción de los máximos esfuerzos totales, las cargas de trabajo del hormigón no pasen de las corrientemente admitidas para la dosificación con 300 kg de cemento, ya que

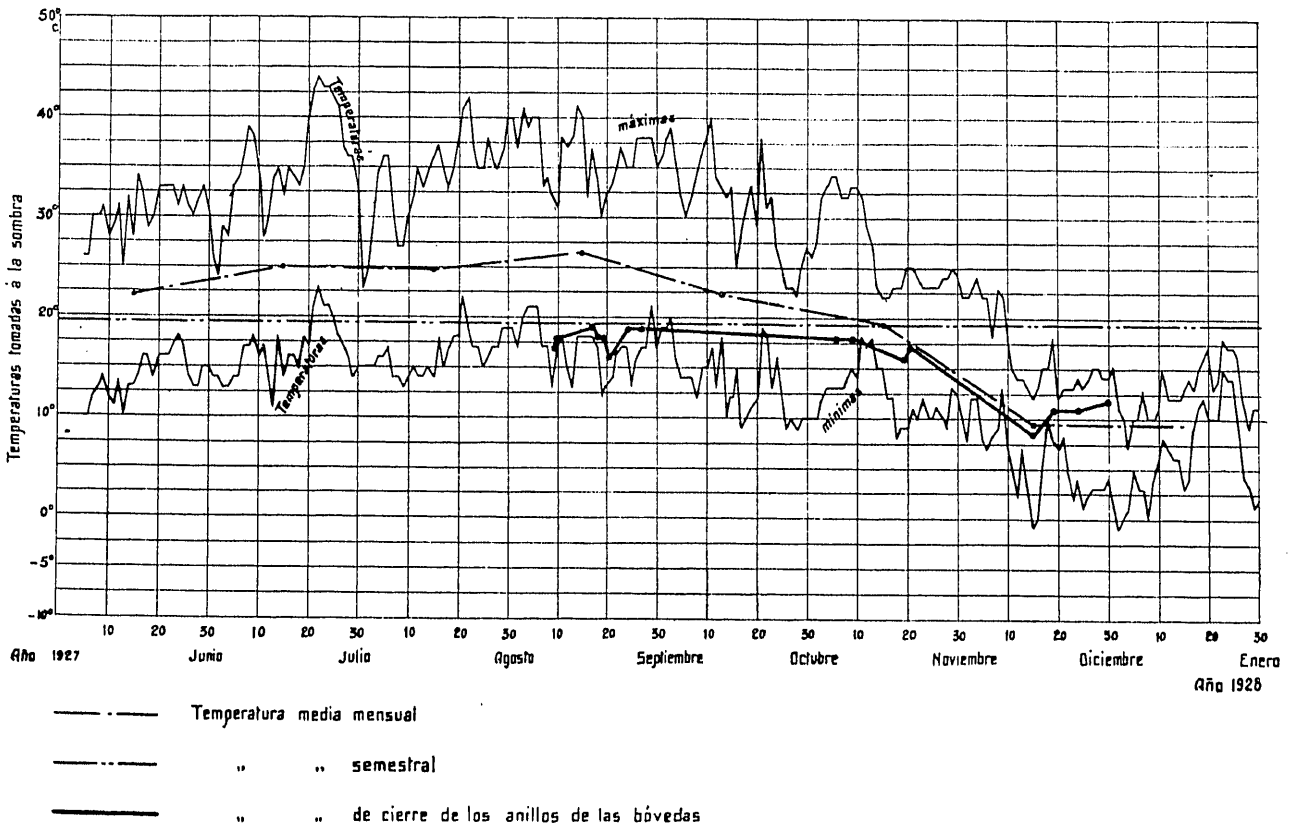


Fig. 4.ª Gráfico de temperaturas

La práctica nos ha demostrado la conveniencia de no consolidar juntas cuyo espesor pase de 0,30 metros, de modo que si el espesor mínimo de cada

el aumentar la proporción de aglomerante favorece la retracción de fraguado.

Rafael CEBALLOS PABÓN
Ingeniero de Caminos