

MEMBRANAS

POR FRANCISCO DURÁN WALKINSHAW, INGENIERO DE CAMINOS

El autor llama la atención en este breve artículo sobre el abarquillamiento o aplanamiento que por diferencias de temperatura entre las dos caras puede producirse en las membranas de hormigón armado, y recomienda la conveniencia de hacer concienzudos ensayos del fenómeno para prevenir sus consecuencias.

Sea una membrana cilíndrica de radio exterior R , espesor e y ángulo en el centro ϕ y terminada por los radios extremos. La diferencia de desarrollo de los arcos de extradós e intradós es ϕe para una temperatura constante. Pero supongamos que la temperatura varía, viniendo, por ejemplo, del exterior, y que el cuerpo que forma la membrana es de fácil dilatación, pero de pésima propagación o conductibilidad del calor, como sucede al hormigón.

Para un aumento de temperatura t , el arco exterior s habrá tomado, si se trata de hormigón, un aumento de longitud $ds = 0,00001 s t$.

Pero, por su poca conductibilidad, el arco de intradós permanecerá casi igual de longitud. Para que no haya desgarramiento será preciso, geométricamente, que la membrana se abarquille de tal modo que, conservando la forma circular, el ángulo en el centro se convierta en ϕ' , o sea un ángulo tal que $\phi' e = \phi e + ds$, puesto que la diferencia entre los arcos de trasdós e intradós ha variado en $d s$.

De aquí se deduce

$$\phi' - \phi = \frac{ds}{e} = \frac{0,00001 \cdot R \phi t}{e}$$

$$y \quad \frac{\phi'}{\phi} = 1 + \frac{0,00001 s t}{e}$$

Es decir, que la relación del abarquillamiento aumenta con la longitud del arco y cuando el espesor disminuye. Para una membrana de 0,05 de espesor y 60 m. de arco, por ejemplo, un aumento de temperatura de 30 grados, rápido en el exterior, dará un

$$\text{abarquillamiento } \frac{\phi'}{\phi} = 1,36, \text{ y tendremos } \frac{R}{R'} = 1,36.$$

Es decir, que el radio y la luz habrían disminuído, produciendo una tracción sobre los puntos de apoyo, que si fueran membranas o bóvedas delgadas suce-

sivas sobre pilares produciría la ruina por inclinación de éstas hacia el centro, como pasó en el tercer depósito de Madrid, a pesar de ser el espesor superior al de las llamadas membranas.

La dilatación simple sin abarquillamiento habría referido a los muros de cierre los empujes y no hubiera habido ruina.

Por el contrario, un enfriamiento rápido, como por ejemplo, una fuerte granizada que coloca el trasdós a la temperatura de hielo fundente, después de un día de agosto en que ya estuviera el intradós a 40°, producirá un rápido aplastamiento y quizá también la ruina de una cubierta membranosa.

Aunque no se llegue a la ruina, este juego de contracciones y dilataciones, que hace trabajar las superficies de trasdós e intradós tan pronto a tracción como a compresión, produce una separación casi completa del hormigón con respecto a las armaduras; así se ha visto en ruinas de esta clase que los hierros aparecían completamente limpios y el hormigón desmenuzado, sin que esto pueda achacarse por completo a la altura de caída.

Las tracciones en la arista de gaviota se han hecho patentes en algunas obras en que se vió abrirse el muro de cierre y apoyo con una grieta bien pronunciada, justamente bajo dicha arista.

Si las membranas están colocadas en serie, sin ninguna junta o apoyo intermedio, de fuerza suficiente, que corte o limite los efectos del abarquillamiento, el peligro de ruina, o al menos de deformación acentuada, se hace mucho mayor.

Claro que la temperatura, según los materiales, se propaga más o menos rápidamente (en el hormigón, según los datos deducidos por Gut y Woolson), pero siempre habrá casos que sea conveniente estudiar, por si la diferencia de temperatura entre las superficies interior y exterior pudiera resultar de importancia y sería fácil deducir experimentalmente en el Laboratorio los efectos mecánicos de estas diferencias para diversas membranas.

Desde luego es conocido el abarquillamiento de una tira de celuloide al apoyarse sobre la palma de

la mano, más o menos, según el calor de ésta. Este abarquillamiento decíase que *indicaba el temperamento* en unas sardinas de tal material, que repartía como anuncio la casa "Toujours a mieux", creo que de Marsella.

En realidad, si no el *temperamento*, hay que confesar que medía la *temperatura* de la persona. En un papel conductor como el de estaño, llamado de plata, no hay abarquillamiento.

En el hormigón, el coeficiente de conductibilidad guarda con los de otros materiales las proporciones siguientes:

Hierro	40 á 50
Hormigón en masa ...	1 á 2
Hormigón de escorias.	0,3
Ladrillo	0,7
Agua	0,5
Madera.....	0,03 en el sentido normal a las fibras.

Según los experimentos antes citados, de Woolson, una temperatura de 800° centígrados en la superficie no ha penetrado a los veinte minutos y a los 2,5 centímetros de ella, más que 21° centígrados, y a la hora sólo ha llegado a los 254°.

Según Gut, en este último caso pasó de los 1.000° solamente a los 200° a igual profundidad.

Todo ello demuestra la conveniencia de que se hagan concienzudos ensayos para las membranas de hormigón armado de espesores tan pequeños que ofrecen una gran influencia en el abarquillamiento o aplanamiento por las diferencias de temperatura de ambas superficies. Claro que igual sucede si las superficies son planas, pero el fundamento de las membranas es justamente la resistencia contra las fuerzas normales a una sección transversal convenientemente curvada. En una membrana apoyada en sus generatrices laterales y en sus directrices extremas habrá que tener en cuenta los efectos de abarquillamiento, igual

en el sentido de las generatrices que de las directrices, pues el calentamiento tenderá al abarquillamiento en ambos sentidos, como sucede en una hoja de papel que se calienta por una de sus caras.

En las presas, el cálculo por el procedimiento del *trial load* se basa en que las deformaciones de arco y ménsula sean iguales. Parece que en este caso de las membranas o de cualquier bóveda en cañón apoyada en todo el marco se siguiera igual procedimiento, llegándose en lo que parece aquí absurdo de que habrían de ser iguales las deformaciones en cada punto como perteneciendo al arco y al de una viga de gran longitud y escaso espesor apoyada en sus extremos. Si aquí parece absurdo, igualmente lo parece, por lo menos a mí (y creo que en esto voy en buena compañía), aplicado a las presas, y perdónese me esta herejía científica; yo siempre pensé, lo que puede expresarse con una metáfora vulgar y grosera: si un atleta y un niño se ven obligados juntamente a transportar o sustentar un peso, el atleta saldrá perdiendo si por una idea de justicia o equidad científica quisiera obligársele a que sufra igual cansancio (deformación) que el niño. O el atleta perderá facultades o el niño se aplastará.

Siempre he pensado, como una persona de gran experiencia constructiva y de clarísimo talento, a la que no me atrevo a nombrar (pues no sé si con ello pudiera incurrir en indiscreción), que cuando el cálculo de una estructura exige muchas integrales, ecuaciones diferenciales, invariantes, covariantes y cuaterniones, aunque guarde modestamente las formas (más o menos Hesiana y Jacobiana), podrá quedar uno muy convencido y satisfecho de que los materiales deben obedecer a aquellas leyes que les dicta, pero puede sucederle lo que al baturro del cuento, al que le decía un compañero: No huyas de ese perro, porque *ladra* mucho, y ya sabes "que perro ladrador nunca fué mordedor", y el baturro contestó: Yo si lo sé..., pero, ¿y si no lo sabe él?

...¿Y si luego no saben los materiales cuaterniones?