

-- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento --

684-32 HORMIGONES DE MAYOR RESISTENCIA POR APLICACION DE LA ELECTRO-OSMOSIS

(The Improvement of Concrete Strength by Electro-Osmosis)

A. Pogany

De: "CIVIL ENGINEERING AND PUBLIC WORKS REVIEW", vol. 48, nº 568,
octubre 1953, pág. 931

-- --

Conocida es la notable diferencia que se observa entre la resistencia de un material, establecida por ensayos de laboratorio, y la que presenta en determinadas circunstancias. Si se calcula la resistencia teórica del hormigón, hierro, vidrio, etc., de acuerdo con las ideas de Born y Polanyi, resultan valores de 500 a 1000 veces mayores que los obtenidos en el laboratorio.

Este problema ha sido estudiado a fondo por Griffith, quien explica la gran diferencia entre la resistencia teórica y la real por los huecos y grietas presentes en la estructura del material. Este autor sugiere que, si se pudieran eliminar los macro y microporos, la resistencia sería muy próxima a la calculada a base de la teoría atómica de Born. Los experimentos que ha realizado con vidrio y con cristal de roca confirman sus ideas. En estos materiales ha encontrado una resistencia a tracción de 100 a 200 Kg/cm², para una sección normal. Estirando estos mismos materiales hasta un diámetro de 1 mm, presentaron, a 1.500°C, una resistencia a tracción de 750 Kg/cm², y para un diá

metro de 0,0033 mm, la resistencia a tracción fué de 34.000 Kg/cm². Este es un valor que está ya mucho más cerca del calculado teóricamente, que es alrededor de 70.000 Kg/cm².

Los resultados de Griffith se basan en los trabajos matemáticos de Inglis. De acuerdo con éstos, en los materiales que contienen huecos, los esfuerzos aumentan considerablemente en la proximidad de los mismos.

La cuestión de los micro- y macroporos es aplicable también al hormigón; la resistencia de éste viene disminuida por la presencia de huecos. Si el volumen de éstos puede reducirse mucho, se obtendrá un hormigón de resistencia superior, de acuerdo con la teoría de Griffith.

En los hormigones corrientes, los huecos están rellenos de aire. El volumen total de huecos es pequeño en comparación con el volumen del hormigón. Los huecos son originados por la intensa agitación que supone el amasado, sobre todo, cuando existe presente un exceso de agua. En principio, al fabricar hormigón, sólo de biera emplearse la cantidad de agua precisa para el proceso químico de hidratación. El agua en exceso sólo da lugar a la aparición de macro- y microporos.

Es un hecho bien establecido que la resistencia del hormigón depende de la relación agua/cemento. Muchos autores son de la opinión que esta relación determina el 80% de la resistencia, y el 20% restante puede atribuirse a la inexactitud de los métodos de laboratorio. Según Probst y Hummel, el valor óptimo para la relación agua/cemento en un mortero de cemento 1:3 es 0,2. En la práctica, esta relación viene determinada por las propiedades del cemento y las propiedades mineralógicas de los áridos.

Si se desea obtener un hormigón de elevada resistencia, debe compactarse perfectamente y el volumen de huecos debe ser - lo menor posible, esto es, el hormigón debe presentar una gran - densidad.

Suponiendo que el hormigón estuviese totalmente compactado, lo cual no puede conseguirse en la práctica, su volumen sería igual a la suma de los volúmenes de sus componentes. Sin embargo, hasta en los hormigones muy densos, perfectamente hidratados, se presentarán huecos y burbujas de aire, que no pueden eliminarse del todo. Para que el hormigón resulte más resistente, es preciso reducir el contenido de huecos. Para este fin, se han aplicado los siguientes procedimientos, bien conocidos todos, a excepción del último:

(1) Apisonado (mecánico o a mano); (2) aplicación con cañón lanza-cemento; (3) prensado; (4) por golpes; (5) vibración; (6) centrifugación; (7) desaireación; (8) calentamiento con vapor; (9) calefacción eléctrica; (10) electro-ósmosis.

Los métodos (3), (4) y (6) quedan restringidos a la prefabricación. Todos los restantes, a excepción del (10), que es invención del autor y fué patentado en 1952, pueden aplicarse únicamente a mezclas con un contenido de agua relativamente bajo. La aplicación en obra de los métodos (7), (8) y (9) precisa material caro, y las mezclas con un contenido elevado de agua sólo pueden compactarse por el método electro-osmótico. En muros delgados, silos, depósitos, estructuras estáticamente indeterminadas, etc., donde las armaduras se encuentran muy próximas entre sí, es muy difícil emplear mezclas secas. Y si se utilizan éstas, resulta un elevado número de macro-poros. Quedan dos alternativas: o el contenido de agua ha de ser bajo, o hay que aumentar la cantidad de cemento, si se ha especificado una determinada resistencia.

Sobre la base de numerosos ensayos de laboratorio, podemos afirmar que es posible eliminar el exceso de agua del hormigón, antes de su fraguado, por medio de una corriente continua y obtener la relación agua/cemento óptima de 0,2 a 0,3. Cuando se aplica la electro-ósmosis, es preciso compactar el hormigón por vibración o apisonado, a fin de cerrar los huecos producidos por la deshidratación electro-ósmótica. Este método exige una vigilancia continua y se debe cuidar de que la temperatura del hormigón no pase de los 50°C en las proximidades de los electrodos.

En comparación con los métodos (1) a (9), el método (10) presenta claramente las siguientes ventajas:

1. Los aparatos electro-mecánicos requeridos (un motor y una dinamo) son sencillos y baratos.

2. Las manipulaciones necesarias son sencillas y fáciles de ejecutar.

3. El coste de producción queda reducido por la deshidratación.

4. Puede aplicarse en cualquier punto del edificio.

5. Es el único método aplicable cuando las armaduras se encuentran muy próximas entre sí.

6. Para la fabricación de hormigón en tiempo de invierno cualquier otro método tiene que servirse de la calefacción. El calentamiento eléctrico (método de Rethi) introduce necesariamente calor en el proceso de fraguado, pero no consigue el alto grado de compactación que se puede obtener por electro-ósmosis.

Los principios de la electro-ósmosis son bien conocidos y el autor prescinde de su descripción.

Si se hace pasar una corriente continua a través de una sustancia húmeda o saturada de agua, ésta fluye hacia el cátodo y la sustancia se seca. Además, si se toman las precauciones necesarias, no tiene lugar en ésta cambio estructural alguno. En la bibliografía se encuentran muchas observaciones de valor sobre la relación matemática entre la intensidad de corriente, el voltaje y la velocidad de deshidratación. Si se utiliza como cátodo una tubería perforada o un tubo colector, el agua puede eliminarse por gravedad o por bombeo.

A base de numerosos ensayos de laboratorio, se han podido comprobar los valores óptimos para el voltaje, intensidad de corriente, distancia entre los electrodos y diámetro de éstos.

Las condiciones óptimas encontradas son:

Voltaje: de 60 a 70 voltios.

Intensidad: de 2 a 3 amperios (cuando se trata de un bloque de hormigón de 20 x 20 x 60 cm).

Distancia entre los electrodos: 40 cm.

Anodo: redondo de acero de 16 mm de diámetro.

Cátodo: tubo perforado de 2,54 cm de diámetro.

Temperatura máxima: no superior a 50-60°C.

De los numerosos ensayos de laboratorio realizados, se desprende que la resistencia del hormigón aumenta del 35 al 40% cuando se aplica la electro-ósmosis en las condiciones más desfavorables.

Naturalmente, debe procederse con precaución al pasar de los ensayos de laboratorio a la práctica.

El voltaje y la intensidad de la corriente, y la distancia entre los electrodos, dependenden de las dimensiones de la estructura. El voltaje deberá estar comprendido entre 60 y 70 voltios, y la distancia entre electrodos no deberá exceder de 1,5 m. La temperatura no será superior a 50°C, llegando en casos excepcionales a 60°C. Como se ha mencionado, el agua se elimina del cático a través de agujeros practicados en el mismo o por bombeo. Los cátodos deberán dejarse en su sitio, pues el quitarlos podría dañar el hormigón. Los ánodos pueden dejarse también, pero, si se desea, pueden separarse y rellenar cuidadosamente el hueco que queda con hormigón. Si se están hormigonando simultáneamente varios elementos estructurales, se pueden montar tantos electrodos como sea necesario. En las figuras 7 y 8 pueden verse diversas formas de disposición de los electrodos.

En todos los casos, se debe comprobar el comienzo y el fin del fraguado, por ejemplo, con ayuda de la aguja de Vicat. El proceso electro-osmótico puede comenzar una vez terminada la colocación del hormigón y debe terminar antes de que el fraguado sea completo. Durante el transcurso de la operación de electro-ósmosis, se debe compactar constantemente el hormigón por vibración, con el fin de cerrar los huecos que se van produciendo por eliminación de agua.

Si se dispone de corriente continua, no es preciso hacer otra cosa que fijar los electrodos y cerrar el circuito, observando las instrucciones generales. Si se trata de corriente alterna, hay que recurrir al empleo de un transformador que, de preferencia, habrá de ser suficientemente resistente a impulsos externos y adecuado a las condiciones particulares de cada caso. El autor ha encontrado que lo más adecuado es un generador de 4 a 5 Kw.

En el caso de estructuras de grandes dimensiones, con viene determinar por medio de ensayos las posiciones más adecua das para los electrodos y la intensidad de corriente más favora ble. Si se ha especificado para el hormigón una determinada re- sistencia, la deshidratación electro-osmótica no debe tender a aumentar dicha resistencia, sino a disminuir la cantidad de ce- mento empleada. No obstante, la cantidad de cemento no debe re- ducirse por debajo de la mínima precisa para conseguir una bue- na adherencia con la armadura, o sea, unos 260 a 270 Kg/m³ de - hormigón. En ningún caso se necesitan de 350 a 400 Kg/m³, si se aplica la electro-ósmosis. La cantidad de cemento economizada - viene a ser de 90 a 130 Kg/m³ de hormigón. Si no se especifica la resistencia del hormigón no debe tenderse a ahorrar cemento, sino a aumentar la resistencia.

L.S.C.

- - -

HORNOS VERTICALES S.- TIEMPO DE PASO EN LA PRAC-
TICA (PRECALENTAMIENTO A ENFRIAMIENTO) (min.), VELOCIDAD DE LOS
GASES V_0 (m/seg.) Y TAMAÑO DE GRANO (mm. máx.), PARA $S = 2,5:1$

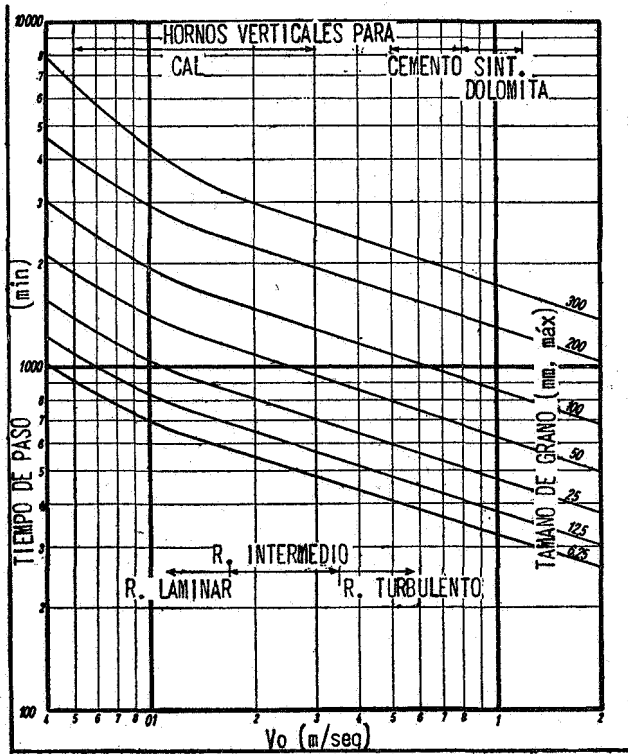


Fig. 6,

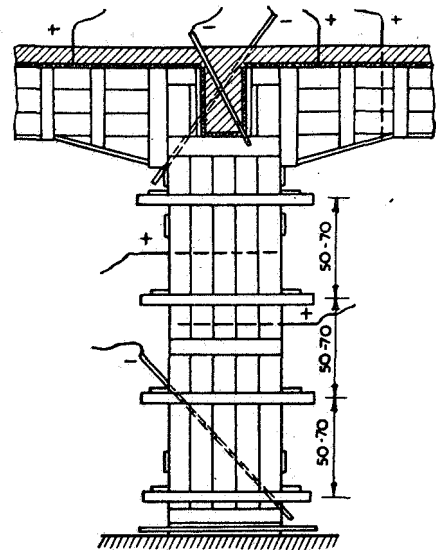


Fig. 8.—Disposición de los electrodos para el tratamiento de una columna.

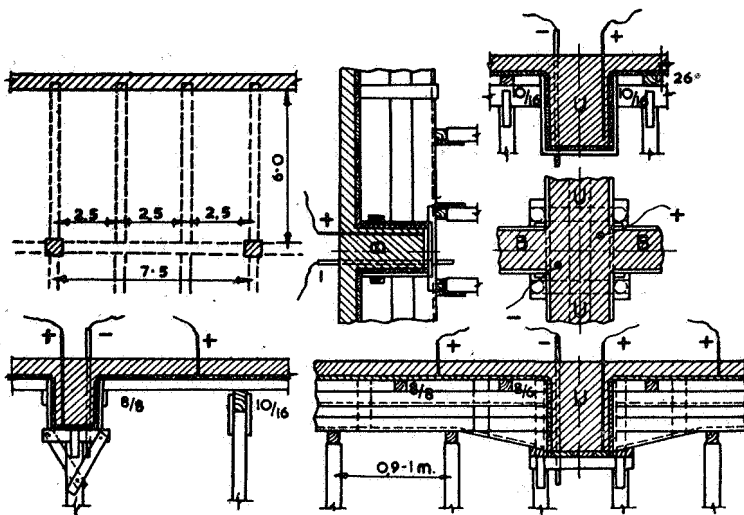


Fig. 7.—Posible disposición de los electrodos para el tratamiento de vigas.



Fig. 9.