

- Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento -

688-11 CURADO ELÉCTRICO DEL HORMIGÓN

(Electrical Curing of Concrete)

Editorial

De: "CONCRETE AND CONSTRUCTIONAL ENGINEERING", vol. L, nº 5, mayo 1955, pág. 211

- S i n o p s i s -

Se indican las normas prácticas que se han de seguir al llevar a cabo el curado eléctrico del hormigón.

Se ha comprobado, experimentalmente, que el módulo de ruptura y la resistencia a la compresión del hormigón curado eléctricamente son superiores, en las primeras edades, a los del hormigón curado de forma corriente; pero en el hormigón viejo son prácticamente los mismos.

Los ensayos realizados han demostrado que, en el caso de introducir una barra en el hormigón, cuando la diferencia de temperatura entre la barra y el hormigón es inferior a 50°F (10°C), la resistencia a la flexión es superior en el hormigón curado eléctricamente que en el hormigón curado al aire. Cuando la diferencia de temperatura era de $77-79^{\circ}\text{F}$ ($25-26,11^{\circ}\text{C}$), siendo la temperatura de la armadura de $176-194^{\circ}\text{F}$ ($79,92-89,91^{\circ}\text{C}$), la resistencia a la flexión que daba reducida considerablemente.

Se ha de tener cuidado en el caso de curado eléctrico de hormigón armado; es peligroso calentar las barras del refuerzo duran

te un largo intervalo de tiempo.

La temperatura del hormigón durante el curado eléctrico debe mantenerse por debajo de 104°F (40°C), y, corrientemente, por debajo de 86°F (30°C).

El consumo de electricidad es de unos 23-30 kwh por yarda cúbica ($30-39 \text{ kwh/m}^3$) de hormigón, en el caso de que se caliente la totalidad del hormigón; y de 0,65-0,90 kwh por pie cuadrado ($7-97 \text{ kwh/m}^2$) de superficie de encofrado, en el caso de calentamiento parcial.

En general, el coste del proceso queda determinado por el tamaño y forma de las estructuras y por las condiciones climáticas, estimándose en un 30-40% del coste del curado con vapor (incluyendo el coste de construcción de cualquier encofrado temporal que se pueda necesitar).

El efecto óptimo, con el mínimo consumo de potencia, se consigue utilizando la mínima cantidad posible de agua de amasado, buena graduación de finos y las mínimas cantidades de adiciones, y elevando la temperatura del hormigón en tiempo frío.

Entre el material de que se ha de disponer hay que citar un transformador mono- o trifásico, voltímetro, amperímetro, vatímetro de tipo acumulativo, conmutadores, etc. Para medir las temperaturas se puede utilizar un termómetro especial de resistencias, pero generalmente se emplean termómetros corrientes de mercurio o de alcohol.

Si se utilizan electrodos de cobre, aumenta la resistencia entre los electrodos y el hormigón, y puede establecerse una pequeña corriente directa entre el cobre y el hierro presente en el -

hormigón. Por esta razón, se emplean láminas, tiras, barras y alambres de hierro. Para unir los electrodos a las líneas se han de emplear alambres galvanizados, especialmente cuando los electrodos se encuentran introducidos en el hormigón. Si los alambres se encuentran oxidados, se ha de eliminar la capa de óxido antes de su empleo. Para la línea principal y para las conexiones entre el transformador y los electrodos, puede utilizarse alambre de cobre, perfectamente aislado; los ramales que unen la línea principal y los electrodos no han de estar forzosamente aislados, aunque es preferible. Es mejor emplear muchos alambres finos en lugar de uno grueso, pues facilitan la unión con los electrodos, pero hay que asegurarse de que puedan conducir la corriente deseada.

Los electrodos pueden colocarse en la cara interna de los encofrados, en la superficie del hormigón o introducidos en el hormigón. Los alambres o láminas de hierro se fijan, generalmente, a la cara interna de los encofrados, en posición vertical; de esta forma, los electrodos pueden espaciarse adecuadamente sin que se presenten interferencias al hormigonar. Este método presenta el inconveniente de que la superficie del hormigón conserva la señal de los electrodos. En el caso de calentamiento parcial, en el que se utilizan los electrodos adyacentes de forma recíproca como ánodo o como cátodo, puede presentarse una pérdida considerable de corriente a través de los encofrados, en el caso de que los tableros estén húmedos. También los electrodos pueden colocarse sobre la superficie superior del hormigón, fijándose a las cubiertas laterales del encofrado. Cuando la distancia entre dichos encofrados es grande, la colocación de los electrodos antes del hormigonado presenta dificultades; en este caso, los electrodos se colocan después de haberse hor

migonado casi por completo, quedando introducidos en el hormigón a una profundidad mínima de 2 pulgadas (5,08 cm). Los electrodos deben encontrarse a una profundidad suficiente para que no sufran perturbaciones, asegurándose, al mismo tiempo, un buen contacto con el hormigón.

Los electrodos introducidos por completo en el hormigón suelen presentar la forma de redes amplias. Se sujetan firmemente a las paredes laterales. Pueden sobrecalentarse, en el caso de que la corriente sea excesiva. Si un electrodo es demasiado largo, la corriente que fluye en el hormigón junto al extremo de alimentación es mayor que junto al otro extremo, de forma que es imposible conseguir una temperatura uniforme en el hormigón. Por consiguiente, la longitud de los electrodos ha de ser limitada.

La instalación eléctrica queda aclarada con el esquema de la fig. 17.

En muchos casos, las redes se colocan horizontal o verticalmente antes de hormigonar. En estructuras horizontales, la corriente pasa verticalmente a través del hormigón, entre los electrodos horizontales, superior e inferior. Las redes inferiores se colocan antes de comenzar el hormigonado, y las superiores inmediatamente después de haberse terminado, o bien, si es más conveniente, durante el hormigonado.

Cuando la profundidad del hormigón colocado en días sucesivos no es la misma, el espacio entre las redes de electrodos será diferente, en concordancia con las variaciones en el consumo de potencia y en la temperatura del hormigón. Por otra parte, si el consumo de potencia y la elevación de la temperatura del hormigón -

han de ser constantes, la profundidad del hormigonado diario queda limitada. Si las áreas de las redes superior e inferior presentan distinta superficie, el calor se concentra en la más pequeña; por esta razón, la relación del área cubierta por las redes debe mantenerse dentro del valor $1/1,5$.

En las estructuras verticales, la corriente pasa horizontalmente a través del hormigón, entre las redes verticales de electrodos introducidos en el hormigón. Las redes pueden colocarse antes del hormigonado. Cuando se colocan capas sucesivas de hormigón, el hormigón nuevo puede calentarse separando los electrodos en la superficie del hormigón viejo. Si las ramas laterales de la conducción se unen a los electrodos en sus extremos superiores, es necesario, con el fin de introducirlas, perforar las cubiertas laterales del encofrado.

Puede calentarse la totalidad del hormigón, de forma que la temperatura se eleve uniformemente durante el fraguado y el endurecimiento. Este método es aplicable a hormigón corriente y a hormigón armado, si el espacio entre las armaduras es amplio, o si la sección transversal es grande y tiene una temperatura inicial por debajo de 50°F (10°C). Alternativamente, cuando es necesario, puede tratarse únicamente parte del hormigón; por lo general, la superficie expuesta. Cuando la sección transversal es menor que 10-12 pulgadas (25,4-30,48 cm) los resultados obtenidos son casi los mismos que los que se obtienen al tratar todo el hormigón. En una pieza grande la elevación rápida de la temperatura del hormigón es pronunciada junto a los electrodos, y cuando la corriente deja de pasar se presenta una caída repentina de temperatura en esta parte, debido a la pequeña entalpía de los electrodos. En este método se ins

talan varias fuentes lineales de calor en la superficie de enfriamiento, y en la parte interna la producción de calor durante el fraguado es gradual y retardada. Si la temperatura inicial del hormigón es superior a $58,5^{\circ}\text{F}$ ($14,7^{\circ}\text{C}$) puede utilizarse este método con seguridad. Existe una cierta posibilidad de que el hormigón en las proximidades de los electrodos pueda endurecerse antes que el hormigón situado entre los mismos, y puede presentarse una cierta tensión inicial desfavorable para el hormigón fresco; por consiguiente, deben utilizarse los conmutadores a intervalos de treinta a cuarenta minutos. Este método es el que se usa corrientemente en el caso de hormigón con gran cantidad de refuerzo.

En general, en los conductores metálicos la corriente disminuye según se eleva la temperatura, pero cuando interviene la conducción iónica, como en el caso de la pasta de cemento, la resistencia eléctrica disminuye y aumenta la intensidad de la corriente según crece la temperatura. Esta relación, entre la intensidad de corriente y la temperatura, continúa hasta que comienza el fraguado de la pasta de cemento; en ese momento la temperatura alcanza un máximo. Cuando comienza el fraguado, el sistema se comporta como un sólido y, por consiguiente, la intensidad de corriente disminuye al aumentar la temperatura. La temperatura disminuye al reducirse la corriente, determinando un retraso en el fraguado. Si el voltaje es constante, las curvas tiempo-intensidad de corriente y tiempo-temperatura son uniformes, pero si la intensidad de corriente y la temperatura cambian repentinamente debe cortarse la corriente e inspeccionar cuidadosamente la obra. En una gran masa de hormigón, la producción de calor durante el fraguado del hormigón interno es importante, y la temperatura se eleva o permanece constante durante largo tiempo después de haberse cortado la corriente.

El hormigón amasado con agua salada tiene pequeña resistencia eléctrica, de forma que la cantidad de corriente que fluye en el hormigón es grande y la elevación de temperatura es lenta; se ha de tener especial cuidado en las construcciones de hormigón en minas de carbón o de metales y a lo largo de la costa.

Las operaciones deben realizarse de forma tal que se asegure un crecimiento uniforme de la temperatura en cualquier parte del hormigón. Es necesario: (1) Colocar cerca unos de otros (no más de 6 y 8 pulgadas -15,24-20,32 cm) los electrodos semejantes, y a mayor distancia los distintos, con el fin de que la temperatura crezca más lentamente; (2) cerrar y abrir frecuentemente el circuito; (3) colocar el hormigón de forma que se eleve uniformemente la temperatura, y que se reduzca la necesidad de elevar la temperatura mediante la corriente eléctrica; (4) utilizar las longitudes más convenientes de electrodos y de líneas principales. Cuando los electrodos están colocados vertical u horizontalmente y exceden de una cierta longitud, y si todos los extremos de alimentación se encuentran a un lado, entonces el voltaje cae en el otro extremo y la corriente se hace más débil, con un retraso en la elevación de la temperatura. En tales casos, la corriente debe introducirse de forma alternativa o bien se acortan los electrodos y se alimentan directamente. Se pueden aplicar las mismas consideraciones a las conducciones principales. Si la línea principal es larga y tiene muchas derivaciones, existe una gran reducción en el voltaje y la elevación de la temperatura del hormigón que da retardada en el extremo de la línea principal. En tales casos, la conducción principal debe disponerse en circunvalación, o bien se suministra la corriente mediante varios circuitos paralelos.

S. F. S.

- - -

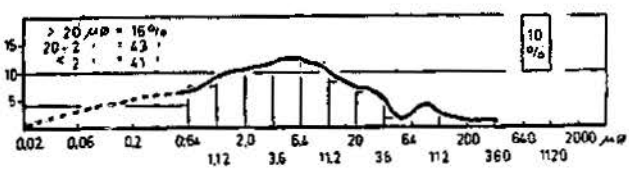
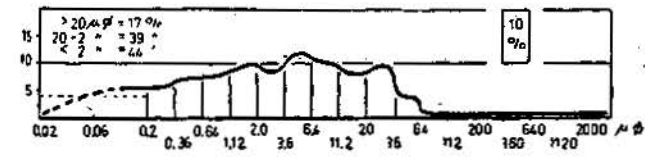


Fig. 15

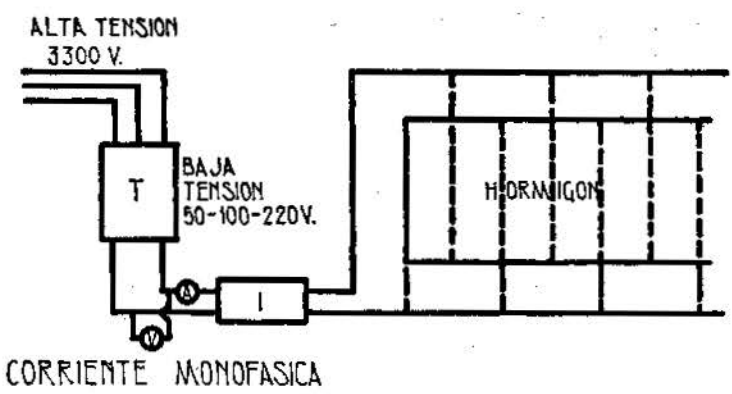
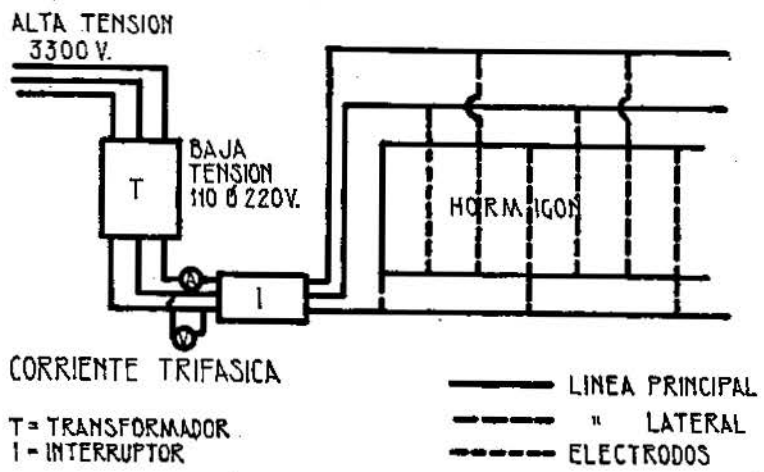


Fig. 17.

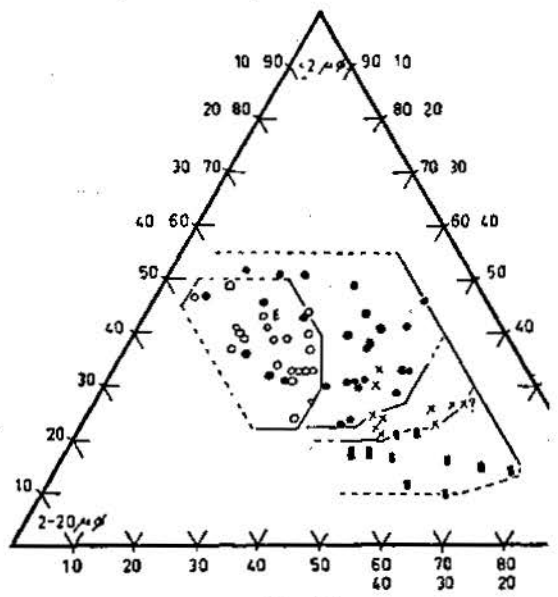


Fig. 16.

- Ladrillos macizos.
- × Ladrillos multicelulares.
- Tejas.
- Forjados.

Fig. 15.—Composición granulométrica de arcillas utilizadas para la fabricación de forjados.
 Fig. 16.—Diagrama triangular de composición granulométrica utilizado para estudiar el campo de aplicación de las distintas arcillas.
 Fig. 17.—Esquema de los circuitos eléctricos utilizados en el curado del hormigón.