



CURADO DEL HORMIGÓN



CURADO DEL HORMIGÓN

El curado es el mantenimiento de la temperatura y del contenido de humedad satisfactorios, por un periodo de tiempo que empieza inmediatamente después de la colocación (colado) y del acabado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas en el hormigón (Fig. 1). Siempre se debe enfatizar la necesidad de curado pues es una fuerte influencia sobre las propiedades del hormigón endurecido, o sea, el curado adecuado hace que el hormigón tenga mayor durabilidad, resistencia, impermeabilidad, resistencia a la abrasión, estabilidad dimensional, resistencia a la congelación-deshielo y a descongelantes. Las losas expuestas son especialmente sensibles al curado, pues se puede reducir significativamente el desarrollo de la resistencia mecánica y la resistencia a la congelación en su superficie, cuando el curado no es apropiado.

Cuando el cemento portland se mezcla con el agua, comienza una reacción química, llamada de hidratación. El grado de hidratación (extensión hasta la cual la reacción se completó) tiene influencia sobre la resistencia y la durabilidad del hormigón. El hormigón recién mezclado normalmente contiene más agua que la requerida para la hidratación del cemento, sin embargo la pérdida excesiva de agua por evaporación puede disminuir o prevenir la hidratación adecuada. La superficie es particularmente susceptible a la hidratación insuficiente porque se seca primero. Si la temperatura es favorable, la hidratación es relativamente rápida en los primeros días después de la colocación del concreto. Por lo tanto, es importante que se retenga agua en el hormigón durante este período, o sea, se debe evitar la evaporación o reducida considerablemente.

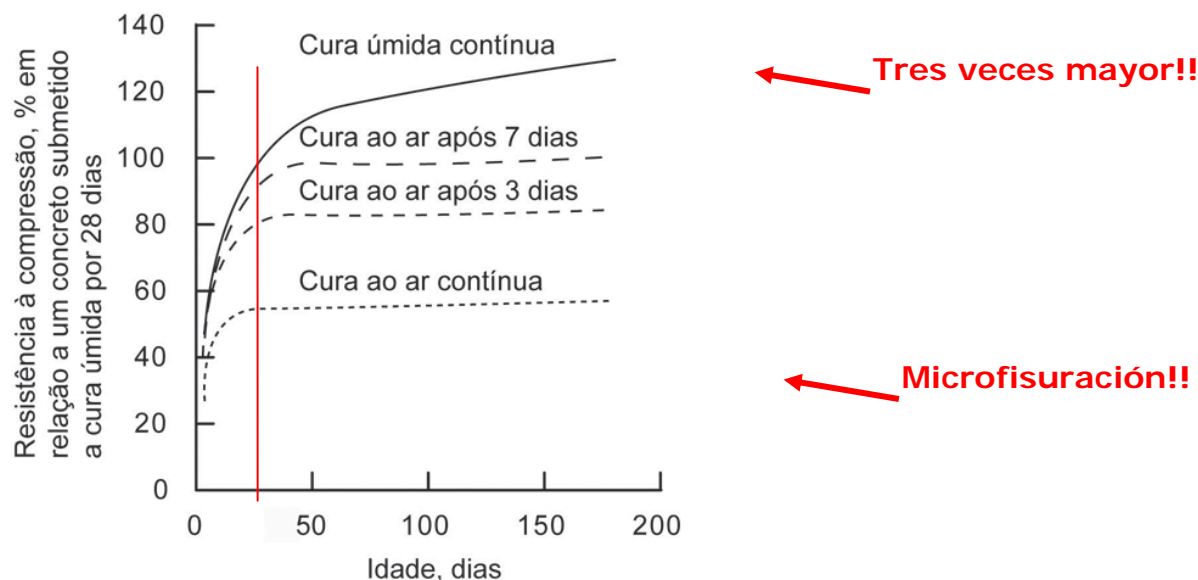
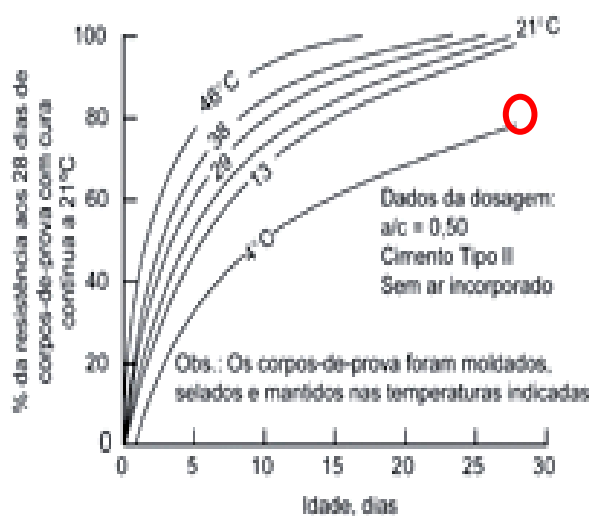


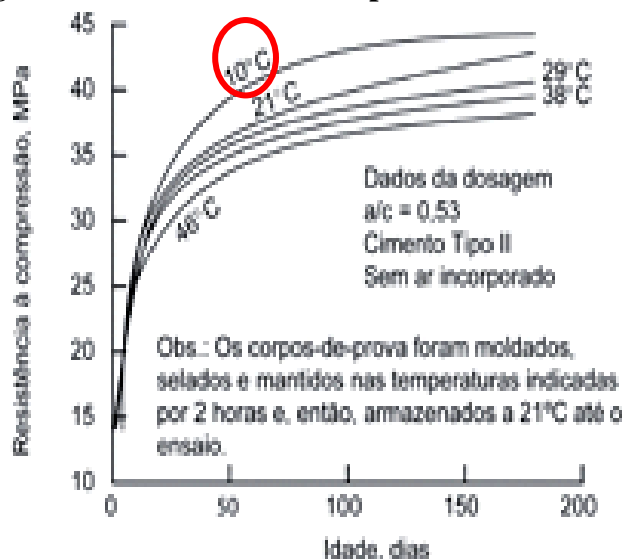
Figura 1: Influencia del curado en el desarrollo de la resistencia a compresión

Con el curado adecuado, el hormigón se vuelve más impermeable y más resistente a esfuerzos, a abrasión y a congelación-deshielo. El desarrollo de las propiedades es muy rápido en los primeros días, pero después continúa más lentamente por un periodo de tiempo indefinido. Las Figuras 2, 3 y 4 muestran el desarrollo de la resistencia con relación a la edad, de hormigones sujetos a diferentes períodos y temperaturas de curado, respectivamente.



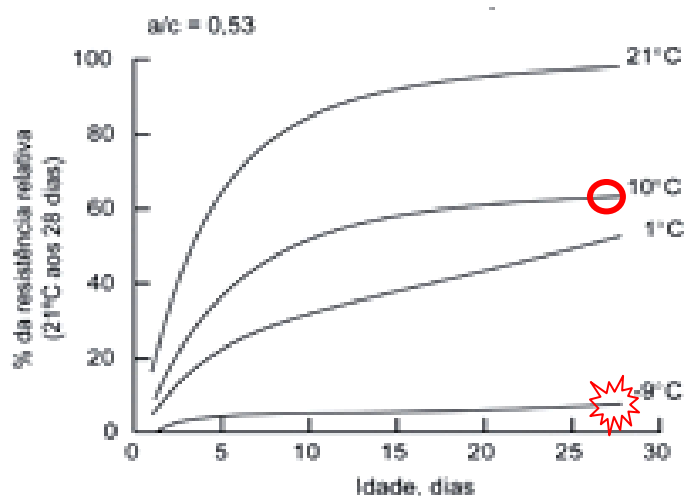
Igual temperatura de moldeo y curado en el entorno de 5 y 46 °C; para cada caso a una temperatura específica.

Figura 2: Influencia de la temperatura en el desarrollo de la resistencia a compresión



Diferentes tiempos y temperaturas de moldeo y curado a temperatura normal
Temp. de moldeo entre 10 y 46 °C; luego curado húmedo a t 21 °C constante

Figura 3: Influencia en la resistencia a compresión de diferentes tiempos y temperaturas de moldeo y curado a temperatura normal



Moldeado a temperatura normal de 21 °C; luego curado húmedo a temperatura variable

Figura 4: Influencia de la temperatura posterior al moldeo en el desarrollo de la resistencia a compresión

El método de curado más eficiente depende de los materiales y métodos de construcción empleados y de la intención de uso del hormigón endurecido. En la mayoría de las obras, el curado normalmente envuelve la aplicación de compuestos de curado o la cobertura del hormigón fresco con hojas impermeables o yute (arpillera, estopa) húmeda. En algunos casos, tales como en el clima caluroso y en el clima frío, se necesitan cuidados especiales y el uso de otras precauciones.

Las mezclas de hormigón con alto contenido de cemento y baja relación agua-cemento (menor que 0.40) pueden necesitar de un curado especial. A medida que el cemento se hidrata (combinación química con el agua, la humedad relativa interna disminuye, causando la auto-deseccación (secado) de la pasta, si no se suministra agua externa. La pasta se puede desecar hasta un nivel en que la hidratación se paraliza. Esto puede influenciar las propiedades del hormigón, especialmente si, durante los primeros siete días, la humedad relativa interna baja a menos del 80%. En vista de eso, los compuestos de curado formadores de membrana pueden no retener suficiente agua en el hormigón. Por lo tanto, se hace necesario el rociado o curado húmedo para maximizar la hidratación (Copeland y Braga 1955). La niebla durante y después la colocación y acabado también ayuda a minimizar la fisuración por contracción (retracción) plástica (agrietamiento por contracción plástica) en hormigones con relación agua-cemento muy baja (especialmente cerca 0.30 o menos).

Cuando el curado húmedo se interrumpe, el desarrollo de la resistencia continúa por un corto período tiempo y se paraliza después que la humedad relativa interna baja a 80%. Sin embargo, si se empieza nuevamente el curado húmedo, el desarrollo de la resistencia se reactiva, pero la resistencia potencial original tal vez no se logre. Aunque se puede lograr en el laboratorio, la resaturación del hormigón en la obra es difícil. Por lo tanto, la mejor opción es el curado húmedo continuo, desde momento de la colocación hasta que el hormigón ha desarrollado suficiente resistencia, impermeabilidad y durabilidad.

La pérdida de agua también va a causar la contracción (retracción) del hormigón, creando esfuerzo de tracción. Si estas tensiones se desarrollan antes de que el hormigón haya logrado



resistencia suficiente, la superficie se va a fisurar. Se deben proteger contra la evaporación todas las superficies expuestas, incluyéndose bordes y juntas.

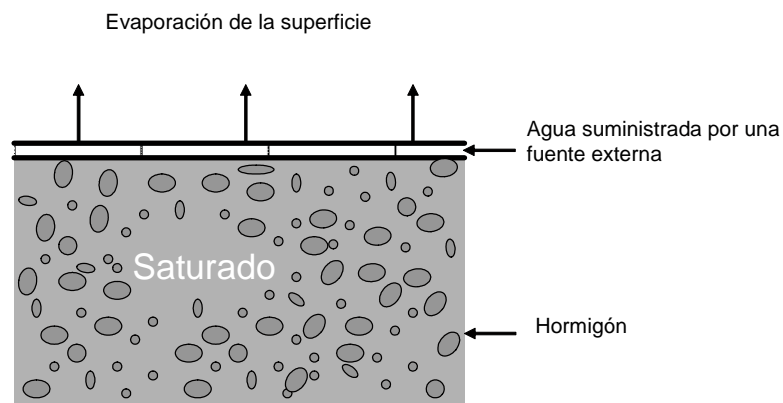
La hidratación continúa en una velocidad más lenta cuando la temperatura del hormigón es baja. Temperaturas menores que 10°C son desfavorables para el desarrollo de las resistencias tempranas, abajo de 4°C este desarrollo es retrasado enormemente e inferior a la temperatura de congelación (-10°C) se desarrolla poca o ninguna resistencia.

En los últimos años, se introdujo el concepto madurez para evaluar el desarrollo de la resistencia cuando hay variación en la temperatura de curado del hormigón. La madurez es el resultado de la edad del hormigón y la temperatura promedio de su curado superior a una cierta temperatura base. Por lo tanto, se debe proteger el hormigón para que temperatura sea favorable para la hidratación y para que no haya pérdida de humedad durante el periodo endurecimiento en las primeras edades.

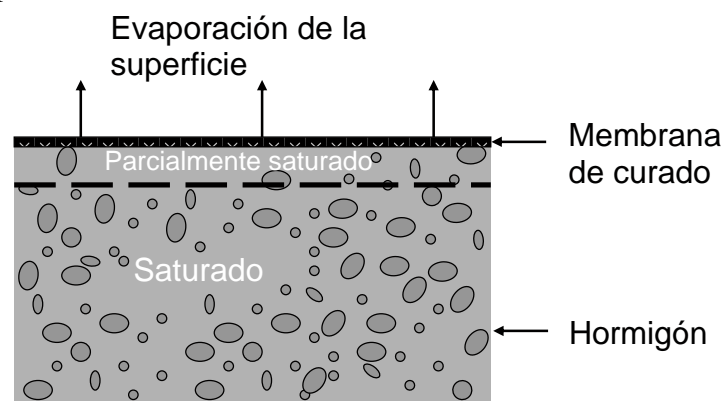
MÉTODOS Y MATERIALES DE CURADO

Se puede mantener el hormigón húmedo (y en algunos casos a una temperatura favorable) a través de por lo menos tres métodos de curado:

1. Métodos que mantienen el agua de la mezcla (agua mezclado) presente durante los períodos iniciales de endurecimiento. Entre éstos se incluyen encharcamiento o inmersión, rociado, aspersión o niebla y coberturas saturadas de agua. Estos métodos permiten un cierto enfriamiento a través de la evaporación, que es benéfico en clima caluroso.



2. Métodos que reducen la pérdida del agua de la mezcla de la superficie del hormigón. Esto se puede hacer cubriendo el hormigón con papel impermeable o plástico o a través de la aplicación de compuestos formadores de membrana.





3. Métodos que aceleran el desarrollo de la resistencia a través del suministro de calor y humedad adicional al hormigón. Esto se realiza normalmente con vapor directo, espirales de calentamiento o encofrados o almohadilla calentados eléctricamente.

El método o la combinación de métodos elegidos depende de factores como la disponibilidad de los materiales de curado, el tamaño, forma y edad del hormigón, las instalaciones de producción (en obra o en central), la apariencia estética y economía. Como resultado, el curado normalmente envuelve una serie de procedimientos usados en momentos específicos a medida que el hormigón envejece. Por ejemplo, aspersión con niebla o yute húmeda cubierta con plástico pueden preceder la aplicación del compuesto de curado. El momento de cada procedimiento depende del grado necesario de endurecimiento para que el procedimiento no dañe la superficie del hormigón (ACI 308,1997)

1. Encharcamiento e Inmersión

En superficies planas, tales como pavimentos y losas, se puede curar por encharcamiento. Los diques (bordos) de arena o suelo alrededor del perímetro de la superficie del hormigón pueden retener el agua del encharcamiento, método ideal para prevenir la pérdida de humedad y es eficiente para mantener la temperatura del hormigón. El agua de curado no debe estar 11°C más fría que el hormigón para evitar las tensiones térmicas que pueden generar fisuras. Como el encharcamiento requiere mucho trabajo y supervisión, este método sólo se lo emplea en pequeñas obras.

El método de curado con agua, más minucioso, consiste en la inmersión total del elemento de hormigón. Este método se usa normalmente en laboratorio para el curado de especímenes (probetas) de ensayo. Cuando la apariencia del hormigón es importante, el agua utilizada en el curado por encharcamiento o inmersión debe estar libre de sustancias que manchen o decoloren el hormigón. El material usado para los diques también puede decolorar el hormigón.

Rociado o Aspersión

El rociado y la aspersión con agua son excelentes métodos cuando la temperatura ambiente está bien arriba de la temperatura de congelación y la humedad es baja. Frecuentemente, se aplica una niebla o llovizna fina a través de un sistema de boquillas o rociadores para aumentar la humedad relativa del aire, disminuyendo la evaporación de la superficie (Fig. 5). El rociado se aplica para minimizar la fisuración por contracción (retracción) plástica hasta que las operaciones de acabado se concluyan. Una vez que el hormigón se haya endurecido suficientemente para prevenir la erosión por el agua, se pueden usar, de manera eficiente, rociadores ordinarios para césped. Esto si se proporciona una buena cobertura y el escurrimiento del agua es adecuado. Las mangueras para regar son útiles para superficies verticales o casi verticales.



Figura 5: Curado por rociado con aspersores

El costo de la aspersión puede ser una desventaja. El método requiere un gran abastecimiento de agua y una supervisión cuidadosa. Si la aspersión se hace en intervalos, se debe prevenir que el hormigón se seque entre las aplicaciones del agua, a través del uso de yute o material similar, pues los ciclos alternados de saturación y secado pueden causar la fisuración de la superficie.

Coberturas Húmedas

Normalmente para el curado, se usan las cubiertas de telas saturadas con agua, como los yutes, esteras de algodón, mantas u otras telas que retengan humedad (Fig. 6). El yute tratado que refleja la luz y es resistente a la putrefacción y al fuego ya está disponible.

El yute debe estar libre de cualquier sustancia que sea perjudicial al hormigón o pueda causar decoloración. Se debe enjuagar el yute nuevo para remover sustancias solubles y para volverlo más absorbente.

Las coberturas de tela saturada, capaces de retener el agua, deberán colocarse tan pronto el hormigón se haya endurecido suficientemente para evitar daños a su superficie. Durante el período de espera, se pueden usar otros métodos de curado, tales como el rociado o el uso de auxiliares de acabado formadores de membrana. Se debe tener cuidado para que toda la superficie se cubra por la tela mojada, incluyéndose los bordes de las losas. Se debe mantener la cubierta constantemente húmeda para que una película de agua se mantenga sobre la superficie del hormigón durante el período de curado. El uso de películas de polietileno sobre el yute húmedo es una buena práctica que elimina la necesidad de riego continuo de la cubierta. El riego periódico de la tela debajo del plástico, antes que se seque, debe ser suficiente. Los ciclos alternados de saturación y secado durante las edades tempranas pueden causar fisuración.



Figura 6: cobertura húmeda del hormigón

Las cubiertas húmedas de tierra, arena o aserrín son eficientes para el curado y frecuentemente usadas en pequeñas obras. El aserrín de la mayoría de las maderas es aceptable, pero el roble y otras maderas que contienen ácido tánico no se deben usar, pues pueden producir deterioro del hormigón. Una capa de 50 mm de espesor se debe distribuir regularmente sobre la superficie del hormigón previamente humedecido y se la debe mantener constantemente mojada.

Se puede utilizar el forraje o paja húmedos para el curado de superficies planas. Si son empleados, se debe colocar una capa de, por lo menos, 150 mm de espesor y deberán quedar fijos con una malla de alambre, yute o lona para evitar que el viento se los lleve. La mayor desventaja de la tierra, arena, aserrín húmedos es la posibilidad de decoloración hormigón.

Papel Impermeable

El papel impermeable para el curado del hormigón consiste en dos hojas de papel kraft (o de pulpa sulfítica), cementadas entre si por un adhesivo bituminoso con refuerzo de fibras. Este papel, según la ASTM C 171 es un método eficiente de curado de superficies horizontales y hormigón estructural de formas relativamente sencillas. Una ventaja importante de este método es que requiere el riego periódico. El curado con papel impermeable auxilia la hidratación del cemento, pues previene la pérdida de agua del hormigón.

Cuando el hormigón se haya endurecido suficientemente para prevenir el daño de la superficie, se lo debe mojar y colocar el papel con el mayor ancho disponible. Los bordes de hojas adyacentes se deben superponer aproximadamente 150 mm y estar sellados con arena, tablón de madera, cinta adhesiva sensitiva a presión o pegamento (cola). Las hojas se deben anclar con pesos para que se mantengan en contacto con la superficie hormigón durante todo el período de curado (Fig.7).



Figura 7: Curado con papel impermeable

El papel impermeable se puede reutilizar si efectivamente retiene la humedad. Las rasgaduras y los agujeros se pueden reparar fácilmente con parches de papel de curado. Cuando la condición del papel es dudosa, se puede seguir utilizando con doble espesor.

Además del curado, el papel impermeable ofrece alguna protección al hormigón contra daños causados por construcción posterior así como protección contra el sol directo. Su color debe ser claro y no debe manchar el hormigón. El papel con la superficie superior blanca es preferible para el curado de hormigón visto durante el clima caluroso.

Hojas de plástico

Los materiales de láminas (hojas) de plásticos, tales como película de polietileno, se pueden usar en el curado del hormigón. La película de polietileno, además de tener un peso ligero, retiene la humedad de manera eficiente y se la puede aplicar fácilmente tanto en elementos de formas sencillas como complejas. Su aplicación es semejante a la aplicación descrita para el papel impermeable.

El curado con película de polietileno (o papel impermeable) puede causar decoloración en ciertas áreas, especialmente si el hormigón contiene cloruro de calcio y fue terminado con llana metálica. Esta decoloración es más pronunciada cuando la película se arruga, pero, en proyectos grandes, es muy difícil y toma mucho tiempo, colocar los materiales en hojas sin arrugas. La decoloración se puede prevenir inundando la superficie bajo la cubierta, pero otros métodos de curado se deben usar, cuando un color uniforme sea importante.

La película de polietileno debe cumplir con la ASTM C 171 (AASHTO M 171), que especifica un espesor de 10 mm para el curado del concreto, pero lista sólo películas opacas blancas y transparentes. Sin embargo, la película negra está disponible y es satisfactoria bajo ciertas condiciones. La película blanca se la debe usar en el curado del hormigón visto, durante el clima caluroso, para reflejar los rayos de sol. La película negra se la puede usar en el clima frío, en áreas internas. Las películas transparentes tienen poco efecto sobre la absorción del calor.



La ASTM C 171 (AASHTO M 171) también incluye un material en lámina, tal como yute impregnado, en uno de los lados, con película de polietileno opaco en el otro. Las combinaciones de película de polietileno unida a una tela absorbente, tal como el yute, ayuda a retener la humedad sobre la superficie del hormigón.

La película de polietileno (Fig. 8) también se puede colocar sobre arpillera húmeda u otro material húmedo de cobertura, para retener el agua en el material de la cubierta. Este procedimiento elimina el trabajo intenso de regar continuamente el material de la cubierta.



Figura 8: Curado con láminas plásticas

Compuestos de Curado Formadores de Película

Los compuestos líquidos formadores de membranas a base de parafinas, resinas, hules (gomas) coloreadas y otros materiales se pueden usar para impedir o reducir la evaporación de la humedad del hormigón. En países desarrollados, es el método más práctico y más ampliamente utilizado para el curado no sólo de hormigones recién colocados, sino también para prolongar el curado hasta después de la remoción del encofrado o después del curado húmedo inicial. Sin embargo, los métodos más eficientes de curado son las cubiertas húmedas o el rociado de agua, los cuales mantienen el hormigón continuamente mojado. Los compuestos de curado deben ser capaces de conservar la humedad relativa de la superficie del hormigón superior al 80% por siete días, para sostener la hidratación del cemento.

Los compuestos formadores de película son, en general, de dos tipos: transparentes o translúcidos y pigmentados de blanco. Los compuestos transparentes o translúcidos pueden contener una tinta inestable que facilita la verificación visual del área cubierta por la película. La tinta se destiñe enseguida después de la aplicación. En días calientes y soleados, se recomienda el empleo de compuestos blancos, pues reducen el aumento del calor provocado por el sol, reduciendo la temperatura del hormigón. Se deben agitar los recipientes de los compuestos pigmentados, para que no se asienten en el fondo.

Los compuestos de curado se deben aplicar inmediatamente después del acabado final del hormigón, a través de equipos rociadores operados manualmente o por propulsión mecánica



(Fig. 9). La superficie del hormigón debe estar húmeda, cuando se aplica la capa. En días secos y ventosos o durante períodos de condiciones climáticas adversas, que podrían resultar en fisuración por contracción (retracción) plástica, la aplicación del compuesto de curado, inmediatamente después del acabado final y antes de la evaporación de toda el agua libre de la superficie, va a ayudar a prevenir la fisuración. Los equipos rociadores de propulsión mecánica se recomiendan para una aplicación uniforme de compuestos de curado en áreas grandes. Estos equipos deben disponer de boquillas de rociado y parabrisas para prevenir la pérdida del compuesto, provocada por el viento.



Figura 9: Aplicación de compuesto de curado

Normalmente se aplica sólo una capa lisa y uniforme en una dosis típica de 3 a 4 m² por litro, pero como los productos varían, se deben seguir las dosis recomendadas por el fabricante. Si se necesitan dos capas para garantizar una cobertura completa y una protección efectiva, la segunda capa se debe aplicar en ángulo recto con respecto a la primera. Se debe lograr la cobertura completa de la superficie, porque aún los agujeros muy pequeños en la membrana, pueden aumentar la evaporación de la humedad del hormigón.

Los compuestos de curado pueden disminuir la adhesión entre el hormigón endurecido y el hormigón fresco recién colocado. La mayoría de los compuestos no son compatibles con los adhesivos usados con los materiales para revestimiento de pisos. Consecuentemente, se debe ensayar su compatibilidad o no se deben usar estos compuestos, cuando sea necesaria una capa de revestimiento. Por ejemplo, un compuesto de curado no se debe emplear en la losa de base de un sistema de piso de dos capas. De la misma manera, algunos compuestos de curado pueden afectar la adhesión de la pintura del piso de hormigón. Se deben consultar a los productores de compuestos de curado con el propósito de determinar si su producto es adecuado para la aplicación deseada.

Los compuestos de curado deben ser uniformes y fáciles de conservar en una solución completamente homogénea. No deben escurrirse en los bordes o recogerse en las ranuras. Deben formar una película resistente para soportar el tránsito de la construcción sin dañarse, no deben amarillear y deben poseer buenas propiedades de retención de humedad.

Se debe tener cuidado al usar compuestos que contienen solventes de alta volatilidad en áreas



sin ventilación o cerca de espacios ocupados sensibles, tales como hospitales, porque la evaporación de los volátiles puede causar problemas respiratorios. Se deben cumplir con las leyes ambientales locales sobre la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV).

Curado por Humedad Interna

El curado por humedad interna se refiere a métodos que dan humedad desde el interior del hormigón y no desde el exterior. Este contenido de agua no debe afectar el agua inicial de la relación agua-cemento del hormigón fresco. Los agregados finos livianos de baja densidad o partículas de polímeros absorbentes, con capacidad de retener una cantidad significativa de agua, pueden suministrar humedad adicional a los hormigones propensos a auto-dsecación. Cuando se hace necesaria una hidratación más completa en hormigones con baja relación agua-cemento (alrededor *de* 0.30 o menos), 60 kg/m³ a 180 kg/m³ de agregado fino liviano saturado pueden suministrar humedad adicional para la continuación de la hidratación, resultando en un aumento de la resistencia y de la durabilidad. Todo el agregado fino de la mezcla se puede reemplazar por agregado fino liviano saturado, para maximizar la humedad interna de curado. El curado por humedad interna se debe acompañar por métodos de curado externos.

Encofrados dejados en su lugar

Los encofrados ofrecen una protección satisfactoria contra la pérdida de humedad si se mantiene húmeda la superficie superior expuesta. La manguera de regar es excelente para esta finalidad. Se deben dejar los encofrados en el hormigón el mayor tiempo posible.

Se deben mojar los encofrados de madera dejados en el hormigón a través de rociado, especialmente durante clima caluroso o seco. Si no se puede hacer esto, se deben retirar estos encofrados lo más pronto posible y se debe empezar otro método de curado sin retraso. Pueden ocurrir variaciones de color en las paredes, resultantes de los encofrados y del curado desigual.

Curado a vapor

El curado a vapor es ventajoso donde sea importante el desarrollo de resistencia temprana o donde sea necesario calor adicional para que se logre la hidratación, como en el caso del clima frío.

Se usan dos métodos de curado a vapor: vapor directo (vivo) a presión atmosférica (para estructuras encerradas, coladas en obra y unidades grandes de hormigón prefabricado) y vapor a alta presión en autoclaves (para unidades prefabricadas pequeñas). Sólo el método de vapor directo a presión atmosférica se va a presentar aquí.

Un ciclo típico de curado a vapor consiste en: (1) retraso inicial antes de la aplicación del vapor, (2) período de aumento de la temperatura, (3) período en que se mantiene constante la temperatura máxima y (4) período de disminución de la temperatura. La Figura 10 enseña el ciclo típico de curado a vapor atmosférico.

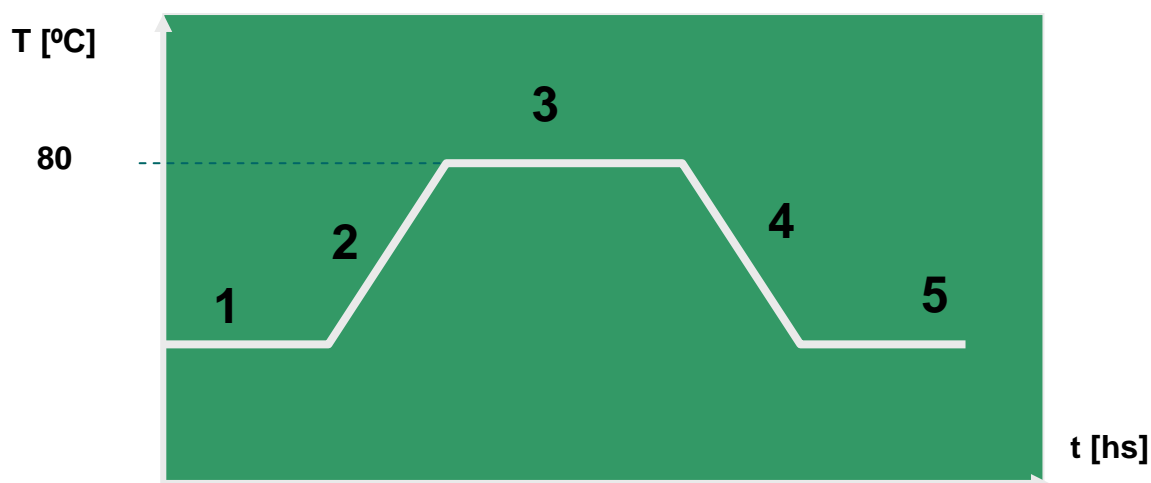


Figura 10: típico ciclo de curado con temperatura y vapor

El curado a vapor a presión atmosférica, generalmente, se hace en ambientes cerrados para minimizar la humedad y la pérdida de calor. Normalmente se usan lonas para crear un ambiente cerrado. La aplicación del vapor en ambientes cerrados se debe retrasar hasta el fraguado inicial o por lo menos 3 horas después de la colocación del hormigón para permitir algún endurecimiento del hormigón. Con un período de retraso de 3 a 5 horas antes de la aplicación del vapor, el hormigón va a lograr la resistencia temprana máxima.

La temperatura del vapor se debe mantener alrededor de 60°C hasta que la resistencia deseada del hormigón se haya desarrollado. La resistencia no va a aumentar significativamente si la temperatura máxima de vapor se aumenta de 60°C a 70°C. Se deben evitar las temperaturas de curado a vapor mayores que 70°C pues no son económicas y pueden causar daños. Se recomienda que la temperatura interna del hormigón no exceda 70°C para evitar la expansión retardada por calor inducido y la reducción excesiva de la resistencia última. El uso de temperaturas mayores que 70°C se debe demostrar seguro a través de ensayos o de datos históricos de campo.

Las temperaturas del hormigón normalmente se controlan en el extremo expuesto del elemento de hormigón. El control de la temperatura del aire no es suficiente porque el calor de hidratación puede hacer con que la temperatura interna del hormigón exceda 70°C. Además del desarrollo de resistencia temprana, hay otras ventajas del curado en temperaturas alrededor de 60°C en comparación a hormigones curados a 23°C por 28 días, como por ejemplo reducción de la contracción (retracción) por secado y de la fluencia, (Klieger 1960 y Tepponen y Eriksson 1987).

Se deben evitar velocidades elevadas de calentamiento y enfriamiento para prevenir daños causados por cambios de volumen. La temperatura en el ambiente cerrado circundante al hormigón no se debe aumentar o disminuir más que 22°C a 33°C por hora, dependiendo del tamaño y de la forma del elemento de hormigón.

La temperatura de curado en el ambiente cerrado se debe mantener hasta que el hormigón haya logrado la resistencia deseada. El tiempo requerido va a depender de la mezcla de hormigón y la temperatura de vapor en el ambiente (ACI Comité 517 1992).



Mantas o Cubiertas Aislantes

Las capas de material seco y poroso, tales como paja o heno se pueden utilizar para proporcionar aislamiento contra la congelación del hormigón, cuando las temperaturas caen para menos de 0°C.

Los encofrados se pueden aislar económicamente con mantas comerciales o con material aislante que tienen una cobertura impermeable resistente. Las mantas aislantes adecuadas se producen con fibras de vidrio, hule, esponja, fibras de celulosa, lana mineral, espuma de vinilo y espuma de poliuretano de celdas abiertas. Cuando se usan encofrados aislados, se debe tener cuidado para prevenir que las temperaturas del hormigón no se vuelvan elevadas. Las lonas con estructura de marcos, películas de polietileno reforzado u otros materiales se pueden colocar alrededor de la estructura y se pueden calentar a través de calentadores de espacio o vapor.

Curado eléctrico, con aceite, microondas y rayos Infrarrojos

Los métodos eléctricos, con aceite caliente, microondas e infrarrojo están disponibles desde hace muchos años, tanto para el curado normal como para el curado acelerado del hormigón, en algunos países. Los métodos de curado eléctricos incluyen una gran variedad de técnicas: (1) uso del propio hormigón como conductor eléctrico, (2) uso del acero del refuerzo como elemento calentador, (3) uso de un alambre especial como elemento de calefacción, (4) mantas eléctricas y (5) uso de encofrados metálicos calentados eléctricamente (actualmente el método más popular en los EE.UU.). La calefacción eléctrica es especialmente útil en la colocación en clima frío. El aceite caliente se lo puede hacer circular a través de los encofrados metálicos para calentar el hormigón. Los rayos infrarrojos y las microondas tienen su empleo limitado al curado acelerado. El curado por los métodos infrarrojos es normalmente bajo una cubierta en el encofrado metálico. Los métodos eléctricos, con aceite e infrarrojo se utilizan principalmente en la industria del hormigón prefabricado.

TIEMPO Y TEMPERATURA DE CURADO

El período de tiempo que se debe proteger el hormigón de la congelación, temperaturas elevadas anormales y contra la pérdida de humedad depende de diversos factores: el tipo del material cementante usado, las proporciones de la mezcla, resistencia requerida, tamaño y forma del elemento de hormigón, clima ambiente y condiciones de exposición futura. El período de curado puede ser semanas o más para hormigones pobres usados en estructuras masivas, tales como presas. Por otro lado, puede ser de sólo unos pocos días en mezclas ricas, especialmente si se emplean cementos de alta resistencia inicial, tales como el ARI. Los períodos de curado a vapor normalmente son mucho más cortos, variando de algunas horas hasta 3 días, pero generalmente se usan ciclos de 24 horas. Como todas las propiedades del hormigón se mejoran con el curado, el tiempo de curado debe ser lo más largo posible.

En losas de hormigón sobre el terreno (pisos, pavimentos, revestimiento de canal, parques y paseos (calzadas, caminos, paseos, andenes, veredas) y en hormigón estructural (paredes colocadas en obra, columnas, losas, vigas, zapatas pequeñas, estribos, muros de contención y tableros de puentes), el período de curado con temperaturas ambientes inferiores a 5°C, debe ser de por lo menos 7 días, pero un tiempo adicional se requerir para que se logre 70% de las



resistencias a compresión o a flexión especificadas. Se deben seguir recomendaciones para el curado, cuando el promedio de la temperatura ambiente es 5°C o inferior, para prevenir daños por congelación. Una temperatura de curado más elevada proporciona un desarrollo más temprano de la resistencia que una temperatura más baja, pero puede disminuir la resistencia a los 28 días. Si se hacen pruebas de resistencia para establecer el tiempo de curado adecuado o cuando se pueden remover los encofrados, se deben producir, en la obra, cilindros o vigas de hormigón representativos, manteniéndolos cerca de la estructura o pavimento que representan y curándolos con los mismos métodos. Están disponibles equipos que pueden controlar las temperaturas internas del hormigón y coincidir con la temperatura de la caja de curado del cilindro de hormigón. Ésta es la medida más precisa para representar las resistencias del hormigón en la obra. También se puede hacer uso de testigos, cilindros removibles colados en la obra y métodos de ensayos no destructivos para determinar la resistencia de los elementos de hormigón.

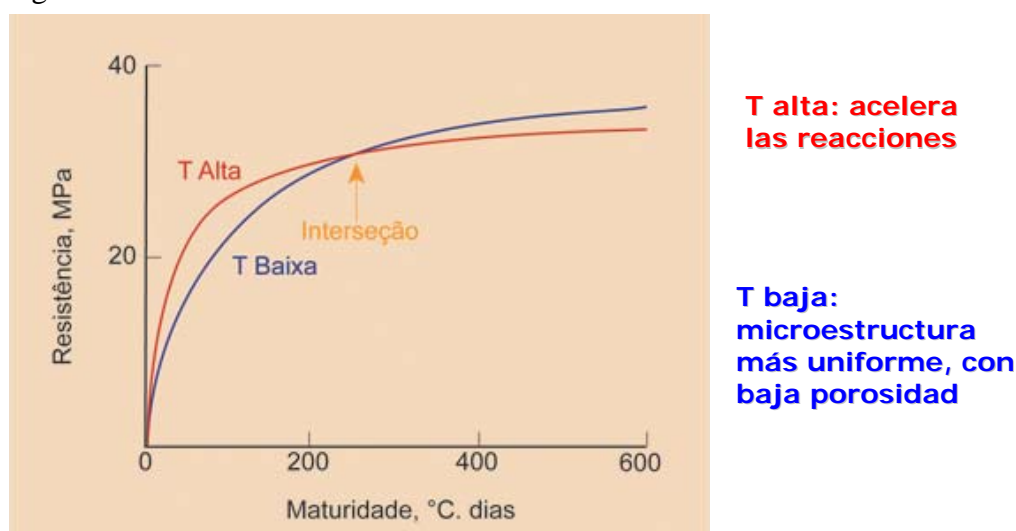


Figura 11: Relación entre resistencia a compresión y madurez del hormigón. Fuente: Carino, N.J. The maturity method, Handbook on Non Destructive Testing of Concrete, 1991

Como la velocidad de hidratación es influenciada por el tipo de cemento y la presencia de material cementante suplementario, se debe prolongar el tiempo de curado de hormigones con materiales cementantes que tengan características de desarrollo lento de resistencia. En hormigón masivo (pilares grandes, esclusas, estribos, presas, cimentaciones pesadas, columnas masivas y vigas de referencia) que no posea puzolana como parte del material cementante, el curado de áreas sin armadura se debe proceder durante por lo menos 2 semanas. Si el hormigón masivo contiene puzolana, el periodo mínimo de curado de áreas sin armadura debe ser de 3 semanas. Se debe curar al hormigón masivo densamente reforzado (armado) por un periodo mínimo de 7 días.

Durante el clima frío, normalmente se requiere calor adicional para que se mantenga una temperatura favorable de 10°C a 20°C . Se pueden utilizar calentadores de combustión a gas o petróleo, espirales de calentamiento, calentadores portátiles o vapor directo para suministrar calor. En todos los casos, se debe tener cuidado para evitar la pérdida de humedad del



hormigón. Se debe evitar la exposición del hormigón fresco a los gases de escape de calefacción o de motor, pues pueden deteriorar la superficie del hormigón y facilitar la aparición de polvo (carbonatación rápida).

El hormigón de alta resistencia inicial se puede usar en clima frío para acelerar el tiempo de fraguado y el desarrollo de la resistencia, lo que puede disminuir el tiempo de curado, pero se debe mantener una temperatura mínima de 10°C.

Para que se logre una resistencia adecuada a los descongelantes, el tiempo mínimo de curado normalmente corresponde al tiempo necesario para el desarrollo de la resistencia de proyecto en la superficie. Un período de secado al aire, posterior al curado, va a aumentar la resistencia al descascaramiento. El período de secado debe ser, por lo menos, de un mes de clima relativamente seco, antes de la aplicación del descongelante.

COMPUESTOS SELLADORES

Los compuestos selladores (sellantes) son líquidos aplicados a la superficie del hormigón endurecido para reducir la penetración de líquidos o gases, tales como agua, soluciones de descongelantes y dióxido de carbono que causan daños por congelación-deshielo, corrosión de la armadura y ataque ácido. Los compuestos selladores se usan también en losas de pisos internos para reducir el apareamiento de polvo y la absorción de grasas, además de tornar la limpieza de la superficie más fácil.

Los compuestos selladores se diferencian de los compuestos de curado por su función y, por lo tanto, no se los debe confundir como siendo lo mismo. El objetivo principal de los compuestos de curado es la reducción de la pérdida de agua del concreto recién colocado y se los aplican inmediatamente después del acabado. Por otro lado, los compuestos selladores de superficie disminuyen la penetración de sustancias perjudiciales en el hormigón y habitualmente no se los aplican antes que el hormigón tenga 28 días de edad. Normalmente se clasifican como formadores de película o penetrantes.

La selladura del hormigón exterior es un procedimiento opcional normalmente conducido para ayudar a proteger el hormigón contra la congelación-deshielo y los daños causados por la penetración de los cloruros de los descongelantes. El curado no es opcional cuando se usa el sellador, pues es necesario para que las propiedades deseadas se desarrollen, permitiendo que el hormigón desempeñe adecuadamente sus funciones. El desempeño satisfactorio del hormigón en áreas externas depende principalmente de un sistema de vacíos de aire adecuado, resistencia suficiente y el uso de técnicas adecuadas de colocación, acabado y curado. Sin embargo, ni todos los hormigones satisfacen estas condiciones y, por lo tanto, los selladores de superficie pueden ayudar a mejorar su durabilidad.

Los compuestos selladores formadores de película permanecen sobre la superficie y sólo una pequeña cantidad de material penetra en el hormigón. Su estructura molecular relativamente grande es lo que limita su capacidad para penetrar en la superficie. Su disolución en solventes no va a aumentar su capacidad de penetración. Estos materiales no sólo reducen la penetración del agua sino también protegen el hormigón contra productos químicos agresivos y previenen la absorción de grasa y aceite, e incluso reducen la formación de polvo bajo el tráfico de peatones.



Los selladores consisten en resinas acrílicas, hules coloreados, uretanos, epoxies y alfa metil estireno. La eficiencia de los selladores formadores de película depende de la continuidad de la camada formada. El tráfico pesado puede dañar la camada, siendo necesario reaplicar el material. Es necesario consultar las recomendaciones de aplicación de los productores, porque algunos de estos materiales se indican sólo para el uso en áreas internas y pueden amarillearse y deteriorarse si son expuestos a los rayos ultravioleta.

El sellador penetrante que se usa más extensivamente desde hace muchos años es una mezcla de 50% de linaza hervida y 50% de alcohol mineral (AASHTO M 233). Esta mezcla es eficiente, pero tiene dos desventajas: oscurece el hormigón y se hace necesaria su re aplicación periódica para una protección por un largo periodo.

La nueva generación de selladores penetrantes repelentes al agua tiene un tamaño molecular bien pequeño, que permite la penetración y la saturación del concreto hasta una profundidad de 3 mm. Los dos compuestos más comunes son el silane y el siloxane, los cuales derivan de la familia del silicón. Estos selladores permiten que el concreto respire, previniendo el aumento de la presión de vapor entre el concreto y el sellador, que puede ocurrir en materiales formadores de película. Como el sellador está embebido en el hormigón, tornándolo más resistente a las fuerzas abrasivas o a la deterioración ultravioleta, su protección puede durar por más tiempo que los selladores formadores de película. Sin embargo, se recomienda su reaplicación periódica. En regiones costeras o muy frías, los silanes y los siloxanes son populares para la protección de tableros de puentes y otras estructuras externas contra la corrosión de la armadura, causada por la infiltración de los cloruros de los descongelantes o rociado del agua del mar.

La aplicación de cualquier sellador se debe hacer sólo en el hormigón limpio y se lo debe dejar secar por lo mínimo 24 horas a temperaturas mayores que 16°C. Un período de 28 días debe pasar antes que se aplique un sellador sobre una superficie de hormigón nuevo, pues los selladores penetrantes no pueden llenar los vacíos de la superficie si ya están llenos de agua. Se hace necesaria una reparación de la superficie, si el hormigón es viejo y sucio. El hormigón colocado a final del otoño no se debe sellar hasta la primavera, porque el sellador puede hacer que el hormigón retenga agua, aumentando los daños por congelación-deshielo.

Las precauciones presentadas anteriormente acerca del uso de solventes volátiles en compuestos de curado también se aplican a los compuestos selladores. La eficiencia de los selladores a base de agua aún está siendo estudiada. La resistencia al descascaramiento proporcionada por los selladores se debe determinar a través de los criterios de la ASTM C 672. Para más informaciones sobre compuestos selladores, es posible consultar la AASHTO M 224, ACI comité 330 y ACI Comité 362.

BIBLIOGRAFIA DE CONSULTA

- ACI Committee 305, Hot-Weather Concreting (Colorado Clima Caluroso), ACI 305R-99, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1999, 17 páginas.
- ACI Committee 306, Cold-Weather Concreting (Colorado Clima Frío), ACI 306R-88, Reapproved 1997, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997.



- ACI Committee 308, Standard Practice for Curing Concrete (Práctica Estándar para el Curado del Concreto), ACI 308-9_ Reaprobado en 1997, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997, 11 páginas.
- ACI Committee 330, Guide for Design and Construction Concrete Parking Lots (Guía para el Diseño y la Construcción de Lotes de Aparcamiento en Concreto), ACI 330R-92, Reaprobada en 1997, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997, 27 páginas.
- ACI Committee 362, Guide for the Design of Durable Park Structures (Guía para el Diseño de Estructuras de Aparcamiento Durables), ACI 362.1R-97, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 1997, 40 páginas.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LOS REGLAMENTOS NACIONALES DE SEGURIDAD DE OBRAS CIVILES. 1982. Reglamento CIRSOC 201. Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de hormigón armado. INTI Editor. 1 y 2. Buenos Aires.
- Kumar Metha, P. Monteiro, P. Concreto. Microestructura, Propiedades e Materiais. Editora IBRACON. 2008.
- Neville, A.M. Brooks, J.J. Tecnología del Concreto. Editorial Trillas. 1998.