Cemento

Guía para el curado del hormigón

1. ¿Qué es el curado del hormigón?
2. ¿Cuál es la importancia de la humedad y temperatura del hormigón durante el curado?
3. ¿Cuáles son las principales características que debe tener un adecuado curado?
4. ¿Es siempre necesario el curado en el hormigón?
5. ¿Cómo afecta el curado en la resistencia y durabilidad del hormigón?
6. ¿Cuándo debe comenzar el curado del hormigón?
7. ¿Cómo estimar si las condiciones ambientales están produciendo evaporación excesiva del agua en el hormigón fresco?
8. ¿Cuáles son los diferentes métodos de curado? ¿Cuál es el más adecuado para mi obra?
9. ¿Se deben tener precauciones especiales en el curado durante tiempo frío?
10. ¿Cuánto tiempo debe durar el curado del hormigón?
11. ¿Cuándo se utiliza el curado a vapor?
12. ¿Cómo se evalúan los diferentes procedimientos con membrana de curado?
13. ¿En qué difieren los compuestos formadores de membrana en base acuosa de los que poseen una base solvente?
14. Anexo 1. Ejemplo determinación de la tasa de evaporación superficial.

1.- ¿Qué es el curado del hormigón?
El curado consiste en propiciar y mantener un ambiente de apropiada temperatura y contenido de humedad en el hormigón recién colocado, de modo que éste desarrolle el potencial de las propiedades que se esperan de él. Un hormigón curado adecuadamente alcanzará su máxima resistencia y durabilidad, será más impermeable y tendrá menor riesgo de fisuración.
Volver

2.-¿Cuál es la importancia de la humedad y temperatura del hormigón durante el curado?
La humedad. Garantizar un contenido mínimo de humedad en el hormigón durante el período de curado es fundamental en el desarrollo de su estructura. Algunas investigaciones han comprobado que, por ejemplo, la resistencia se ve seriamente comprometida cuando la humedad relativa del hormigón es inferior a 80%. Por ello, el curado debe prevenir durante las primeras edades la evaporación del agua superficial, manteniendo el hormigón en una condición saturada o cercana a ella. Sin embargo, en ciertos casos mantener el contenido de humedad en el hormigón no es suficiente. Se ha comprobado que en hormigones de baja relación agua-cemento (menor a 0.40) no sólo se debe evitar la evaporación de agua superficial, sino se requiere además proveer cantidades adicionales de agua de modo de asegurar la hidratación del cemento. Es fundamental tener presente que el curado afectará especialmente la primera capa del elemento, probablemente los primeros centímetros de profundidad. Su importancia radica en que justamente esta parte del elemento es la expuesta a evaporación y cambios de humedad, fisuración por retracción plástica, acción de la intemperie, abrasión (desgaste), ataque de químicos y carbonatación, y a su vez esta misma zona es la que debe proveer de impermeabilidad al hormigón y protección a sus armaduras.

La temperatura.
Aunque dentro del curado su papel es de menor incidencia que el contenido de humedad, mantener la temperatura del hormigón en valores cercanos a 20•C (en todo caso superiores a 10• C e inferiores a 30•C) permite que la tasa de desarrollo de resistencia permanezca en niveles normales. La temperatura del hormigón puede influir además en la pérdida de humedad superficial, dado que diferencias térmicas entre el elemento y el ambiente pueden aumentar la tasa de evaporación.
Volver

3.- ¿Cuáles son las principales características que debe tener un adecuado curado?

Básicamente tres:

a) Contenido suficiente de humedad, para evitar retracción por secado y permitir una adecuada hidratación del cemento.
b) Temperatura favorable (cercana a 20•C), de modo que la hidratación del cemento se desarrolle a una tasa adecuada.
c) Prontitud, dado que el curado del hormigón es fundamental en las primeras edades y debe comenzar en cuanto sea posible.
Volver

4.-¿Es siempre necesario el curado en el hormigón?

Sí. Para obtener un producto de calidad siempre será necesario curar adecuadamente el hormigón. En obra generalmente deberán tomarse medidas para garantizar el curado, y sólo en condiciones excepcionalmente favorables de temperatura y humedad estas medidas pueden no ser requeridas (curado al aire h‟medo). A menos que las especificaciones del proyecto indiquen otra cosa, los métodos naturales de curado como lluvia, neblina y en general exposición a un ambiente de alta humedad y moderadas temperaturas (en todo caso superiores a 10•C e inferiores a 30•C), proporcionarán un curado adecuado cuando su efecto sea al menos equivalente a conservar h‟medo el hormigón durante 5 días para elementos fabricados con cemento grado alta resistencia (Melón Extra) y 7 días con cemento grado resistencia corriente (Melón Especial).
Volver

5.- ¿Cómo afecta el curado en la resistencia y durabilidad del hormigón?

Tanto en terreno como en laboratorio se ha comprobado que un curado deficiente disminuye la resistencia y la durabilidad del hormigón. Varios estudios muestran que probetas sin curar pueden registrar disminuciones de resistencia a compresión a 28 días de edad de hasta un 40% con respecto a probetas curadas adecuadamente. También se ha determinado que mientras mayor es el retraso en el inicio del curado mayor será la pérdida de resistencia, observándose, por ejemplo, que probetas curadas a partir del tercer día de edad alcanzan sólo un 85% de su resistencia potencial. Aunque a‟n no existe una conclusión clara al respecto, la pérdida de resistencia a 28 días de edad por efecto del curado parece estar relacionada directamente con las condiciones de humedad de los tres primeros días y en menor medida con la temperatura. Se debe tener presente que la resistencia a la flexotracción es mucho más sensible a las condiciones de curado y contenido de humedad de las probetas al momento del ensayo que en el caso de la compresión. El efecto sobre la durabilidad del hormigón es más difícil de cuantificar, pero no menos importante. Un curado inadecuado favorece la formación de fisuras y disminuye la impermeabilidad, la resistencia a la intemperie, al desgaste y al ataque de químicos. No siempre es posible determinar el grado de eficiencia del curado en la durabilidad, puesto que las condiciones atmosféricas juegan un papel muy importante en dicho proceso. Mientras que en épocas lluviosas o h‟medas se requiere relativamente poco esfuerzo para obtener un buen curado, en condiciones de poca humedad y alta temperatura se deben tomar medidas especiales para evitar pérdidas excesivas de agua en el hormigón.
Volver

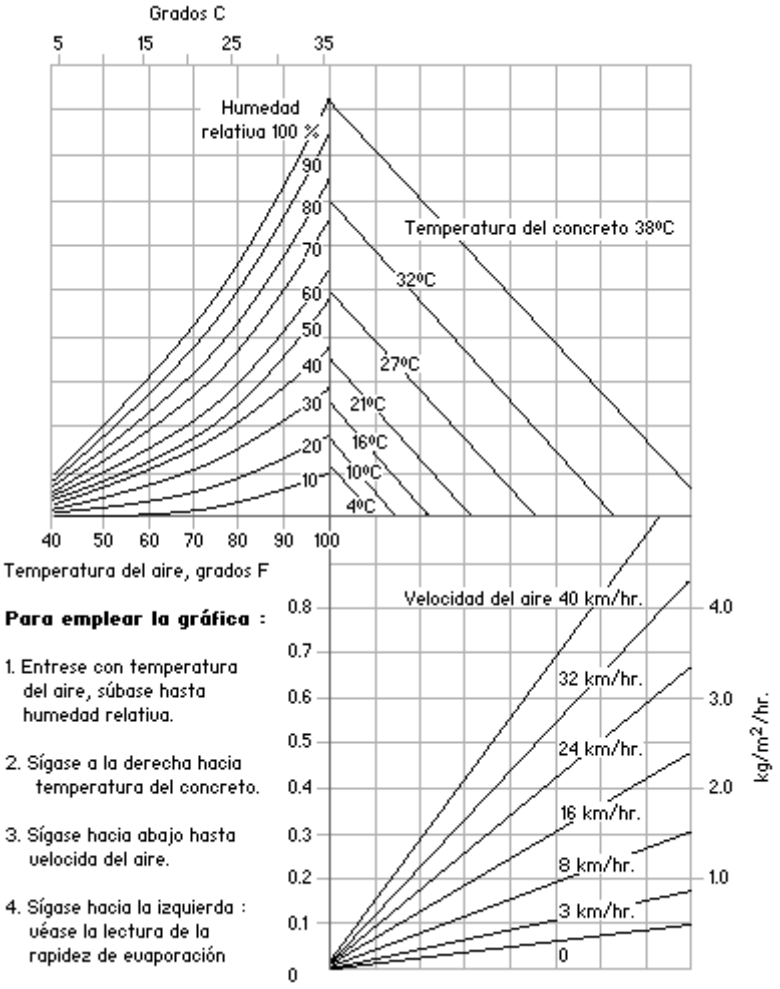
6.- ¿Cuándo debe comenzar el curado del hormigón?

El curado debe comenzar lo antes posible, es decir, tan pronto como el procedimiento elegido de curado no dañe al hormigón. Mientras que con algunos procedimientos, como el uso de compuestos formadores de membrana, el curado puede comenzar inmediatamente luego de la terminación superficial, con otros métodos como el uso de películas de polietileno, será necesario esperar el desarrollo de cierta resistencia de modo de no dañar la superficie del hormigón.
Volver

7.- ¿Cómo estimar si las condiciones ambientales están produciendo evaporación excesiva del agua en el hormigón fresco?

La evaporación del agua superficial en el hormigón depende principalmente de la humedad relativa del aire, la temperatura del hormigón, la velocidad del viento y la temperatura ambiente. Una combinación desfavorable de estas variables puede incrementar fuertemente

la tasa de evaporación superficial, lo que aumenta el riesgo de fisuración por retracción plástica y en general puede afectar la durabilidad del hormigón. En tal caso, se deben tomar medidas adicionales a las del curado normal, de modo de proteger las superficies de las pérdidas excesivas de humedad. Para estimar la tasa de evaporación del hormigón se puede utilizar el gráfico de la Figura No. 1:



Seg"n el gráfico la tasa de evaporación se puede estimar seguiendo los siguientes pasos:a) Ingrese con la temperatura del aire, medida a pocos centímetros de la superficie de hormigón.
b) En línea recta avance hasta la humedad relativa del aire.
c) Avance a la derecha hasta ubicarse sobre la temperatura del hormigón (durante la colocación).
d) Luego baje hasta posicionarse sobre la velocidad del viento.
e) Finalmente, determine a su izquierda la tasa o rapidez de evaporación superficial del agua. Si la tasa de evaporación es mayor que 1.0 kg/m^2/hora necesariamente se deben tomar precauciones adicionales al curado para evitar el agrietamiento por retracción plástica. Si la tasa es superior a 0.5 kg/m^2/hora se deberá evaluar criteriosamente si estas medidas deben ser implementadas. Estas acciones adicionales al curado se refieren a la implementación de medidas destinadas a disminuir la tasa de evaporación a través de las variables que se pueden manejar en forma práctica y económica en obra, como la velocidad del viento y la temperatura del hormigón. Medidas usuales y generalmente efectivas son:a) Precurado. Humedecimiento continuo y completo de la superficie del hormigón recién colocado, desde el término del brillo superficial del elemento hasta el inicio del método final de curado (por ejemplo, compuesto formador de membrana, nebulización, etc).
b) Protección contra el viento. Uso de cierros estáticos o móviles alrededor de los elementos.
c) Disminución de la radiación y temperatura superficial. Uso de techos reflectantes.
d) Disminución de la temperatura de fabricación, transporte y colocación del hormigón. Mantención de áridos h"medos y/o tapados; uso de equipos (betoneras, plantas, tuberías) y materiales (agua y cemento) con baja temperatura; y disminución de tiempos de transporte, colocación y exposición del hormigón a la intemperie.

Volver

8.-¿Cuáles son los diferentes métodos de curado? ¿Cuál es el más adecuado para mi obra?

Hoy en día existen diversos métodos, procedimientos y materiales para el curado, sin embargo, el principio es el mismo: garantizar un contenido satisfactorio de humedad y temperatura para que se desarrollen las propiedades deseadas en el hormigón. Los sistemas de curado se pueden dividir en dos grandes grupos:

a) Curado con agua. Continua o frecuente aplicación de agua por inundación, nebulización, vapor o materiales saturados (como sacos de arpillera, arena h‟meda, etc.).
b) Materiales sellantes. Evitan la pérdida excesiva de agua superficial mediante películas protectoras como polietileno o papel, o bien, mediante la aplicación de compuestos de curado formadores de membrana sobre el hormigón recién colocado.

A. Curado con Agua: El agua sigue siendo el método más efectivo de curado. Sin embargo, cuando se opta por este método deben considerarse los aspectos económicos del procedimiento, puesto que la disponibilidad de agua, mano de obra y materiales influirán en los costos. Cualquiera sea el método elegido de curado con agua, éste debe proporcionar una cubierta completa y continua de agua libre de componentes que puedan dañar la pasta de cemento. Si el aspecto del hormigón es un factor relevante, el agua además debe estar libre de materiales que manchen o decoloren el hormigón. Se deben evitar los choques térmicos o fuertes gradientes de temperatura por el empleo de agua fría sobre el hormigón.

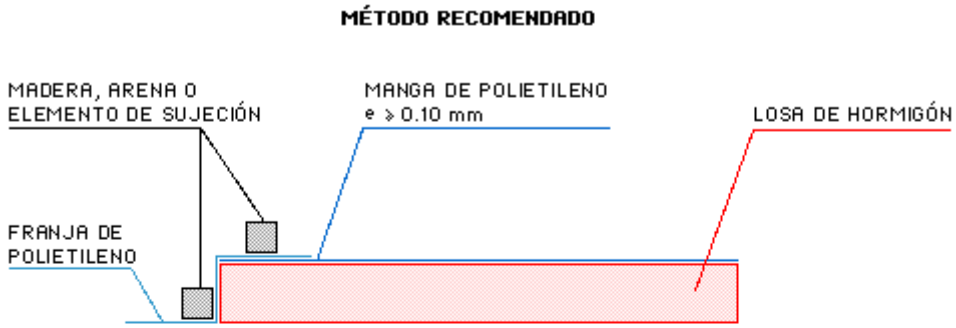
A.1. Inundación o inmersión.
Aunque cada vez es menos frecuente, el método más eficiente de curado con agua es la inundación o inmersión total del hormigón. La inundación se puede emplear en losas de piso, pavimentos, techos planos, y en cualquier superficie donde es posible retener el agua o donde exista una corriente continua de agua. Es importante evitar la pérdida prematura o s‟bita del agua. Además, si el agua de curado está muy fría respecto del hormigón se puede producir un choque térmico, que puede generar agrietamiento. Para evitar esto, el agua no debe estar más fría que el hormigón en 10• C.

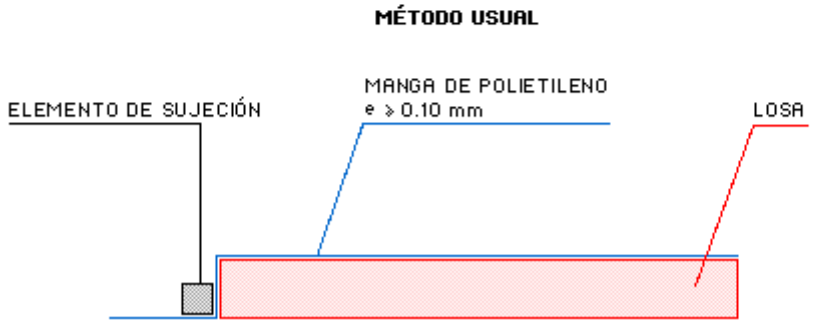
A.2. Nebulización o rocío.
En general, la nebulización es un buen método de curado cuando la temperatura ambiente es superior a unos 10•C. Los regadores de jardín son muy efectivos cuando no hay que preocuparse por el costo del agua. El rociado debe ser continuo y debe evitarse la intermitencia. El rocío con mangueras es ‟til en superficies verticales, aunque se debe evitar la erosión superficial.

A.3. Cubiertas de material absorbente.
Sacos, arpilleras, mantas de algodón, alfombras y otras cubiertas absorbentes también resultan ‟tiles en la retención del agua superficial del hormigón. Estos materiales deben estar libres de sustancias que dañen y decoloren el hormigón, como az‟car o fertilizantes (se recomienda lavarlos antes de su uso, haciéndolos además más absorbentes). Debe considerarse que mientras más pesado el saco, más agua retendrá y será necesario mojarlo con menor frecuencia. Es conveniente colocar los sacos traslapados, proporcionando mejor retención de humedad y estabilidad contra el viento o lluvia. Deben tomarse medidas para evitar la putrefacción y la acción del fuego.

A.4. Arena y aserrín.
Aunque prácticamente ya no se utilizan, la arena, el aserrín e incluso tierra h‟meda se han usado con éxito en el curado de losas y pisos de obras pequeñas. Los materiales no deben contener cantidades peligrosas de materia orgánica u otra que pueda dañar el hormigón (el aserrín, por ejemplo, puede contener cantidades excesivas de ácido tánico y en este caso no debe usarse). La arena y el aserrín son especialmente ‟tiles para proteger además las superficies contra la erosión y manchas cuando el personal de obra debe trabajar sobre ellas. B. Materiales sellantes. Los materiales sellantes son hojas o membranas colocadas sobre el hormigón que reducen la pérdida de agua por evaporación. Su uso tiene ventajas que los hacen preferibles en una gran cantidad de casos, siendo una de las principales el menor riesgo que el hormigón se seque por un descuido en el mantenimiento de la humedad. Asimismo, son materiales de fácil manejo y pueden aplicarse antes que los métodos con agua. Son especialmente ‟tiles en losas y elementos masivos en regiones áridas.

B.1. Películas plásticas.
Como la mayoría de los sistemas de curado, bien utilizadas las películas plásticas son un buen método de curado. Tienen la ventaja de ser livianas y fáciles de colocar. La película debe poseer un espesor superior a 0.10 mm. En climas soleados es recomendable el uso de películas que reflejen los rayos solares (blancas), mientras en climas fríos o espacios interiores son recomendables películas de color negro (deben evitarse en climas cálidos). Se deben colocar sobre la superficie h"meda del hormigón lo antes posible, sin producirle daño y cubriendo todas las partes expuestas. Deben quedar bien sujetas, manteniéndose en contacto con la superficie durante el tiempo de curado y deben ser protegidas del deterioro. En superficies planas, como losas y pavimentos, la película debe extenderse más allá de sus bordes una distancia de al menos el doble del espesor del elemento. El plástico debe ser colocado en forma plana y sin arrugas sobre la superficie, para minimizar la decoloración del hormigón (una buena práctica es colocar tiras de plástico a lo largo de los bordes verticales sobre la hoja superficial, asegurándolos con arena o madera, lo que permite quitar fácilmente la cubierta plástica luego del curado y evitando daños por rotura o dobleces (vea Figura No. 2). Las películas plásticas no se recomiendan cuando la apariencia del hormigón es importante, ya que pueden manchar las superficies.





B.2. Compuestos líquidos formadores de membrana de curado.

Estos productos act"an sobre el hormigón formando una membrana o película destinada a evitar la evaporación superficial, proporcionando condiciones adecuadas de curado. Los compuestos consisten principalmente en ceras, resinas naturales o sintéticas y solventes de gran volatilidad, y no deben ser dañinos a la pasta de cemento. Algunos de ellos incorporan pigmentos blancos o grises para el reflejo de la radiación y/o hacer visible su aplicación en el hormigón. Existen compuestos de curado que disminuyen la adherencia al hormigón, y en tal caso no deben emplearse en superficies que van a ser revestidas (pintura, cerámica, mortero, capas adicionales de hormigón, etc.), a menos que puedan ser retirados efectivamente. El uso de estos compuestos exige adecuada ventilación y precauciones de seguridad. Usualmente, los compuestos formadores de membrana se aplican en dosis que varían de 0.20 a 0.25 litros/m^2 (rendimiento de 4.0 a 5.0 m^2/litro). Idealmente, el compuesto se debe aplicar en capas perpendiculares sobre la superficie para asegurar una cobertura total. Sobre superficies muy texturizadas, como la de algunos pavimentos, pueden ser necesarias dos o más aplicaciones (esperando que la primera se haga pegajosa antes de aplicar la segunda). Normalmente los compuestos de curado se aplican con bomba manual, aunque en áreas pequeñas, como el caso de reparaciones, el compuesto puede aplicarse con brocha o rodillo. Dado que la membrana de curado puede influir en la textura y color del hormigón, se debe considerar su efecto sobre las superficies expuestas.

Para obtener máxima protección, los compuestos se deben aplicar después de la terminación y tan pronto como desaparezca el agua de exudación superficial (cuando ya no se aprecie el brillo del agua, pero antes que el compuesto pueda ser absorbido por el hormigón). Si la tasa de evaporación excede 1.0 kg/m^2/hora (ver Figura No. 1), es posible que a‟n exista exudación aunque el brillo de agua haya desaparecido, por lo que en este caso deben tomarse medidas especiales. Cuando el compuesto se aplica sobre una superficie de aspecto seco, se pueden presentar los siguientes problemas:

a) La evaporación puede ser efectivamente detenida, pero puede continuar la exudación propiciando la formación de una capa de agua entre la superficie y la membrana, condición que favorece la escamación del hormigón.
b) La evaporación puede ser detenida temporalmente, pero la exudación continuará propiciando el agrietamiento de la película de membrana en forma de mapa, lo que requiere de una nueva aplicación del compuesto de curado.

Al igual que las películas plásticas, cualquier filtración que tenga lugar en los bordes o a través de pequeños agujeros reducirá la eficiencia de la membrana de curado, lo que puede suceder cuando la aplicación no es uniforme o no se hace con la rapidez apropiada. La pérdida de humedad a través de puntos delgados o no cubiertos reduce la eficiencia del curado.

Se debe tener presente que por su funcionamiento los compuestos formadores de membrana evitan el intercambio de humedad con la intemperie. Por ello, muchas recomendaciones indican que en hormigones de baja relación A/C (menor a 0.40) se debe evitar su uso, ya que en estos casos no sólo se debe mantener el contenido de humedad, sino además se requiere el ingreso de agua adicional para asegurar la hidratación del cemento.
Volver

9.-¿Cuándo se utiliza el curado a vapor?

Sí. Para ello consulte nuestro WebTips Hormigonado en Tiempo Frío.
Volver

10.-¿Cuánto tiempo debe durar el curado del hormigón?

El plazo de curado dependerá principalmente del método elegido, del tipo de cemento, del tamaño y forma del elemento y las condiciones ambientales. Sin embargo, en ausencia de especificaciones particulares del proyecto, se deben considerar las siguientes recomendaciones de buena práctica:

Pavimentos.
Cuando la temperatura ambiente supere los 5•C, el período mínimo de curado será, para cualquier procedimiento, el menor entre 7 días o el plazo necesario para alcanzar un 70% de la resistencia especificada (compresión o flexión). Para temperaturas menores a 5• C deben tomarse precauciones adicionales, seg‟n lo recomendado en nuestro WebTips Hormigonado en Tiempo Frío.

Estructuras y edificios.
Cuando la temperatura ambiente supere los 5•C, el curado debe ser continuo durante el menor período entre 7 días o el necesario para alcanzar un 70% de la resistencia especificada. Para temperaturas menores a 5•C deben tomarse precauciones adicionales. En elementos estructurales de alta resistencia (sobre unos 500 kg/cm^2 a compresión), puede ser necesario aumentar el período de curado a plazos incluso superiores a 28 días.

El método usual de curado es a través de compuestos formadores de membrana. Sin embargo, algunas recomendaciones técnicas, como las indicadas en ACI 308 Standard Practice for Curing Concrete, no recomiendan su uso en hormigones de relación A/C menores a 0.40.

Concreto masivo.
En hormigones masivos el método más eficiente de curado es el agua, recurriendo por ejemplo a la nebulización, telas o arenas saturadas. El uso de compuestos formadores de membrana requiere de consideraciones especiales, como evaluar su efecto en la adherencia

en juntas de construcción. En hormigones masivos el curado debe comenzar tan pronto como la superficie esté suficientemente endurecida y no sufra daños. En elementos masivos sin refuerzo y fabricados con cementos puzolánicos (cementos Melón Especial y Melón Extra), el tiempo mínimo de curado debe ser superior a tres semanas, mientras que en secciones altamente reforzadas el curado debe ser continuo durante un mínimo de 7 días.

Hormigón proyectado.
El hormigón proyectado (o shotcrete) se coloca generalmente en capas delgadas y posee superficies ásperas. Las superficies deben mantenerse mojadas continuamente por al menos 7 días. El curado con membrana es recomendable cuando no se van a aplicar capas posteriores de hormigón o pintura, y cuando el aspecto resultante es satisfactorio. Debido a su textura superficial, el compuesto para formar membrana se debe aplicar en cantidades mayores a las usuales.

Tipo de cemento.
La duración del curado dependerá directamente del tipo de cemento usado. En la mayoría de las aplicaciones, y a menos que las especificaciones técnicas indiquen lo contrario, un criterio adecuado para determinar el período mínimo de curado es el plazo necesario para alcanzar un 70% de la resistencia especificada. En la mayoría de los casos este plazo será de 7 días para el cemento Melón Especial (grado resistencia corriente) y 5 días para el cemento Melón Extra (grado alta resistencia). En ning"n caso, exceptuando curado a vapor, estos plazos deben ser inferiores a 5 y 3 días, respectivamente
Volver

11.-¿Cuándo se utiliza el curado a vapor?

El curado a vapor se utiliza en elementos de hormigón donde se desea un desarrollo temprano de resistencia a través de un curado acelerado, con el fin de obtener una reutilización económica de moldajes, espacios de fabricación u otras consideraciones de operación. Este método generalmente es usado en elementos prefabricados y debido a sus características especiales será materia de otro WebTips.
Volver

12.-¿Cómo se eval"an los diferentes procedimientos con membrana de curado?

El método usado para medir la eficiencia de retención del agua de los compuestos formadores de membrana es la norma americana ASTM C 156 Water Retention by Concrete Curing Materials.

Volver

13.- ¿En qué difieren los compuestos formadores de membrana en base acuosa de los que poseen una base solvente?

Compuestos formadores de curado emulsionados en base acuosa: ˆ Estos compuestos en general son más económicos.
ˆ Son solubles en agua.
ˆ No contienen solventes volátiles.
ˆ Se evaporan con relativa facilidad.
ˆ Su uso se recomienda en recintos cerrados o en condiciones de baja tasa de evaporación (temperaturas moderadas, baja velocidad del viento, alta humedad relativa) o cuando se desee evitar los vapores provenientes de los solventes.
ˆ Debido a su solubilidad en agua, se recomiendan en superficies que van a ser revestidas (cerámicos, pinturas, hormigón, etc.).
ˆ Se utilizan normalmente en dosis de 0.20 kg/m^2.
ˆ Se debe tener precaución en zonas ambientales exigentes de evaporación, ya que el tiempo de formación de membrana es en general muy superior a la de compuesto con base solvente. Compuestos formadores de curado de resina en base solventes:

ˆ Estos compuestos son de mayor costo que los emulsionados.
ˆ No son solubles en agua.
ˆ Contienen solventes volátiles.
ˆ No se evaporan con facilidad.
ˆ Su uso se recomienda en condiciones exigentes de evaporación.

ˆ Debido a su insolubilidad en agua, deben ser removidas por medios mecánicos en superficies que van a ser revestidas (escobillado, arenado, etc.).
ˆ Se utilizan normalmente en dosis de 0.20 kg/m^2.
ˆ El tiempo de formación de membrana es inferior a la de compuestos con base emulsión.
ˆ Son de mayor toxicidad que las emulsiones.
ˆ Son inflamables.
Volver

14.-Anexo 1. Ejemplo determinación de la tasa de evaporación superficial.

Dada las siguientes condiciones ambientales de verano, determine la tasa de evaporación superficial del hormigón.

Estime si es necesario tomar precauciones adicionales de protección para el curado:
Temperatura del aire:

30•C.
Humedad relativa:60%.
Temperatura del hormigón:27•C (al momento de la colocación).
Velocidad del viento:24 km/hora.

Utilizando la Figura No. 1 determinamos que la tasa de evaporación es aproximadamente 0.5 kg/m^2/hr. Por lo tanto, es prudente considerar la implementación de medidas adicionales al curado, como protección contra el viento, radiación y temperatura, y disminución de temperatura del hormigón durante fabricación, transporte y colocación. Si la tasa de evaporación superara 1.0 kg/m^2/hr las medidas deben ser necesariamente implementadas.

>Volver a Temas Disponibles