Soluciones prácticas para la protección y curado del hormigón

Ms. Ing. Maximiliano Segerer
Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdhormigones.com.ar

Las tareas de protección y curado lamentablemente son olvidadas y subestimadas en una gran cantidad de obras, lo cual trae consecuencias muy relevantes en lo que concierne a la durabilidad futura de la obra y a su seguridad y aptitud. Muchas veces se cree que el curado del hormigón "sólo consiste en aportarle agua" y que sirve para darle un plus al hormigón o "mejorar sus propiedades". Además, existe un desconocimiento sobre el término "protección del hormigón", que en muchos casos se confunde con el curado. El período de protección del hormigón fresco es aquel anterior o simultáneo al período de curado, tal como se define a continuación:

- Protección del hormigón: brindarle condiciones propicias durante la colocación y sus primeras horas. Fundamentalmente debe procurarse evitar una pérdida de *performance* del hormigón, antes y durante su fragüe, que se verá traducida luego en defectos en el hormigón endurecido; evitar las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa, lluvia, viento, nieve, congelación) y ciertas acciones (sobrecargas, movimientos de encofrados, fuego, vibraciones, sustancias agresivas, agua en movimiento) que puedan llegar a fisurar o degradar el hormigón o alterar el normal desarrollo de las reacciones de hidratación.

- Curado del hormigón: brindar al hormigón de las estructuras condiciones adecuadas de humedad (evitar toda pérdida de agua del hormigón) y temperatura, para que se desarrollen normalmente las reacciones de hidratación al hormigón endurecido durante cierto período y que el hormigón de la estructura alcance la *performance* (resistencia, durabilidad, resistencia al desgaste, etc.) requerida en el proyecto. El curado se debe realizar en todas las estructuras, con independencia de la clase de hormigón y el tipo de obra.

1. Protección del hormigón en sus primeras horas

Inmediatamente después de su colocación, el hormigón debe ser protegido, durante el período en el que permanece en estado plástico y en sus edades tempranas, contra las acciones que pudieran agredirlo. Las protecciones que al efecto se materialicen deben permanecer hasta tanto el hormigón adquiera la resistencia suficiente, para no ser afectado por esas agresiones. El hormigón debe ser especialmente protegido de los efectos que a continuación se detallan, pudiendo –de lo contrario– aparecer defectos en el hormigón (Figura 1).

- Secado prematuro por la acción del sol, baja humedad relativa y del viento: en el caso de estructuras con grandes superficies no encofradas y expuestas, como losas, pisos y pavimentos. Las medidas de protección a aplicar son las que se describieron en "Hormigonado en tiempo caluroso"; entre ellas, crear una niebla de agua sobre la losa inmediatamente después de la colocación y antes del acabado y curado, aplicar películas para retener la humedad, como membranas en base solventada, o proteger el hormigón con láminas de polietileno cuando no interese el acabado superficial. Asimismo, pueden tomarse medidas para que efectos climáticos como viento y asoleamiento no sequen prematuramente la superficie, mediante toldos, cortavientos u otros métodos.

- Secado prematuro por acción de la circulación del aire: particularmente en túneles, conductos, galerías y estructuras similares, donde debe evitarse la circulación de aire por su interior, manteniéndolos cerrados durante el mayor tiempo posible.

- Contacto directo con lluvia y/o nieve: ciertas lluvias muy finas suelen no perjudicar los elementos de hormigón en general ni los encofrados, como tabiques y columnas. Si hay lluvias de mayor intensidad, en el caso de losas o pisos es recomendable contar con cubiertas plásticas para prevenir el lavado de la capa superficial, que será la que resistirá el desgaste (por ejemplo, en pavimentos).

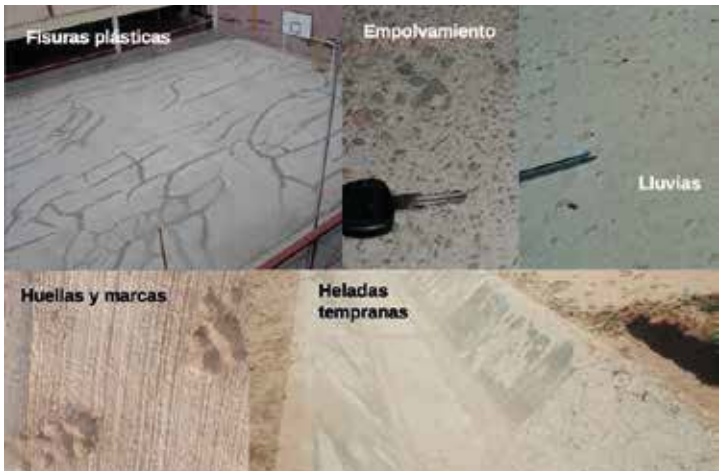
- Aguas, líquidos, suelos o sustancias agresivas para el hormigón que puedan existir en el lugar de emplazamiento de la estructura: los fluidos se deberán conducir momentáneamente hasta que concluya el período de curado y que el hormigón posea la resistencia y compacidad necesarias para no ser atacado.

- Acciones mecánicas, oscilaciones, vibraciones o sobrecargas: deberán ser evitadas hasta lograr la resistencia requerida. Ejemplos de ello son la habilitación muy temprana de pisos y pavimentos o la remoción antes de tiempo de puntales en elementos sometidos a flexión.

- Acción de temperaturas extremas: tal como se analizó en los números pasados de *Hormigonar*, en los artículos relacionados con "Hormigonado en tiempo caluroso" y "Hormigonado en tiempo frío", el aspecto más relevante es proteger el hormigón de temperaturas de congelación durante las primeras 48-72 horas.

- Acción de transeúntes, vehículos, animales, escrituras sobre el hormigón y otras similares: se debe señalizar el área para reducir la probabilidad de ocurrencia mediante un vallado, al menos durante el primer día.

F1 **Defectos asociados a una pobre protección en sus primeras horas**



2. Métodos de curado convencionales

El curado se debe iniciar tan pronto el hormigón haya endurecido lo suficiente como para que su superficie no resulte afectada por el método de curado elegido. Cuando el hormigonado se realice en condiciones medioambientales que puedan afectar el hormigón, éste deberá ser convenientemente protegido hasta que se inicie el curado. Por ello, existen algunos casos en los cuales el método de protección aplicado en estado fresco también actúa como medio de curado, como ser las membranas de curado en base solventada y las láminas plásticas. Ambos métodos son, quizás, los más versátiles en la actualidad, y bien aplicados previenen adecuadamente la pérdida de humedad en estado fresco y estado endurecido. Sin embargo, no previenen de la pérdida de temperatura en condiciones de tiempo frío. La temática de la protección del hormigón contra las bajas temperaturas fue abordada con varios ejemplos en el número anterior de *Hormigonar*.

Existe una gran cantidad de métodos de curado para evitar la pérdida de humedad, los cuales a veces se combinan; pero si son aplicados adecuadamente, con uno de ellos es suficiente. Debido al carácter tradicionalista de los constructores y, en algunos casos, de pliegos de especificaciones, en muchas circunstancias se aplica el curado con agua con el perímetro de bordos o diques. Desde el punto de vista teórico, el curado con agua es efectivo, pero desde los puntos de vista práctico, económico y ambiental, no lo es. Requiere una cantidad considerable de mano de obra y supervisión durante un tiempo próximo a una semana (que muchas veces no se cumple); a veces se emplea agua de calidad dudosa que puede traer defectos en el hormigón y desde el punto de vista ambiental se consumen recursos, como agua potable, que serían más útiles para otros fines.

Podemos citar un ejemplo muy habitual: el caso de las viviendas o losas convencionales, que casi con exclusividad son curadas por inundación. Cabe preguntarse: ¿los fines de semana y feriados se continúa el curado? ¿No existen fisuras que puedan filtrar agua a la parte inferior de la losa y aumentar las molestas eflorescencias? ¿El agua ha sido ensayada previamente? Si es agua potable, ¿no podría ser aprovechada con una finalidad mejor? Con todo »

ello, ¿por qué no curar con láminas plásticas reutilizables? Otro ejemplo que aún se observa es el curado de pavimentos con agua, que incrementa los recursos económicos a utilizar; la arena de los bordos dificulta la limpieza posterior del pavimento y ensucia las juntas, complicando las tareas posteriores; si se desea hormigonar carriles adyacentes a otros que están siendo curados con agua, no se podrán apoyar las reglas vibratorias e incomodarán notoriamente las técnicas constructivas. Como un último ejemplo, es sabido que el curado se realiza sobre las caras expuestas de los elementos de hormigón y éstas serán las que estén en contacto con ambientes agresivos y en una zona próxima a las armaduras (recubrimiento). Con lo cual, si se emplea agua no apta, ello puede dañar el hormigón en sus primeros días (debido a que es el momento que se presenta como más permeable) e impedir que alcance su vida útil. Esto no ocurre con los otros métodos de curado, ya que no ingresan al hormigón y son no invasivos. Por lo expuesto, si bien no niega que el curado con agua sea efectivo técnicamente, en la mayoría de los casos no es el más conveniente.

2.1. Encharcamiento o inmersión: consiste en formar bordos o diques de arena, y entre ellos inundar el área periódicamente (Figura 2), para que nunca quede la superficie sin humedad superficial, en un lapso acorde con lo que se indicará más adelante. El agua empleada debe cumplir con los requisitos de IRAM 1601. Este método no impide que el hormigón se fisure en estado fresco, debido a que en general se aplica cuando el hormigón "puede pisarse", es decir, ya finalizado el estado fresco y cuando las fisuras pueden haber aparecido. En ciertas estructuras masivas, es indispensable el curado por inundación durante un período prolongado, para que actúe como "amortiguador" de temperaturas entre el núcleo de las piezas masivas y la temperatura ambiente, reduciendo así el riesgo de fisuración por contracción térmica.

2.2. Rociado o aspersión: este método es similar al estudiado para la protección del hormigón en tiempo caluroso y consiste en pulverizar agua sobre las superficies. No existe una regla fija para determinar el número de riegos de elementos en el día, pero la superficie debe presentarse visualmente "más que húmeda". Es un método efectivo (escala de horas) para protección, pero demanda mucha mano de obra especializada para el período de curado (escala de días).

2.3. Riegos con agua: es uno de los métodos más empleados y poco eficaces si no existen controles periódicos. Los riegos deberían espaciarse para que la superficie de hormigón siempre se aprecie como húmeda.

F.2 **Curado por inundación en pavimentos y problemas asociados**



F.3 **Láminas plásticas para el curado del hormigón**



2.4. Coberturas húmedas: consiste en emplear cubiertas saturadas de agua, como la arpillera, la que debe ser enjuagada y saturada antes de la aplicación. Se deben aplicar cuando el hormigón ya no es erosionable. Se utilizan en todo tipo de elementos, que deben ser cubiertos por completo. Pueden decolorar las superficies.

2.5. Papeles impermeables: consisten en papeles o cartones comerciales de varias hojas, cementadas por material bituminoso reforzado con fibras como el papel kraft. En general, se lo humecede una vez y no necesita riegos periódicos. Son preferibles los colores claros para clima caluroso.

2.6. Láminas plásticas: las láminas de polietileno cada vez son más empleadas por su versatilidad, siendo un método muy efectivo de curado

(Figura 3). Es necesario aclarar que no protegen de las bajas temperaturas. Tienen peso reducido y se pueden adaptar a cualquier forma. Deben cubrir la totalidad del elemento y complementarse con riegos para columnas y tabiques; también deben ser aplicadas cuando no marquen el hormigón y procurar que no se circule sobre ellas para no dañarlas. No son recomendadas en pisos con terminaciones especiales, ya que pueden decolorar o formar el denominado "efecto invernadero" por condensaciones entre el plástico y la superficie llaneada. Deben solaparse al menos 40 cm y el espesor de las láminas debe ser de al menos 100 cm. Debe preverse que no se levanten con el viento, ya que éste deseca rápidamente la superficie del hormigón. Para sumar la protección de bajas temperaturas, puede usarse el "pluribol" (polietileno con burbujas para embalajes). Además, cabe destacar que es uno de los pocos métodos de curado reutilizables.

2.7. Encofrados dejados en el lugar: los encofrados dejados en su posición ofrecen una buena protección contra la pérdida de humedad, principalmente en tiempo caluroso. Las caras en los encofrados deben mantenerse húmedas, mediante riegos o rociado. Al desencofrar, si no se ha cumplido la edad indicada de períodos mínimos de curado, debe continuarse el curado con algún otro método descripto.

2.8. Membranas de curado: actualmente es uno de los métodos más empleados, pero en muchos casos no se tienen los cuidados requeridos para lograr su máxima efectividad. Su objeto es formar una membrana adherida a la superficie del hormigón y así impedir la pérdida de humedad (no protege de bajas temperaturas, ya que es tan pequeño su espesor que no puede ser aislante). Es un método práctico, que necesita poca mano de obra (aunque capacitada). No son aplicables los tiempos indicados de períodos mínimos de curado, ya que con la correcta aplicación impide la pérdida de humedad durante varias semanas (Figura 4). Respecto al momento de aplicación de las membranas de curado:

- En pavimentos, debe ser inmediatamente después de texturada la superficie, sin que exista una cantidad considerable de agua de exudación en superficie, pero antes de que se opaque (pérdida de brillo superficial).
- En pisos industriales, después de concluir el llaneado mecánico.

F.4 **Adecuada aplicación de membranas de curado**



F.5 **Incorrecta aplicación de membranas de curado**



- En tabiques, columnas y vigas, inmediatamente al desencofrar.

Nunca deben diluirse y se colocan mediante dispositivos apropiados que formen una película continua sobre el hormigón, debiendo destapar los picos de aplicación permanentemente; de lo contrario, las membranas no serán eficientes para retener el agua dentro del hormigón (Figura 5). No es recomendable su aplicación para elementos que luego recibirán algún revestimiento o tratamiento superficial, ya que deberá eliminarse mediante cepillado o arenado antes de aplicar el revestimiento. Conceptualmente, existen dos tipos de membranas químicas:

- Membranas en base acuosa: son aplicables cuando el hormigón ya se encuentra endurecido (pisos industriales, columnas, tabiques). Su dosis recomendada es de unos 0,2 l/m^2. Si bien son más económicas y tienen »

una gran cantidad de aplicaciones, en algunos casos son indispensables las membranas en base solventada; si existen condiciones de rápida evaporación de agua (viento, baja humedad y/o elevada temperatura), la membrana no podrá formarse de manera continua, debido a que el agua que constituye su base también se evaporará, perdiendo su efectividad.

› Membranas en base solventada: son indispensables para pavimentos, y más aún cuando existen condiciones de tiempo caluroso, ya que además brinda protección al hormigón fresco. Su aplicación debe ser rápida y adecuada, pudiendo optar por pulverizadores tipo fumigadores, ya que con las mochilas convencionales suelen taparse los picos, ser muy lentos y hacer ineficaz la doble finalidad de la membrana solventada: protección y curado. Su dosis media es del orden de 0,1 l/m^2. Si bien son más costosas, el consumo es cercano a la mitad que en el caso de membranas en base acuosa.

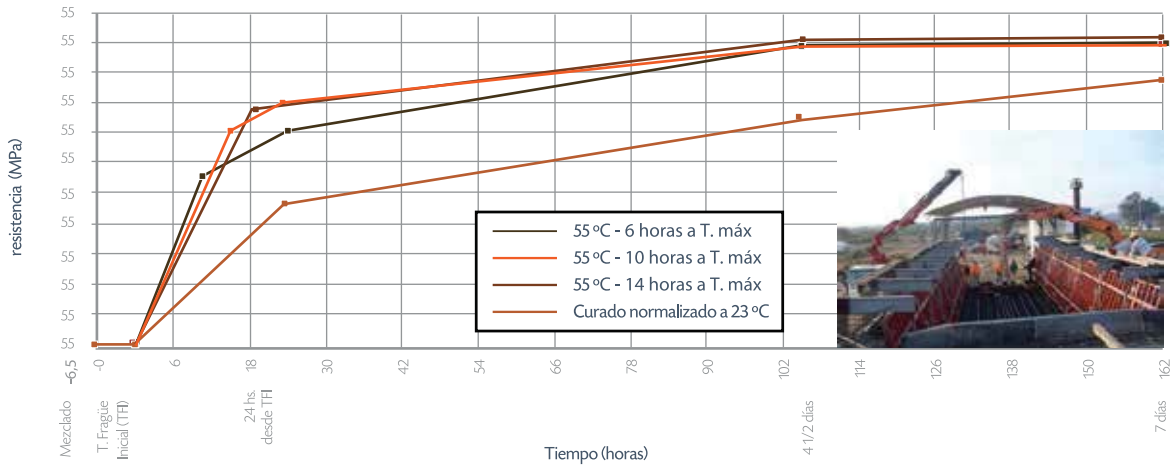
3. Períodos de curado para métodos convencionales

Como se mencionó en la definición, el concepto de curado involucra dos parámetros fundamentales: humedad y temperatura. Las primeras 48 a 72 horas, el hormigón generalmente se presenta con resistencias mecánicas bajas, aspecto que está condicionado directamente por la porosidad de la pasta cementicia. Es decir, los procesos de hidratación y endurecimiento son progresivos y van disminuyendo la porosidad con el tiempo, incrementando así la resistencia y durabilidad (reducción de la permeabilidad). Las formas para evitar la pérdida de humedad fueron estudiadas anteriormente, mientras que las prácticas corrientes para lograr temperaturas adecuadas para el desarrollo de las reacciones de hidratación se abordaron en el artículo "Hormigonado en tiempo frío".

Durante el período mínimo de curado, deben mantenerse las condiciones de humedad adecuadas; se considera suficiente cuando el hormigón de obra alcanza el 70% de la resistencia especificada. El tiempo mínimo de curado dependerá del material cementicio empleado, las proporciones de la mezcla, el tamaño y la forma de los elementos, la temperatura media ambiente y el sitio de exposición futuro (diseño por durabilidad). Los períodos varían entre tres días, para hormigones con cementos ARI, hasta algunas semanas, para estructuras masivas, como presas o plateas de fundación. Es muy relevante que el curado sea continuo, debiéndose tomar todas las medidas necesarias para que no se suspenda el curado en días feriados o no laborables.

Para los cementos más empleados en nuestro país –que son de categoría CP 40–, el período de curado reglamentario es de ocho días, excepto para ambientes no agresivos de exposición, en los que podría reducirse a cinco días. Para el caso de cemento CP 30, hay que sumar tres días a los valores indicados anteriormente, y para cementos CP 50, los períodos son de dos días menos que para CP 40.

F.6 **Curado por inundación en pavimentos y problemas asociados**



Se deben computar como días válidos de curado aquellos en los que la temperatura media del aire en contacto con la estructura sea igual o mayor que 10 °C. Para condiciones de tiempo frío, se debe computar un día de curado por cada dos días en que la temperatura media esté entre 5 y 10 °C, debido a que se retrasa la velocidad de endurecimiento. Para temperaturas menores a 5 °C, las velocidades de las reacciones de hidratación disminuyen, con lo cual debe extenderse el período de protección para brindar temperaturas mayores en el ambiente que rodea la estructura.

4. Curado acelerado

En los casos en que deben obtenerse resistencias muy elevadas a edades tempranas (menores a 48 horas), se aplican ciclos de curado acelerado con vapor de agua de forma controlada. Se pueden lograr resistencias del 65% al 75% a las 24 horas en estructuras, resistencias logradas en condiciones normales a los cinco o siete días (Figura 6). Para asegurar el método, es muy importante el control y registro estricto y continuo de humedad relativa y temperatura en las inmediaciones de los elementos. Además, es indispensable realizar ensayos de laboratorio antes de comenzar una línea de producción con curado acelerado para poder optimizar el ciclo, tanto en duración de etapas como en temperatura máxima a alcanzar. Es recomendable limitar esta última a 65 o 70 °C como máximo, por potenciales problemas de ataque interno de sulfatos (formación de etringita diferida) que, junto con otros factores en forma simultánea, pueden traer serias consecuencias a las estructuras. De manera conceptual, es posible indicar cinco etapas relevantes en los ciclos de curado acelerados:

- 1° etapa de espera: hasta iniciar el fragüe (3 a 6 horas) a temperatura no menor a 15 °C.
- 2° etapa de calentamiento: con gradientes de ascenso entre 10 y 30 °C/hora.
- 3° etapa o plafón a temperatura máxima: entre 50 y 70 °C de 5 a 10 horas, definido por ensayos.
- 4° etapa de enfriamiento: con gradientes de descenso entre 10 y 30 °C/hora.
- 5° etapa de curado complementario: se efectúa curado húmedo a temperatura ambiente al menos 3 días.

La aplicación de vapor de agua sin controles de temperatura o tiempo ni ensayos previos de caracterización puede aparejar consecuencias indeseables en las estructuras, o directamente que no sean efectivas y cometer errores al aplicar tensiones tempranas a una estructura que no haya alcanzado el grado de endurecimiento deseado. Es decir, no sólo basta con tener una caldera y una carpa para proteger la estructura, sino que debe haber planificación y control de manera continua. Si bien son métodos casi exclusivos para grandes obras o plantas de premoldeados, pueden ser aplicables a obras convencionales si se evalúan económicamente y aumentan la productividad y/o la rápida habilitación de estructuras. «