

Soluciones prácticas para el hormigonado en tiempo caluroso

Si bien en *Hormigonar* se han publicado diversas notas sobre hormigonado en tiempo caluroso, presentamos este artículo ahora debido a que en estos meses comienza el período estival en nuestro país. Es un artículo netamente práctico, apoyado con fundamentos para que trabajemos adecuadamente el hormigón y podamos defender criteriosamente nuestro accionar ante nuestros clientes e inspecciones.

Ms. ING. MAXIMILIANO SEGERER

Control y Desarrollo de Hormigones
www.cdormigones.com.ar

Al acercarse la época estival en climas con estaciones bien definidas, o en varios meses durante el año en climas calurosos y tropicales, la temperatura ambiente suele sobrepasar los 32 ó 34 °C, y con estas condiciones ambientales generalmente la temperatura del hormigón sobrepasa los 30 °C. Esta temperatura inicial del hormigón estará condicionada por la temperatura ambiente, ya que los acopios de agregados absorberán el calor proporcionado durante toda la jornada e incrementarán la temperatura del hormigón fresco.

Sin embargo, la definición de tiempo caluroso no está vinculada unívocamente con las temperaturas elevadas, pudiendo –según reglamento– haber tiempo caluroso aun en invierno con temperaturas menores a 10 °C si otras condiciones ambientales se presentan al mismo tiempo. Como ejemplo, las medidas precautorias que se requieren en un día calmo y húmedo serán mucho menos estrictas que las requeridas en un día seco y ventoso, y aun si la temperatura del aire y el hormigón son iguales.

Se define tiempo caluroso como “cualquier combinación de alta temperatura ambiente, alta temperatura del hormigón, baja humedad relativa y/o alta velocidad del viento, que

incrementen la velocidad de evaporación de agua y/o aceleren las reacciones de hidratación y fragüe pudiendo perjudicar las propiedades del hormigón fresco o del hormigón endurecido”. Para conocer si se está en tiempo caluroso, es recomendable que en obra –diariamente y a distintas horas– se registre la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura del hormigón y la velocidad del viento (este último parámetro, indispensable en el caso de losas y pavimentos) en el mismo lugar de colocación del hormigón.

Riesgos asociados al hormigonar en tiempo caluroso

En tiempo caluroso deben tomarse ciertas medidas preventivas para evitar que el hormigón se dañe a edades tempranas. Éstos son los efectos negativos del tiempo caluroso en el hormigón fresco:

Se incrementa la demanda de agua para igual asentamiento, a razón de 0,8 a 1,0 litros/°C, que debe compensarse aumentando el contenido de aditivos y/o cemento para igualar resistencia y durabilidad, con lo cual suele ser más costoso producir hormigones en tiempo caluroso.

- Se acelera la pérdida de asentamiento, y en consecuencia aumenta el riesgo de incorporación indiscriminada de agua para poder trabajar el hormigón más fácilmente.

- Se dificulta el control de aire en el hormigón fresco cuando se emplean incorporadores de aire.
- Se disminuyen los tiempos de fragüe, con lo cual el inicio de fragüe puede ocurrir entre 2 y 4 horas después del mezclado inicial del hormigón. Como ejemplo, un aumento de la temperatura inicial de 15 °C suele reducir a la mitad el tiempo inicial de fragüe.
- Las tareas de colocación, compactación y terminación superficial deben realizarse mucho más ágilmente.
- Se incrementa el riesgo de fisuración por contracción plástica, lo cual será estudiado en detalle para prevenir su aparición durante las primeras horas después del colado.
- Se incrementa la necesidad de protección y curado tempranos.
- Se aumenta la velocidad de evaporación de agua del hormigón y es indispensable el aserrado temprano, ya que en varias ocasiones aserrar al día siguiente puede ser demasiado tarde.
- Se incrementa el riesgo de fisuras por contracción térmica.
- Se aumenta de probabilidad de ocurrencia de daños superficiales en pisos, pavimentos y losas, tanto por las condiciones climáticas como por el "riego de agua" inapropiado para facilitar las tareas de terminación.
- Se incrementa la posibilidad de aparición de juntas frías, tanto por el fragüe más repentino del hormigón como por la mayor pérdida de consistencia en el tiempo, debiéndose tomar precauciones en la logística de provisión de hormigón, principalmente en estructuras como pavimentos, pisos, hormigones vistos arquitectónicos y estructuras de contención de agua, donde las juntas de trabajo no son admisibles.

De todas formas, si se toman precauciones y recaudos específicos, aun para temperaturas tan elevadas como 40 °C se pueden lograr excelentes resultados. Para mitigar los efectos nocivos del tiempo caluroso, debe proponerse analizar todo

el proceso de construcción de la estructura, partiendo desde las materias primas constituyentes de la mezcla, pasando por la dosificación y elaboración del hormigón, y concluyendo después de transcurrido un tiempo de colocado, ya que las propiedades hacen del hormigón un excelente material de construcción, pero puede ser adversamente afectado por el tiempo caluroso, de acuerdo con lo definido.

Reducción de la temperatura inicial del hormigón

Para disminuir la temperatura del hormigón fresco, deberá trabajarse para reducir la de sus materiales constituyentes (Figura 1), no existiendo otros aditivos o métodos para disminuir una temperatura inicial elevada:

F.1. Enfriamiento de materiales constituyentes



- Agregado grueso: actuar sobre la fracción gruesa es el mejor camino y el más económico, ya que estos agregados son los que ocupan mayor volumen en el hormigón. Descender la temperatura del agregado grueso en 2 °C disminuye la temperatura del hormigón en 1 °C. Puede llevarse a cabo con riegos o aspersiones periódicas, pudiendo descenderse su temperatura entre 4 y 5 °C, lo cual resultará en 2 a 3 °C del hormigón fresco. Debido a la variabilidad que tendrá el agregado en su contenido de humedad, »

los plantistas y laboratoristas deberán estar muy atentos a la corrección por humedad de agregados y ajuste de asentamientos a la salida de planta.

- Agregado fino: el enfriamiento con agua de esta fracción se torna mucho más complicado, ya que puede empastarse y es muy difícil de manipular. Para el caso de las arenas, puede ser muy útil emplear arenas lavadas, ya que tendrán menor temperatura y absorberán menos el calor durante el día. Una alternativa es techar o colocar mediasombras en los acopios de agregados para reducir el efecto de la radiación solar.
- Agua de mezclado: puede reducirse mediante el empleo de hielo en las piletas de almacenamiento, sistemas de refrigeración tipo *fan-coil* que pueden reducir más de 20 °C su temperatura inicial o medidas de protección como pinturas o toldos sobre las cisternas de agua. El agua es la que posee mayor efecto por unidad de peso entre todos los componentes del hormigón, con un calor específico 4 a 5 veces mayor que el cemento o los agregados. En contrapartida, es el material que menos participa en proporción. Por ejemplo, al reducir la temperatura del agua unos 4 °C se reduce la del hormigón fresco 1 °C; es decir, si se logra bajar 20 °C de forma aproximada, se disminuirá la temperatura inicial del hormigón en unos 5 °C.
- Cemento: es el material sobre el que menos puede intervenir. Medidas posibles serían proteger los silos con pinturas especiales o emplear cementos no recién recibidos, los cuales pueden llegar a veces a las plantas elaboradoras con temperaturas superiores a 75 °C.
- Hielo como reemplazo de parte del agua de mezclado: cuando es imprescindible la reducción de la temperatura en más de 6 a 8 °C, como por ejemplo para estructuras masivas con requisitos especiales, es casi indispensable recurrir al hielo (Figura 2). Sin embargo, además de costoso es muy difícil de manipular, pesar, incorporar y regular asentamientos en planta, con lo cual

debe emplearse cuando estén agotadas las otras formas de bajar la temperatura del hormigón. El hielo que mejor actúa es el que se presenta en escamas y en segundo lugar como “cubitos” o “rolitos”, pudiendo llegar a sustituir el 60% del agua de mezclado. Según experiencias, cada 10 kg de hielo/m³ en reemplazo de agua de mezclado reducen aproximadamente de 1 a 1,5 °C la temperatura del hormigón fresco. Reemplazando el 50% del agua de mezclado por hielo se reducirá aproximadamente 10 °C la temperatura inicial. Debe tenerse en cuenta que el hielo, para que no pierda su poder refrigerante, tendrá que estar almacenado en camiones frigoríficos en obras de envergadura o conservadores tradicionales o *freezers* para obras de mediana magnitud. La cantidad de hielo a incorporar no será constante durante la jornada, sino que será mayor la proporción durante las horas de mayor temperatura y disminuirá o se eliminará para hormigonado nocturno a fin de mantener una uniformidad de temperaturas.

- Otros medios de enfriamiento: en caso de obras de gran envergadura, puede realizarse un preenfriamiento del camión hormigonero con nitrógeno líquido, pero no es una técnica de uso común.

F.2 Reducción de la temperatura inicial empleando hielo



Todos los valores arriba mencionados son sólo referenciales y siempre deberán realizarse ensayos previos con el fin de evaluar la efectividad de las diferentes medidas para reducir la temperatura del hormigón fresco, tanto desde la facilidad operativa como para un balance económico. No es aconsejable aplicar directamente las ecuaciones de estimación de temperatura según recomendaciones, ya que suelen brindar resultados demasiado optimistas respecto a los resultados de ensayos y experiencias locales. En caso de emplearlas, deberá ser sólo como una aproximación inicial, pero siempre verificados mediante ensayos a escala industrial en camiones mezcladores.

Según la mayor parte de las recomendaciones internacionales, la temperatura máxima del hormigón elaborado al llegar a la obra no debería sobrepasar los 32 °C, con lo cual, si es una exigencia de la obra, deberán tomarse una o más de las medidas arriba referenciadas para lograr el objetivo.

Medidas para reducir el riesgo de fisuración por contracción plástica

Si bien la temática de fisuración por contracción plástica se estudia en el presente artículo, en condiciones ambientales de bajas temperaturas también puede aparecer este tipo de fisuración, como se detallará más adelante, fundamentalmente en climas áridos y/o ventosos, aun para temperaturas bajas (ambos climas, presentes en nuestro país). Esta fisuración tan “cotidiana y molesta”, que todos los que trabajan con el hormigón habrán padecido, puede prevenirse y evitarse siguiendo sencillas reglas prácticas.

La fisuración por contracción plástica aparece en la superficie del hormigón fresco pocos momentos después de la colocación, mientras se está acabando el hormigón o después de esta tarea, aproximadamente entre 1 a 3 horas del colado del hormigón. Estas fisuras aparecen principalmente en superficies de losas, pavimentos y pisos industriales, y se las puede eliminar si se toman medidas preventivas, sobre todo en lo que respecta a las tareas de protección y curado. Son características de las superficies en contacto con el ambiente, no apareciendo en elementos encofrados como columnas o tabiques; de allí la importancia que tiene en elementos como pisos industriales y losas, ya que su reparación, por más sencilla que sea, insumirá muchos más recursos que

las medidas preventivas que pueden adecuarse a cada caso en particular, además de no restituir la estética.

El mecanismo de fisuración es sencillo de explicar. Las fisuras aparecen cuando el agua se evapora de la superficie más rápidamente que la aparición del agua de exudación, creando un secado rápido y prematuro, y con ello esfuerzos de tracción que el hormigón no puede absorber, ya que no ha iniciado su fragüe. El principio fundamental para comprender su génesis puede resumirse de la siguiente manera:

- Si \rightarrow Velocidad de Evaporación \times Velocidad de Exudación \rightarrow Fisuración por contracción plástica

Una losa o pavimento recién terminado presenta un brillo superficial, producto de la presencia de agua de exudación que tiende a perderse luego de un determinado tiempo, que será más o menos extenso dependiendo de las condiciones climáticas en el momento del colado y del grado de protección logrado. Cuando el agua se evapora, la superficie tiende a opacarse, perderá el brillo y se traduce en una pérdida de volumen en la zona cercana a la superficie, cuya consecuencia es una retracción diferencial de la zona superficial respecto del resto del hormigón, que al estar saturado en contacto con una base o encofrados bien humedecidos, no sufre variaciones dimensionales. Si la superficie se seca después de las 3 a 5 horas, cuando el hormigón está próximo o ha iniciado su fragüe, el hormigón no se fisurará, por lo que las medidas deberán focalizarse en proteger el hormigón las primeras horas después del colado.

Ya que la velocidad de exudación se encuentra “limitada tecnológicamente” o, en otras palabras, no puede aumentarse en demasía este parámetro de la expresión del principio de fisuración, deberá estudiarse fundamentalmente el otro factor de la ecuación: la velocidad de evaporación. Las cuatro condiciones o factores que aumentan la evaporación del agua en cualquier condición, no sólo en el hormigón fresco, son:

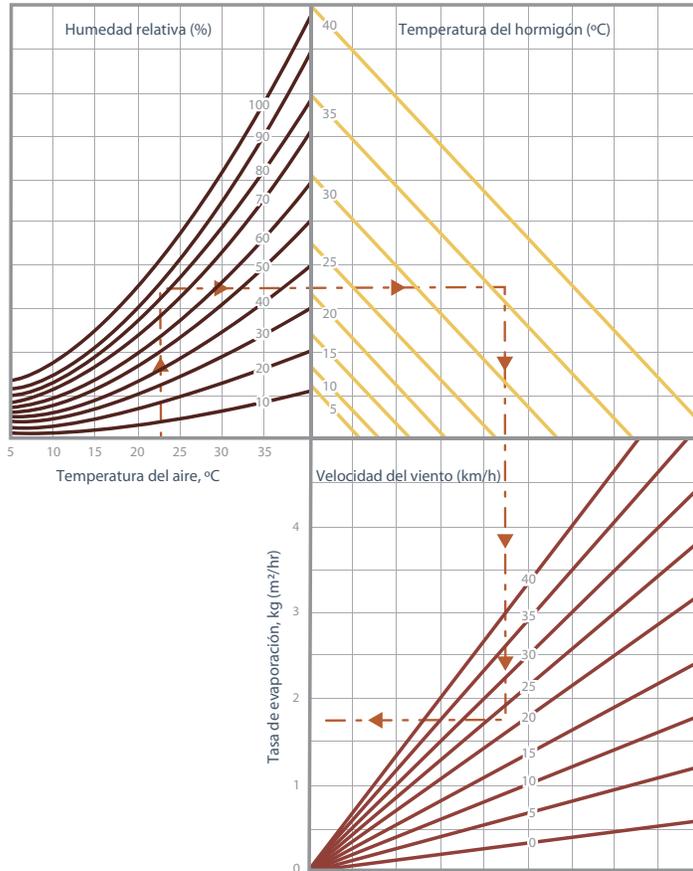
- Elevada temperatura del aire u hormigón.
- Baja humedad relativa.
- Elevada velocidad del viento.

Si bien puede estimarse con ayuda del ábaco adjunto (Figura 3) cuándo existe riesgo de fisuración por contracción plástica, no hay manera de predecir con seguridad suficiente cuándo va a ocurrir la fisuración ni con qué gravedad. También existen programas en los que, entrando los datos de temperatura del aire, temperatura del hormigón, humedad relativa ambiente y velocidad del viento, se estima la tasa de evaporación superficial. Para utilizar el ábaco, es indispensable contar con una pequeña estación meteorológica en el sitio de colado, que registre al menos temperatura del aire, humedad relativa y velocidad del viento.

1. Ingrese al ábaco con la temperatura del aire (°C) y muévase hacia la humedad relativa (HR %).
2. Muévase hacia la derecha para la temperatura del hormigón (°C).
3. Muévase hacia abajo con la velocidad del viento (km/h).
4. Muévase hacia la izquierda y léase la tasa de evaporación aproximada (kg/m² x hora).

Para apreciar la relevancia de cómo influyen los diferentes factores es útil brindar algunos ejemplos. Si la humedad relativa disminuye del 80% al 30% (o del 90% al 50%), la velocidad de evaporación en la superficie del hormigón (y el consecuente riesgo de fisuración por contracción plástica) se quintuplica. Si la velocidad del viento aumenta de 0 a 15 km/h, la velocidad de evaporación se cuadruplica. Si la temperatura ambiente aumenta de forma importante, se puede llegar a duplicar la evaporación. Como se aprecia, las influencias más perjudiciales son las condiciones de humedad relativa y de velocidad del viento, y no la temperatura ambiente –como se cree–, lo que se demuestra en el ábaco, apareciendo estas fisuras no necesariamente en tiempo caluroso. Por ejemplo, para temperatura ambiente de 4 °C, temperatura de hormigón de 15 °C, humedad relativa 50% y velocidad de viento de 40 km/h en las inmediaciones de la obra, se catalogan como tiempo caluroso desde el punto de vista reglamentario y la velocidad de evaporación resultante por el ábaco es superior a 1 kg/m² x hora. Esta velocidad de evaporación obtenida del ábaco debe compararse con la velocidad de exudación. Siempre es recomendable realizar ensayos para determinar la capacidad y la velocidad o

F.3. Abaco de evaporación



tasa de exudación al menos al comenzar la obra y cuando existan cambios de materiales, siguiendo los procedimientos de la Norma IRAM 1604. Debido a que no siempre se cuenta con estos resultados, se toman valores recomendados de la velocidad de exudación para hormigones convencionales. Suele convenirse que:

- Si la velocidad de evaporación está entre 0,1 a 0,5 kg/m² x hora → Existe muy poco riesgo de fisuración.
- Si la velocidad de evaporación supera 0,5 kg/m² x hora → Existe riesgo moderado de fisuración plástica.
- Si la velocidad de evaporación supera 1 kg/m² x hora → Existe riesgo severo de fisuración plástica. »

Como principio general, hay que evitar la pérdida súbita de humedad del hormigón fresco. Una o más de las precauciones listadas abajo pueden minimizar o eliminar la ocurrencia de fisuración plástica y deben escogerse en función de la disponibilidad de medios en la obra, del tipo de estructura y severidad del ambiente:

- Dosificación del hormigón elaborado:
 - › Mantener baja la temperatura del hormigón a través del enfriamiento de los agregados y el agua.
 - › Incorporar fibras de polipropileno al hormigón, lo que ha mostrado muy buenos resultados en el país.
 - › No retrasar en demasía el fraguado, para no prolongar el tiempo en que el hormigón es susceptible a figurarse, por ejemplo, por el empleo indiscriminado de aditivos en obra.

F.4 Protección de fisuras de contracción mediante niebla



F.5 Otras medidas para evitar fisuras por contracción



- Tareas previas a la puesta en obra:
 - › Humedecer adecuadamente la base de apoyo y los encofrados (Figura 5) y armaduras antes de la colocación del hormigón, sin encharcar, debiendo remover –si existen– excesos de agua antes de colocar el hormigón.
 - › Levantar parabrisas temporarios para reducir la velocidad del viento sobre la superficie del hormigón.
 - › Colocar sombrillas o toldos temporarios para reducir la radiación solar.
- Protección y curado del hormigón:
 - › Crear una niebla de agua sobre la losa inmediatamente después de la colocación y antes del acabado y curado, intentando prevenir la acumulación de agua que reduce la calidad del hormigón en la superficie de la losa (Figura 4). Este método es el más efectivo, ya que aumenta la humedad relativa en la superficie de la losa y disminuye la temperatura y la radiación solar en las inmediaciones del hormigón. No debe aplicarse directamente con mangueras, lo que deja exceso de agua, sino mediante boquillas o aspersores. Se deberá aplicar hasta el inicio del fragüe del hormigón. »
 - › Aplicar películas para retener la humedad, no siendo de aplicación las membranas de base acuosa en condiciones muy severas y siendo siempre recomendables las membranas de curado en base solventada, ya que para el caso de membranas acuosas su base se evaporará y no tendrá el efecto deseado (Figura 5).
 - › Proteger el hormigón con cubiertas temporarias, tales como láminas de polietileno (Figura 5) o mantas de arpillera, cuando no interese el acabado superficial, como en losas de edificios, no siendo aplicables en pavimentos, ya que estas técnicas marcarán la superficie final. »

Otras precauciones en tiempo caluroso

Además de los cuidados para evitar fisuras por contracción plástica y eventualmente reducir la temperatura inicial del hormigón, debe considerarse lo siguiente:

- Verificar la disponibilidad de elementos de protección y curado antes de comenzar el colado.
 - Reducir el contenido de cemento al mínimo compatible con condiciones de resistencia y durabilidad.
 - No emplear hormigones con contenidos de cemento muy elevados o categorías resistentes altas, salvo que sean estrictamente necesarias por condicionantes del proyecto. Si deben emplearse este tipo de hormigones o para el caso de hormigones masivos, diseñarlos a edades de 90 días, aspecto a consultar con el calculista.
 - No emplear aditivos acelerantes o cementos de alta resistencia inicial.
 - Es recomendable emplear aditivos retardadores de fraguado, ya que postergarán el fragüe inicial y reducirán la necesidad de incorporar agua en obra, además de reducir cierta cantidad de agua de mezclado.
 - Debe programarse la frecuencia de entregas, de modo que haya una demora mínima en el uso del hormigón.
 - Es recomendable siempre solicitar aditivos superfluidificantes para su incorporación en obra, con el fin de poder manejar fácilmente la pérdida de asentamiento en tiempo caluroso, admitiendo siempre su redosificación.
 - Utilizar la consistencia que permita la más rápida colocación, vibrado y terminación de superficies.
 - Programar las tareas de llenado para las horas del día de menor temperatura, evaluando la posibilidad del hormigonado nocturno si se tienen las medidas de seguridad adecuadas (Figura 6).
- Cuidado adicional sobre posibles juntas no previstas y contar con los medios necesarios para actuar si éstas aparecen. Debe colocarse el hormigón en capas de poco espesor, para asegurar que las capas previas todavía respondan al vibrado, evitando por lo tanto las uniones discontinuas.
 - De ser factible, es recomendable el curado húmedo por el período especificado.
 - Cuando se coloca hormigón en moldes, deben enfriarse las armaduras y encofrados, rociándolos con agua; como así también humedecerse la base antes de colar pisos y pavimentos.
 - Para estructuras masivas, se deben extremar las precauciones y estudiar los requisitos del proyecto.
 - Siempre es recomendable organizar reuniones previas al hormigonado. «

“Para conocer si se está en tiempo caluroso, es recomendable que en obra –diariamente y a distintas horas– se registre la temperatura y la humedad relativa ambiente, la temperatura del hormigón y la velocidad del viento en el mismo lugar de colocación del hormigón”

F.6. Hormigonado nocturno en tiempo caluroso

