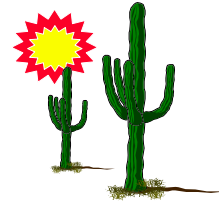


Hormigón en Clima Cálido

Arturo Holmgren Greve
Subgerente Técnico Petreos S.A.



INTRODUCCION

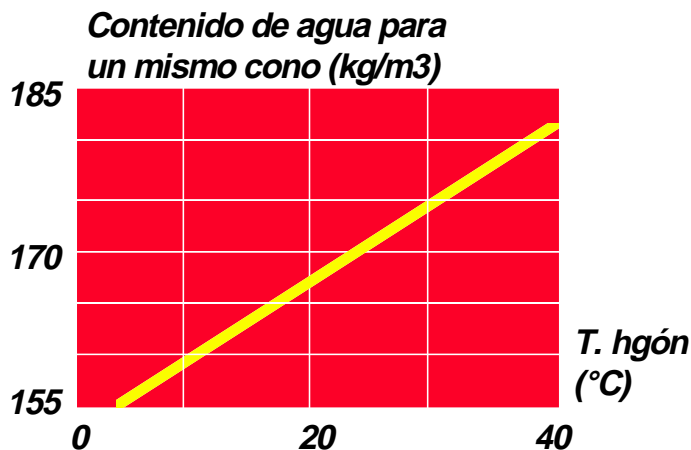
El hormigón es un material muy noble y que, por lo tanto, es necesario conocer sus cualidades para obtener los mejores resultados que de él se esperan. Por ello, para Petreos S.A., la relación con sus clientes no es tan sólo del tipo comercial, sino más bien de índole de la técnica al servicio del usuario y dentro de ello está la imperiosa necesidad de mantener una comunicación de aquellos aspectos que estén involucrados con los productos transados. Dentro de esta filosofía, y aprovechando esta nueva oportunidad, nos parece importante el retransmitir, aunque sea en forma muy resumida, algunos conceptos generales inherentes con el clima cálido, el cual se nos viene encima en los próximos días, y también entregar algunos antecedentes que estimamos pudiesen ser de utilidad práctica en los momentos en que sea necesario el hormigonar en presencia de dicha situación ambiental.

EFFECTOS DEL CLIMA CALIDO SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGON

Es generalmente conocido el que las temperaturas extremas afectan al comportamiento del hormigón, ya sea en estado fresco como endurecido.

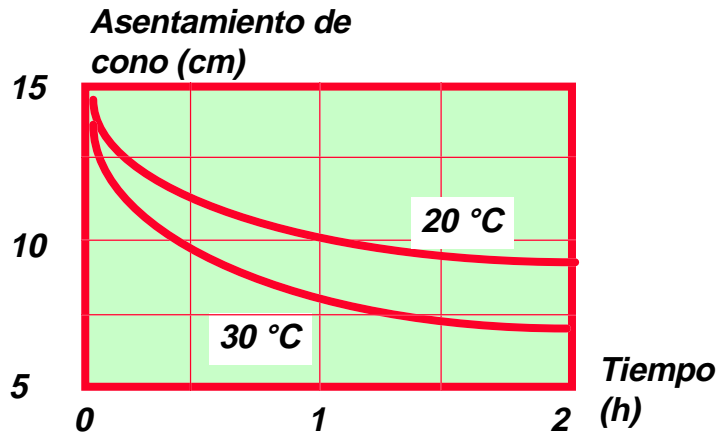
El clima cálido ejerce sobre el hormigón diversos fenómenos respecto a un ambiente templado, dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes:

mayor demanda de agua



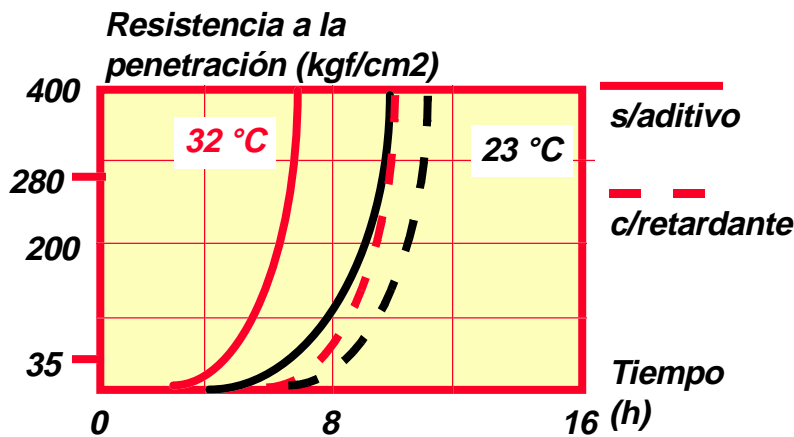
Cuando el hormigón tiene una temperatura superior, se requiere una mayor cantidad de agua para obtener el mismo nivel de asentamiento de cono. Es decir, para mantener un mismo nivel de trabajabilidad en un ambiente cálido respecto a uno templado, es probable el tener que enfrentar descensos de resistencias si no se adoptan las precauciones necesarias para asegurarla al nivel deseado.

mayor pérdida del asentamiento de cono



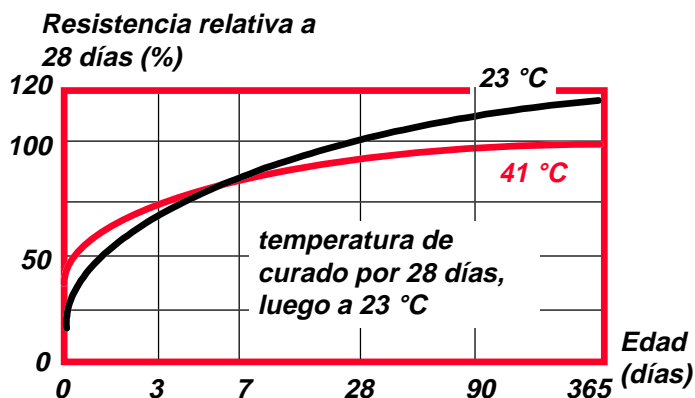
Por otra parte, la velocidad de disminución del asentamiento de cono varía según la temperatura. Es así como para mayores temperaturas, la velocidad del descenso de cono también se ve aumentada, pudiendo derivar en dificultar la adecuada colocación en los moldajes y las correspondientes actividades de compactación.

velocidades altas de fraguado



Adicionalmente, la velocidad con la cual se desarrolla el proceso de hidratación también se ve aumentada. Ello se puede reflejar en la cuantificación del ensayo de Resistencia a la Penetración para determinar los tiempos de inicio de fraguado (35 kgf/cm²) y término de fraguado (280 kgf/cm²).

modificación del desarrollo de resistencias



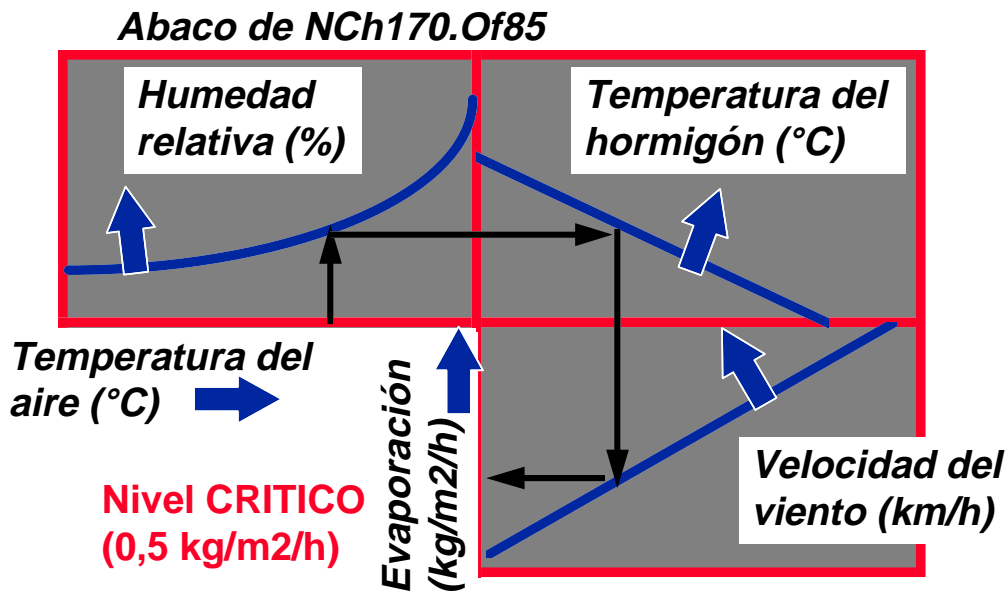
Asimismo, el desarrollo de resistencias, tanto a temprana edad como a edades superiores, se ve afectada con las distintas temperaturas. En una situación de clima templado la resistencia a temprana edad se ve disminuida y a edades superiores es mayor que si el hormigón está sometido a un clima cálido. Ello se debe al hecho de que la rapidez con la cual se forman los cristales provenientes de las reacciones químicas del cemento a temperaturas altas es superior, pero de una calidad resistente inferior, mientras que a temperaturas menores ello se reversa. En otras palabras, la "madurez" del hormigón es afectada por las distintas temperaturas, de allí nacen los conceptos de curado al vapor para lograr mejores resistencias a temprana edad, pero en desmedro de la resistencia a edades superiores. En contrario, el retardar el proceso mediante bajas temperaturas va en beneficio de mayores resistencias a edades sobre los 28 días, pero en bajas resistencias a corto plazo.

potenciamiento de fisuras plásticas

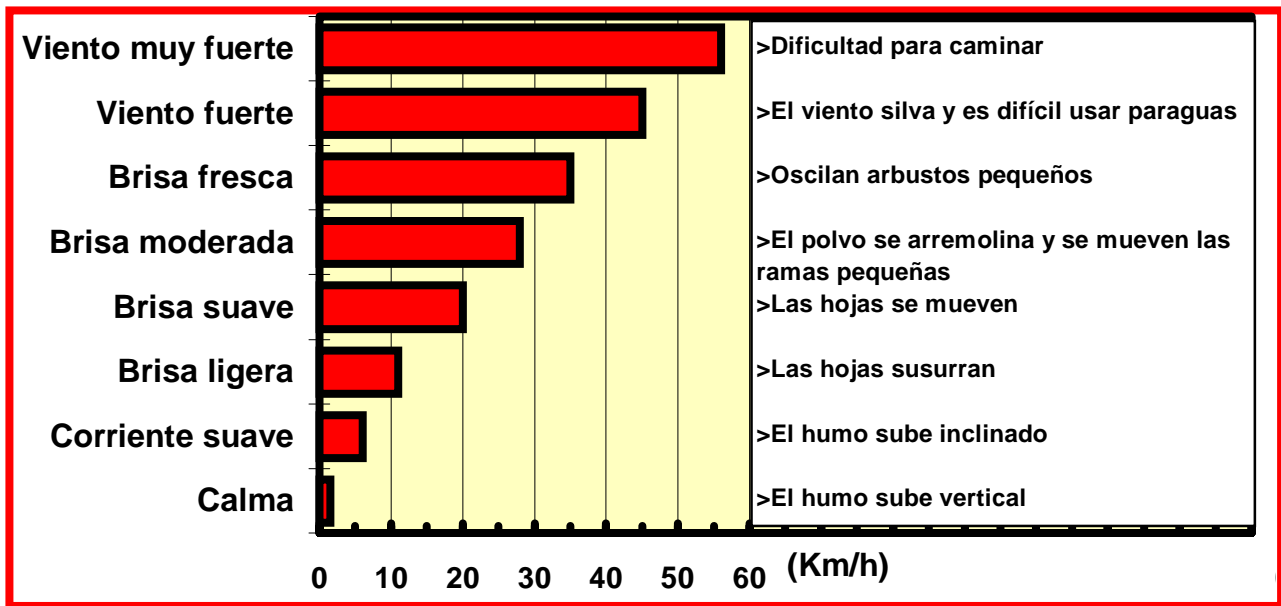
Una de las situaciones que produce desagradables consecuencias cuando no se adoptan las providencias del caso, es el relacionado con aquellas fisuras que aparecen a las pocas horas de haber sido colocado el hormigón, es decir, mientras éste aún se encuentra en estado plástico: las fisuras plásticas.

Este fenómeno, que equivocadamente muchas veces sólo se relaciona con el clima cálido, es provocado por el hecho de que el medio ambiente, mediante temperaturas extremas, alta velocidad del viento y/o baja humedad relativa, somete al hormigón a una alta tasa de evaporación. Cuando dicha tasa de evaporación excede la capacidad que el hormigón tiene para entregar agua, se produce un resecamiento en la masa y, por ende, una contracción volumétrica. Dicha contracción provoca tensiones de tracción en el hormigón, la que si supera a la capacidad que éste tiene para resistirla, se inducirán fisuras.

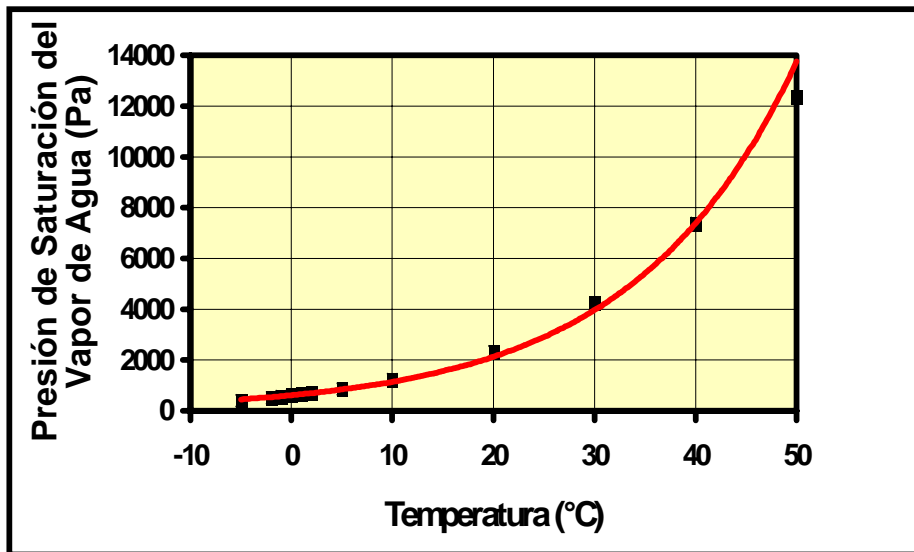
Variadas experiencias han sido analizadas al respecto. Con ellas ha sido posible establecer relaciones como las que adoptó nuestra norma NCh170 Of.85 y que se resumen en un ábaco que se presenta en forma similar al esquema siguiente:



Con dicho ábaco es factible estimar el nivel de evaporación que el medio ambiente le impone al hormigón bajo análisis. Para ello basta el conocer las temperaturas del hormigón y del aire. Para estimar la velocidad del viento es posible considerar el ábaco siguiente:



Por último, para estimar la humedad relativa del aire es necesario tan sólo el recordar el que la Humedad Relativa (HR) es el cociente entre la presión de vapor de agua que hay en la atmósfera y aquella de saturación a esa misma temperatura ($HR=P/P_s$). La presión de saturación (P_s) a la temperatura ambiental se extrae de tablas ó de gráficos como el que se adjunta a continuación:



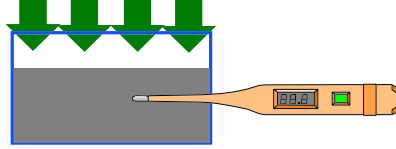
Para conocer la presión de vapor de agua (P) basta el gráfico anterior, un vaso con agua y hielo y un termómetro. Se agita el agua con hielo con el termómetro hasta que se empañe el vidrio del vaso (momento en que el aire está saturado, pues condensa), se lee el termómetro y se ingresa con dicho dato al gráfico anterior y se extrae la presión de saturación. Dado que la presión así obtenida es, necesariamente, la misma en todo el entorno, quiere decir que hemos obtenido, indirectamente, la presión de vapor de agua P que andábamos buscando. Veamos los pasos en forma esquemática: supongamos que tenemos una temperatura ambiente de 30°C . La P_s a dicha temperatura se obtiene directamente del ábaco indicado ($P_s=4242$ Pascales), y la P se conoce a través de la determinación de la temperatura a la cual se produce la saturación (empañamiento del vidrio del vaso que contiene agua y hielo). Asumamos que dicho fenómeno se produce cuando la temperatura es de 20°C , por lo que obtenemos del ábaco la presión de saturación en esas condiciones ambientales ($P_s(T=20^{\circ}\text{C}) = 2337$ Pascales). Por lo tanto, recordando que la presión es la misma en todo el entorno, podemos decir que la presión de vapor de agua (P) es de 2337 Pascales. Es decir, la humedad relativa es $2337/4242 = 0,55$ ($HR = 55\%$).

T ambiente = 30°C

T=30°C ... ábaco ... Ps a 30°C



Ts = 20°C ... ábaco ... Ps a 20°C



H% = P / Ps (ambiente a 30°C)

H% = (P a 30°C) / (Ps a 30°C)

pero **P a 30°C = Ps a 20°C**

H% = (Ps a 20°C) / (Ps a 30°C)

H% = 2337 / 4242 = 0,55 = 55%

RECOMENDACIONES

Dado que ya hemos visto algunos de los efectos más corrientes que le pueden suceder al hormigón en ambientes cálidos, se hace necesario el tener presente algunas metodologías y/o prácticas que permitan disminuir las probabilidades de derivar en situaciones indeseables. Para ello es útil el conocer las siguientes sugerencias al respecto:

preparación antes del hormigonado

- todos los equipos deben protegerse del sol, ser pintados de blanco o cubiertos con mantas húmedas
- los moldajes, la enfierradura y las subrasantes deben rociarse con agua fría momentos antes de vaciar el hormigón

transporte, colocación y acabado

- nebulizar el área con agua durante las operaciones
- hormigonar muy temprano en la mañana o de noche
- todas las operaciones deben realizarse rápidamente
- evitar largos períodos de mezclado

curado y protección

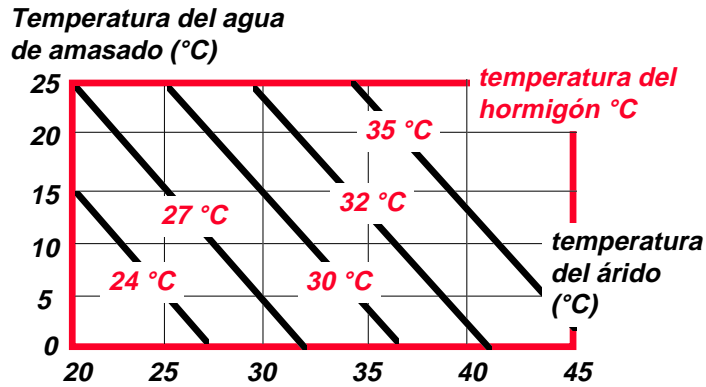
- comenzar el curado inmediatamente
- aplicar curado húmedo mediante nebulización de agua
- luego proteger con láminas de polietileno, membranas químicas en base a resinas, diques de arena, etc.
- disponer rompevientos y sombras

Por otra parte es importante el conocer el comportamiento de la temperatura del hormigón. Dicha temperatura es inicialmente influenciada por la combinación de las temperaturas de sus ingredientes y se puede estimar a través de la siguiente expresión ó ábaco que se indica:

$$T = \frac{0,22(T_a W_a + T_c W_c) + T_w W_w + T_{wa} W_{wa}}{0,22(W_a + W_c) + W_w + W_{wa}}$$

Ta, Tc, Tw, Twa = Temperatura áridos, cemento, agua de mezclado y agua libre de áridos

Wa, Wc, Ww, Wwa = Peso áridos, cemento, agua de mezclado y agua libre de áridos



Ahora bien, existen diversas metodologías para modificar la temperatura de los ingredientes y, por ende, del hormigón. Para ello es importante el recordar el que, de los ingredientes, la temperatura más incidente en la temperatura del hormigón es la de los áridos y luego la del agua. Por lo tanto, preocupándose de la temperatura de uno ó de ambos, es posible modificar la temperatura del hormigón recién preparado. Para el caso de los áridos, las metodologías más usuales para aquellos casos en que no se esté en condiciones demasiado extremas, es la de protegerlos del sol mediante sombras y/o aplicarles nebulización de agua. Mientras que para el caso de bajar la temperatura a través del agua, es factible el considerar su almacenamiento en estanques pintados de color blanco, protección del sol directo mediante sombras, dilución de hielo ó enfriamiento mediante equipos industriales. Sin embargo, una práctica también usual es la de reemplazar parte del agua por hielo en escamas o pequeños trozos que aseguren su completa transformación al estado líquido. Para esto último es de utilidad la siguiente expresión, la que permite el análisis de la temperatura a la cual se podrá llegar si se conocen o estiman adecuadamente las temperaturas de los demás ingredientes:

$$T = \frac{0,22(TaWa+TcWc)+TwWw+TwaWwa-80W}{0,22(Wa+Wc)+Ww+Wwa+W}$$

W = Peso del hielo (80 es el calor de fusión del hielo)

Nota: Peso del hielo más el del agua no debe exceder al del agua de amasado requerida