

Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto en clima cálido subhúmedo

Rómel Solís Carcaño¹ y Eric I. Moreno²

Recibido: 5 de junio de 2005 - Aceptado: 11 de noviembre de 2005

RESUMEN

Desde que se inició la utilización del concreto con fines estructurales, hace poco más de un siglo, se observaron los problemas que afectan al material cuando se seca muy rápido. Posteriormente, durante la primera mitad del siglo XX se encontraron las causas físicas y químicas que explican por qué el concreto no alcanza su máximo potencial, en términos de sus propiedades mecánicas, cuando pierde humedad en forma acelerada después de su colocación. El curado del concreto es la parte del procedimiento constructivo que busca mantener el material en condiciones húmedas para promover que las reacciones químicas entre el cemento y el agua continúen por el tiempo suficiente para aprovechar el potencial aglutinante del cemento. Este reporte presenta el estado del arte en el tema del curado húmedo, así como la caracterización del clima de la Península de Yucatán y trabajos experimentales realizados previamente y por parte de los autores, para determinar la influencia real del curado húmedo en la resistencia del concreto en este clima.

Palabras clave: curado, concreto, clima cálido subhúmedo.

Influence of moist curing on the concrete compressive strength under hot sub-humid climate

ABSTRACT

Since its initial use for structural purposes, more than a century ago, concrete has had some problems which were observed when the material was dried fast. Later, during the first half of the 20th century, the physical and chemical causes were found that explain why concrete can not reach its maximum potential when moisture is lost rapidly after casting, in terms of its mechanical properties. Concrete curing is the construction procedure task that seeks to maintain the material in humid conditions in order to extend the chemical reactions between cement and water long enough to improve the agglutinant potential of cement. This report presents the state of art in the moist curing topic, as well as the climate characterization of the Yucatan Peninsula and several works performed previously and by the authors, in order to determine the actual impact of the moist curing in the compressive strength of concrete in this weather.

Keywords: concrete, curing, hot sub-humid weather.

¹ Profesor Investigador del Cuerpo Académico de Ingeniería de la Construcción de la FIUADY.
(tulich@tunku.uady.mx)

² Profesor Investigador del Cuerpo Académico de Estructuras y Materiales de la FIUADY.

INTRODUCCIÓN

El término curado se utiliza tanto para describir el proceso natural por medio del cual el concreto de cemento hidráulico madura y desarrolla sus propiedades mecánicas típicas del material en estado endurecido, como para describir las acciones tomadas por el constructor para mantener el concreto húmedo y dentro de un rango de temperatura adecuada, de tal manera que se promueva la hidratación del cemento. En el primer sentido, el tiempo de curado del concreto se refiere al lapso en el cual se desarrollan las reacciones químicas del cemento con el agua, sin que se realice acción alguna; mientras que en el segundo sentido, se refiere al tiempo durante el cual se ejecutan acciones específicas para mantener el concreto en las condiciones favorables de humedad y temperatura, como pueden ser aplicarle agua, cubrirlo del medio ambiente, calentarlo, etc.

Debido a que se ha comprobado que las reacciones de hidratación del cemento sólo se dan en un ambiente interno de saturación (Mather, 1987), los investigadores de la tecnología del concreto han recomendado, desde hace aproximadamente un siglo, realizar acciones de curado en los elementos de concreto –principalmente suministrando humedad– como una parte esencial de los procedimientos constructivos tendientes a obtener un material con el mejor desempeño posible; y tratando, también, de alcanzar el mayor beneficio posible del alto costo del cemento.

En forma general el ACI (American Concrete Institute) distingue dos tipos diferentes de climas extremos que pueden provocar problemas durante el mezclado, transporte y colocación del concreto: el *clima frío* y el *clima cálido*. En el primer caso, la principal preocupación es que los compuestos del cemento no reaccionen con el agua (o que lo hagan a una tasa muy lenta), o que incluso, ésta se congele. Mientras que en el segundo caso, la principal preocupación es que el agua del concreto se evapore rápidamente y que una parte significativa del cemento no se hidrate, y por lo tanto no aporte resistencia al material y éste sea muy poroso.

Desde el enfoque anterior, se puede clasificar que las construcciones de la Península de Yucatán se enfrentan a las condiciones de manejo de concreto en *clima cálido*. El comité 305 del ACI (1999) define el *clima cálido* como cualquier combinación de las siguientes condiciones:

- ◆ Alta temperatura ambiental
- ◆ Alta temperatura del concreto
- ◆ Baja humedad relativa

- ◆ Velocidad de viento considerable
- ◆ Radiación solar considerable

De acuerdo a la PCA (Portland Cement Association, 2000) es deseable una temperatura entre 10° C y 16° C para el concreto fresco; sin embargo, en clima cálido, en donde es necesario frecuentemente un enfriamiento artificial, suele especificarse un límite de hasta 32° C.

En este trabajo se presenta una exposición teórica del curado, posteriormente se analiza el caso de la Península de Yucatán, caracterizando el clima y presentando los resultados de trabajos experimentales realizados; se finaliza exponiendo las conclusiones.

CONCEPTOS TEÓRICOS SOBRE EL CURADO DEL CONCRETO

Curado natural. Generalmente se acepta que si las condiciones del medio ambiente proporcionan suficiente humedad y una temperatura favorable, en forma constante, no se requiere realizar acción alguna para curar al concreto (Neville, 1999). En la Península de Yucatán, en donde la humedad ambiental es alta en gran parte del año, los ingenieros con experiencia en construcción, generalmente, se acogen al *curado natural* y es poco usual que en forma espontánea ejecuten acción alguna de curado para promover que el concreto se mantenga húmedo. Lo anterior pudiera ser resultado de un convencimiento –con bases empíricas– de que invertir recursos en el curado no les redundará muchos beneficios técnicos, de falta de conocimientos sobre el tema, o de la transmisión de mitos de generación en generación.

En cambio, cuando los proyectos son administrados total o parcialmente, por profesionales provenientes de otras partes del país o del extranjero, frecuentemente se especifica que se debe seguir un procedimiento de curado. Por lo general, por criterios administrativos, el procedimiento más utilizado en estos casos es la aplicación de una membrana de sello, ya que este trabajo se ejecuta una única vez –inmediatamente después de descimbrar– y se puede controlar sin mucha dificultad; en tanto que el curado húmedo requiere de acciones repetidas durante cierto intervalo de tiempo, lo que hace más difícil su supervisión.

Powers (1947) encontró que la hidratación del cemento se reduce en forma importante cuando la humedad dentro de los poros capilares de la pasta de cemento cae por debajo del 80%; de esto concluyó que para que se den las condiciones de humedad que permitan el curado natural, la humedad del aire debe

ser al menos de un 80% para evitar que haya un flujo de humedad del concreto hacia el aire. Lo anterior únicamente sería válido si la evaporación no se diera por otras condiciones meteorológicas desfavorables como: alta velocidad del viento (que es frecuente en la Península de Yucatán) y diferencias significativas entre la temperatura del concreto y del aire.

Influencia del curado húmedo en la resistencia de concreto. La literatura sobre procedimientos constructivos y tecnología del concreto (González, 2000; Mehta y Monteiro, 1998) realzan las virtudes del curado como una forma de obtener la mayor resistencia a la compresión en el concreto, parámetro universalmente aceptado para evaluar la calidad del material.

Al respecto, el experimento reportado por Gonnerman y Shuman en 1928 ha sido citado como referencia por muchos autores. Los resultados de su trabajo sobre la influencia del curado húmedo en la resistencia a la compresión del concreto se han presentado tradicionalmente en forma gráfica (Figura 1). Las pruebas fueron realizadas utilizando concreto con una relación agua/cemento (a/c) de 0,50 y especímenes

cilíndricos de 15cm de diámetro y 30cm de altura. En esta gráfica se muestran concretos que tuvieron como factor variable el tiempo que pasaron en condiciones de saturación antes de ser expuestos al aire (e iniciar su proceso de secado); con fines didácticos esta gráfica es impactante, ya que muestra un contraste notable entre las resistencias que se obtuvieron al variar el tiempo del curado húmedo. Por ejemplo, entre los concretos que pasaron 28 días expuestos al aire y los que pasaron 28 en estado de saturación se aprecia una ganancia de aproximadamente 100% de resistencia, en pruebas destructivas realizadas a la edad de 28 días.

Después de 75 años del estudio de Gonnerman y Shuman, la gráfica antes citada se sigue utilizando como la prueba más contundente de la ganancia de resistencia a la compresión del concreto como resultado de la aplicación del proceso de curado húmedo en el material. Por citar dos ejemplos: la "Guía para el Curado del Concreto" del Comité 308 del ACI (ACI308R-01, 2002) la presenta, y a su vez hace referencia de estar reproduciéndola del Manual de la PCA "Diseño y Control de Mezclas" (Kosmatka *et al.*, 2002).

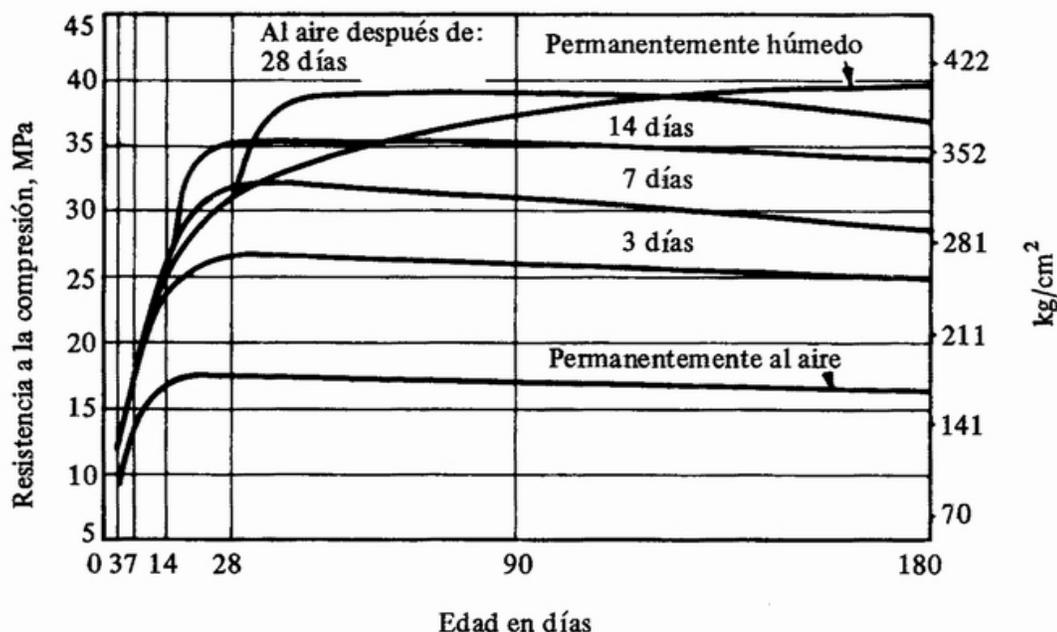


Figura 1. Influencia del curado húmedo en la resistencia a compresión del concreto (Gonnerman y Shuman en 1928).

Influencia de la relación agua/cemento en la necesidad de curar. Durante las reacciones de hidratación del cemento los poros inicialmente llenos

de agua en la pasta de cemento fresca se van llenando con los productos de hidratación; sin embargo, el grado con los que estos poros se van llenando, no sólo

depende de las facilidades para que el cemento se hidrate, sino también del volumen inicial de poros en la pasta, el cual está en función de la relación agua/cemento (ACI 308R-01, 2002).

Las pastas con una baja a/c tienen una baja porosidad inicial y por lo tanto requieren de un reducido grado de hidratación para alcanzar un nivel alto de poros llenos de productos de hidratación. Además, con relaciones a/c bajas se vuelve imperativo reaprovisionar agua al concreto por medio del curado ya que la autodesecación hace que el agua de mezclado resulte insuficiente para mantener los capilares llenos de agua. Sin embargo, en estos casos, la baja porosidad de la pasta, también, es un factor que hace impermeable al concreto y no facilita la penetración del agua de curado al interior del concreto, así como tampoco su evaporación.

En general, los concretos con relaciones a/c altas serán los que se vean más afectados por la falta de curado debido a la gran red de poros que contienen, lo cual facilitará que la humedad de los capilares se evapore; y por otro lado, dejarán grandes acceso a los agentes ambientales, por lo que su pronóstico de durabilidad será negativo.

Zona de influencia del curado. Actualmente se reconoce que la parte superficial del concreto es la que se ve más afectada por la falta de curado, de tal manera que ésta sería la zona más sensible, y por tanto, la que se verá más afectada en sus propiedades físicas y químicas por la ausencia de humedad. Mediciones realizadas por diferentes investigadores han mostrado que el movimiento de humedad sólo afecta una zona que va entre 3 y 5 centímetros de la superficie del elemento. El trabajo de Parrot (1988) mostró que las zonas de afectación fueron de: poco menos de 1 cm a los 12 días, casi 2 cm a los 45 días, y menos 4 cm a los 172 días.

De acuerdo a lo anterior, es obvio que las dimensiones y proporciones del elemento juegan un papel importante, en cuanto a la necesidad del curado húmedo, ya que la parte del material que variará sus propiedades por falta de curado es una función de la proporción entre la superficie expuesta al medio ambiente y el volumen total del elemento. Por poner un ejemplo, elementos de espesor pequeño (aproximadamente 10 cm), como losas y muros que tengan dos caras expuestas al medio ambiente pudieran sufrir desecación total ante la falta de curado; mientras que en secciones más robustas (supóngase un ancho de 50 cm), el efecto será meramente en la parte del concreto que forma el recubrimiento del acero.

Aún suponiendo que la resistencia estructural del elemento no se viera afectada, considerando que su núcleo conservara la humedad necesaria, lo anterior no debería disminuir la importancia del curado, ya que la zona externa del elemento es precisamente la que está sometida a la intemperie durante su vida útil, y se verá afectada por fenómenos tales como: permeabilidad, carbonatación y abrasión; por lo que la calidad del concreto en esa zona es de primordial importancia desde el punto de vista de la durabilidad, por problemas asociados a la corrosión del acero y al desgaste superficial por la aplicación de cargas friccionantes (Moreno, 2000).

METODOLOGÍA

La metodología seguida se inició con la caracterización del clima de la Península de Yucatán de acuerdo a clasificaciones de tipo nacional e internacional. Una vez caracterizado el clima, se investigó sobre trabajos previos reportados en México, relacionados con la influencia del curado en la resistencia del concreto, bajo el clima en estudio.

En la mayoría de los trabajos reportados sobre el curado se han utilizado especímenes cilíndricos, que estuvieron totalmente expuestos al medio elegido para el curado. Estos especímenes no suelen representar las condiciones en las que se encuentra el concreto en las estructuras, ya que tienen una alta relación superficie/masa. En esta investigación se optó por acercarnos a las condiciones reales en las que se encuentran los elementos de concreto, en donde la mayor parte del material no está expuesto, en forma directa, al medio.

La metodología experimental consistió en el colado de vigas en laboratorio con una misma relación a/c y utilizando agregados de tipo calizo triturado. A las 24 horas, después de ser descimbradas, las vigas fueron expuestas a tres diferentes condiciones de curado, que se mantuvieron por 28 días. Para probar el concreto a la compresión se extrajeron corazones en los que únicamente las bases de los cilindros estuvieron en contacto directo con el medio.

RESULTADOS

Caracterización del clima. El clima predominante en la Península de Yucatán, de acuerdo a la clasificación del INEGI, es: *Cálido Subhúmedo* (en el 92% de su extensión). La temperatura media anual en Yucatán se encuentra entre 24°C y 26°C, mientras que la precipitación total anual en este estado es alrededor de 1000mm (976mm fue el promedio de los últimos 4 años), y se concentra predominantemente en verano. En los Estados de Quintana Roo y Campeche las

precipitaciones son, en promedio, 50% superiores, aproximadamente.

Aparte de esta gran extensión de la península, una angosta franja situada en la parte costera del norte de Yucatán tiene clima *Semiseco Cálido*; mientras que en la isla de Cozumel y el municipio de Palizada –en Quintana Roo y Campeche respectivamente– el clima es *Húmedo con abundantes lluvias en verano*.

Gran parte del año, la humedad relativa máxima diaria en Mérida rebasa el 90%, sin embargo, aún en los meses más húmedos de otoño e invierno, la fluctuación de la humedad relativa a lo largo del día es notoria.

En el ámbito internacional, la clasificación climática más utilizada es la llamada Köppen-Geiger-Pohl, publicada por Vladimir Köppen en 1936 y revisada por dos de sus discípulos en 1953. Dentro de esta clasificación, el clima de la Península de Yucatán corresponde al denominado **Aw**, genéricamente llamado como: *Clima de Sabana tropical*; en donde el grupo climático representado por la letra **A** significa

lluvioso tropical, y se define con las siguientes características:

- a) Todos los meses tienen una temperatura media superior a 18° C.
- b) No existe estación invernal.
- c) Las lluvias son abundantes.

Mientras que la **w**, que representa el subgrupo –que depende de la humedad– significa *estación invernal seca*.

En la Figura 2 se muestran para Mérida, las temperaturas medias mensuales, promediadas de 1955 a 1999, según datos de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Se puede apreciar que las temperaturas medias fueron superiores a 18° C en todos los meses, y que hubo muy poco descenso de la temperatura en invierno. En la Figura 3 se muestran las precipitaciones totales mensuales del año 2004, medidas en la estación meteorológica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán (FIUADY); es notorio que la temporada de lluvias se concentra principalmente en verano.

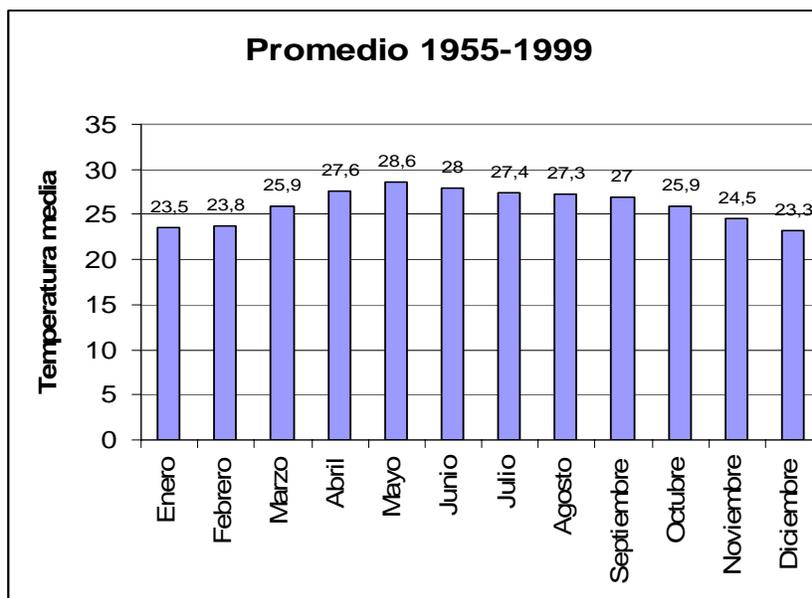


Figura 2.- Temperatura media mensual en Mérida promedio 1955-1999 (CNA).

Con relación a las precipitaciones invernales en Mérida, como ejemplo, durante el invierno 2003-2004 (considerando los meses completos de diciembre, enero, febrero y marzo) la precipitación, de acuerdo a la FIUADY, fue de 115.2mm que representa el 12% de la precipitación total del 2004.

En cuanto a la velocidad del viento, que es otro de los factores que afectan la evaporación en el concreto, se muestra en la Figura 4 las velocidades máximas por día registradas en Mérida, por la FIUADY, durante 1999; se observa que en la mayoría de los días la velocidad máxima estuvo entre 20 y 40 km/h, que representan velocidades que pueden ocasionar fuerte evaporación en el concreto. Además de la península de Yucatán, en los siguientes estados del país

predomina, también, el clima *Cálido Subhúmedo*: Veracruz (49% de su territorio), en el golfo de México; Nayarit (60%), Colima (79%), Guerrero

(73%), y Michoacán (33%), en la costa del Pacífico; y Morelos (68%), en el centro del país.

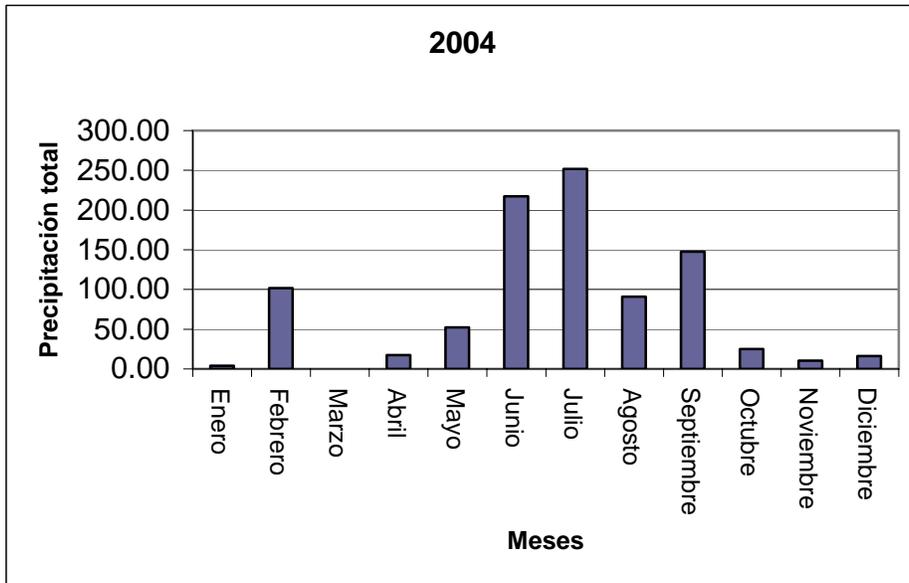


Figura 3.- Precipitaciones totales por mes durante 2004 (FIUADY).

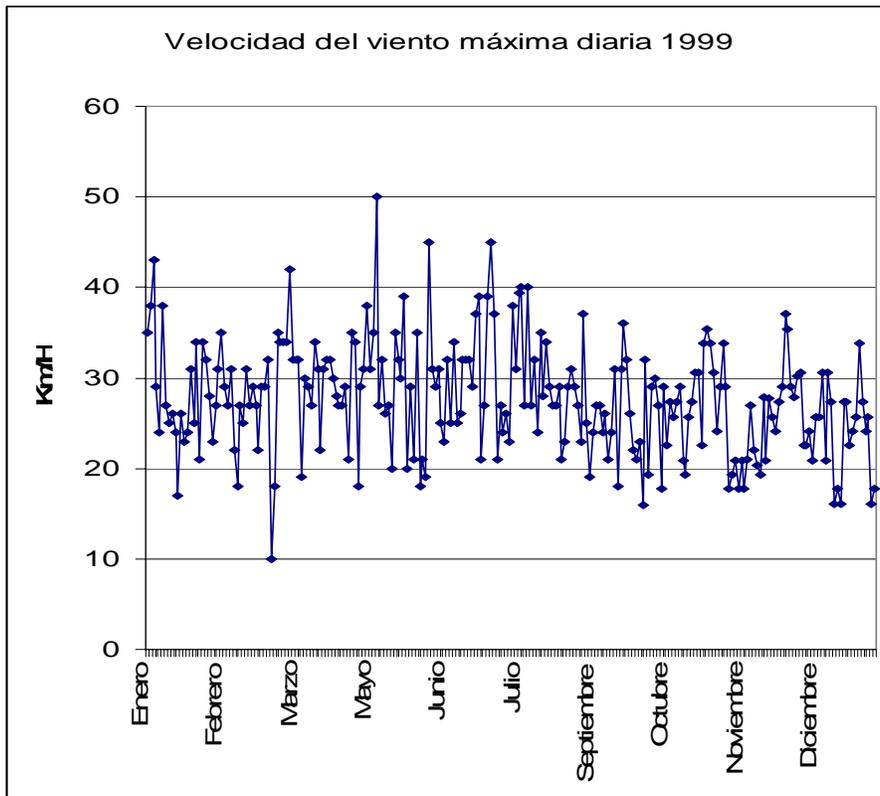


Figura 4.- Velocidad máxima de viento en Mérida durante 1999 (FIUADY)

De acuerdo a la clasificación de Köppen-Geiger-Pohl, la Península de Yucatán comparte el mismo tipo de

clima *Aw*, con: el sur de la Florida, en América del norte; una parte de todos los países de América

Central que tienen costa en el océano Pacífico; Cuba, República Dominicana, y varias islas, en el Mar Caribe; parte de Brasil, Venezuela y Colombia, en América del Sur; varios países de África Central; parte de la India y de los países del sureste de Asia; el norte de Australia y algunas otras islas en Oceanía.

Trabajos previos sobre el curado húmedo en clima cálido. Rivera (2002) reportó la influencia del curado en *clima cálido*. Los trabajos fueron realizados en Nuevo León, entidad cuyo clima, según Köppen-Geiger-Pohl, es **BSh** (B: significa *seco con déficit hídrico*; S: *semiárido*; y h: *con temperatura media anual superior a 18°C*); este clima es similar al de la estrecha franja costera del norte de Yucatán.

En este estudio se prepararon concretos con relación a/c de 0,7 y agregados triturados calizos de baja absorción (1,5% en la arena y 0,7% en la grava). Se colaron cuatro grupos de especímenes y cada uno de ellos se sometió a un tratamiento diferente de curado:

- Curado estándar a 23° C y humedad de 100%
- Curado húmedo por aspersión durante 3 días, y posteriormente al ambiente (bajo sombra).
- Curado húmedo por aspersión durante 7 días, y posteriormente al ambiente (bajo sombra).
- Aplicación de membrana de curado.

Tomando como base la resistencia a 28 días de la serie de control sujeta a curado estándar, el concreto con curado húmedo por 3 días alcanzó una resistencia del 81% a la edad de 28 días; el concreto con curado húmedo por 7 días alcanzó un 89% de resistencia a la edad de 28 días; y el concreto curado con membrana alcanzó una resistencia del 83% a la edad de 28 días; en estos concretos no se utilizaron adiciones minerales. Los resultados graficados se muestran en la Figura 5. Este estudio reporta resultados de la influencia del curado en un lapso en el que las temperaturas máximas estuvieron, aproximadamente, entre 28°C y 38°C, y las temperaturas mínimas, entre 12°C y 23°C; mientras que las humedades máximas estuvieron entre 85% y 93%, y las humedades mínimas estuvieron entre 32 % y 54%.

En 1994, Escalante realizó un estudio en Mérida comparando las resistencias obtenidas entre cilindros curados por inmersión y cilindros curados al ambiente (a la sombra). Las muestras fueron tomadas de mezclas de concreto utilizadas para colar losas de azotea de viviendas en diversos fraccionamientos, durante las cuatro estaciones del año. Se midieron resistencias en un rango entre 103 y 220 kg/cm² (entre 10 y 22 MPa) y revenimientos en un rango entre 14 y 21 cm. Como es práctica común en la construcción de viviendas, no hubo control del agua de mezclado, y por tanto de la relación a/c; las resistencias de diseño en estos trabajos suelen oscilar entre 150 y 200 kg/cm² (entre 15 y 20 MPa).

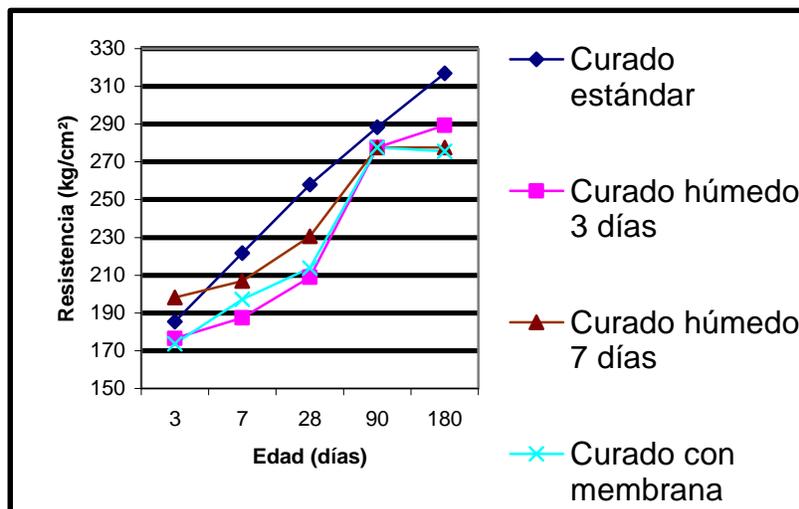


Figura 5. Efecto del curado en la resistencia a la compresión en clima cálido (Rivera y Rivera, 2002).

Los resultados de este estudio se presentan en la Figura 6 y en ella se contrastan las resistencias obtenidas a los 28 días entre los dos grupos de concretos, curados tanto por inmersión como al aire.

De un análisis estadístico de comparación de medias entre los dos grupos, con 44 datos cada uno, se reportó una diferencia significativa entre las

resistencia de los dos grupos a un nivel de 5% de significancia.

El caso anterior corresponde a concretos fabricados en obras donde existe poco control (desviación

estándar de 32 kg/cm² en este caso, si se hubiera intentado fabricar siempre concreto con la misma resistencia de diseño); y también, a concretos con alta relación a/c (superior a 0,70), por lo que es de esperarse que la influencia del curado sea mayor.

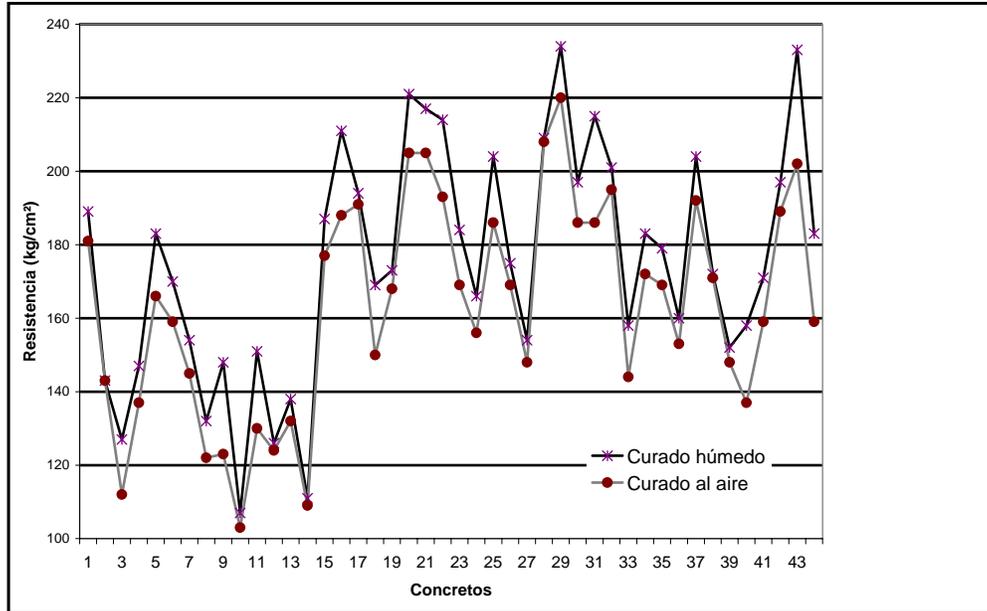


Figura 6.- Influencia del curado húmedo en muestras de concretos tomadas en fraccionamientos de Mérida (Escalante, 1994).

Trabajo experimental

En el otoño 2002, se colaron en el laboratorio de la FIUADY vigas de 15x15x60 cm y se les sometió a cuatro tipos diferentes de tratamientos de curado: inmersión, riego (similar al que se aplica en las obras con aplicación de agua en la mañana y en la tarde), aislamiento con forro de polietileno, y curado al ambiente natural (permitiendo incluso la caída de la lluvia). Se utilizó una relación a/c de 0,6 y agregados calizos de alta absorción (4,9% en la arena y 5,1% en la grava); el revenimiento de la mezcla fue 10 cm. La

Figura 7 muestra fotografías de los cuatro tipos de tratamiento de curado aplicados.

A los 28 días se extrajeron 4 corazones por viga con diámetro nominal de 3"; después de dejarse secar al ambiente (bajo sombra) por una semana, se probaron 3 de ellos a la compresión. Los resultados se muestran en la Figura 8; tomando como base la resistencia obtenida a partir de los corazones extraídos de la viga curada por inmersión, el concreto de la viga curada al ambiente alcanzó una resistencia de 100%; el concreto de la viga curada por medio de riego, un 97%; y el concreto de la viga curada por medio de forro aislante, un 99%.



Figura 7. Diferentes curados aplicados.

El cuarto corazón se utilizó para determinar el porcentaje de vacíos del concreto; los concretos curados por inmersión y al ambiente tuvieron 21,8%, mientras que los concretos curados por riego y forro

tuvieron 22,0%; estos valores son altos, sin embargo son típicos de los concretos preparados con los agregados muy absorbentes de la región.

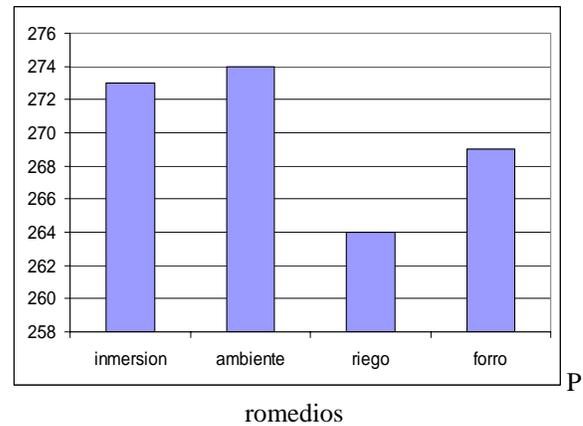
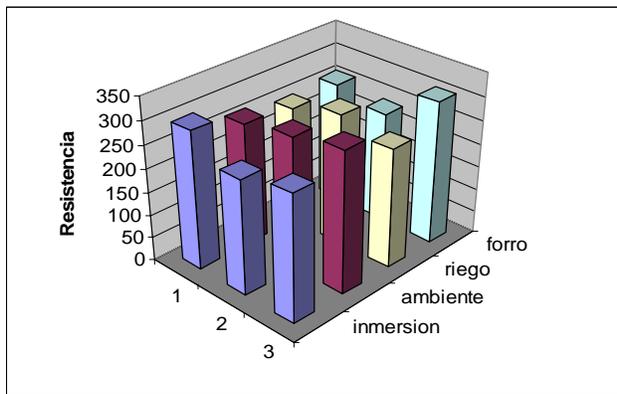


Figura 8. Resistencia a la compresión de corazones.

Las Figuras 9, 10, 11 y 12 muestran las condiciones ambientales medidas en la estación meteorológica de la FIUADY durante esta prueba: humedad relativa, temperatura, precipitación pluvial y velocidad del viento, respectivamente. La humedad relativa tuvo fluctuaciones durante el día entre 40% y 95% en

promedio; la temperatura entre 15°C y 30°C grados centígrados; hubo precipitaciones en la mitad de los días; y velocidades de viento máximas por día de aproximadamente 12 km/h.

El experimento fue repetido en la primavera del año 2003, con vigas curadas únicamente por inmersión y al ambiente; en esta ocasión, también se colaron cilindros de control de 15 x 30 cm. Los resultados obtenidos fueron similares a los que se observaron en el otoño anterior; los corazones extraídos de vigas

curadas al ambiente durante 28 días alcanzaron un 101% de la resistencia del concreto de los cilindros de control; y los corazones extraídos de vigas curadas por inmersión durante 28 días alcanzaron un 107% de la resistencia del concreto de los cilindros control.

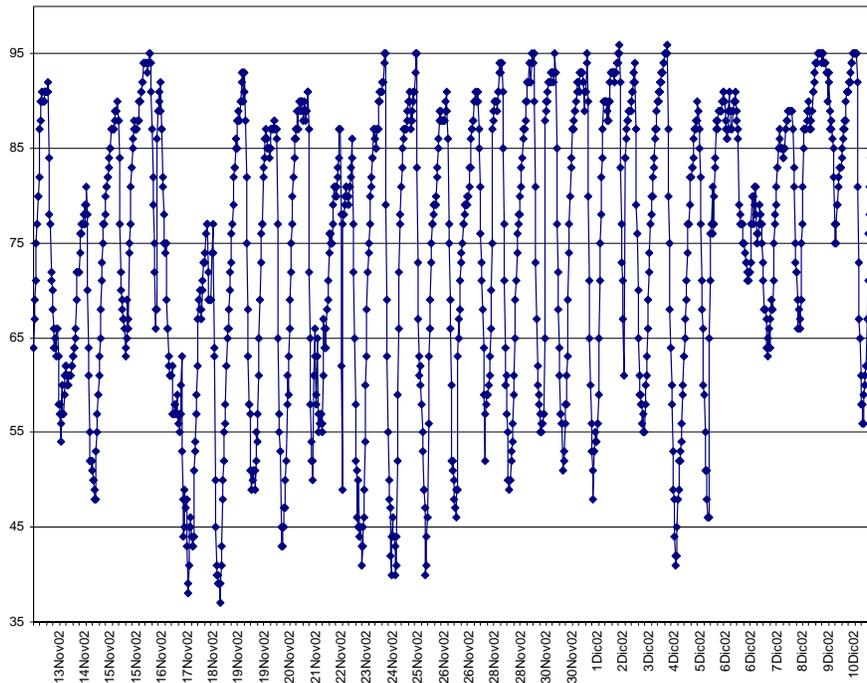


Figura 9. Humedad relativa (%) medida cada hora, durante las pruebas en otoño 2002 (FIUADY).

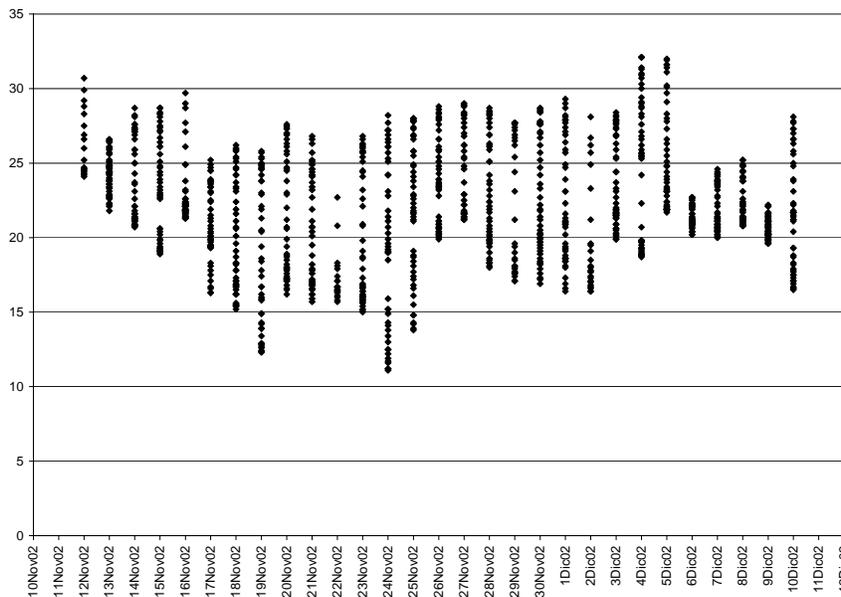


Figura 10. Temperatura (grados centígrados) medida cada hora, durante las pruebas en otoño 2002 (FIUADY).

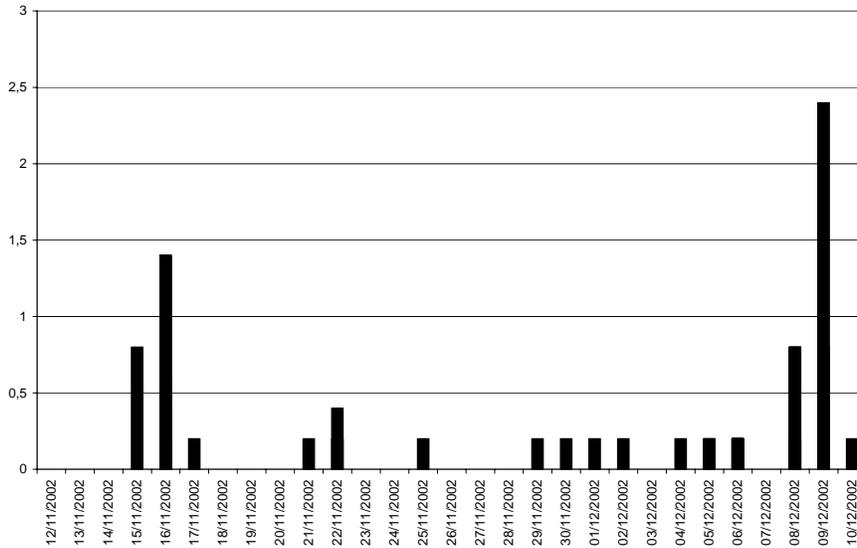


Figura 11. Precipitaciones (mm) por día, pruebas en el otoño 2002 (FIUADY).

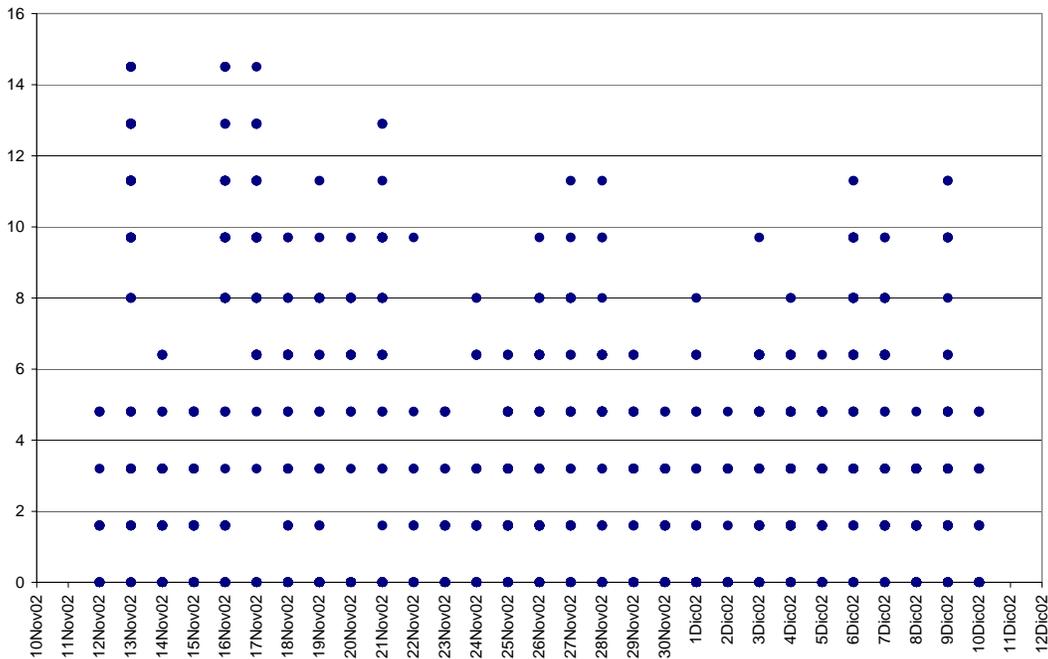


Figura 12. Velocidad de viento (km/hora) medidas cada hora, prueba piloto otoño 2002 (FIUADY).

DISCUSIÓN

En el estudio realizado con cilindros estándar en la región (Escalante, 1994), se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre las resistencias del concreto curado por inmersión y curado al ambiente; sin embargo, esta diferencia no alcanzó los altos niveles reportados por Gonnerman y Shuman (1928). Tomando en consideración que el estudio regional fue realizado con concretos de alta relación a/c, se debería

esperar un efecto más notorio de la ausencia del curado húmedo. Desde el punto de vista de las temperaturas del ambiente y del concreto fresco, ha sido común considerar que en el clima predominante de la Península de Yucatán, los procesos constructivos deben seguir las recomendaciones del ACI 305 para concreto en clima *cálido*. Sin embargo, en el caso de los cilindros estudiados, el efecto de la combinación de las condiciones de temperatura y viento, parece haber sido atenuado por la acción de la

humedad ambiental. De ahí, que sea probable que la alta humedad del ambiente haya favorecido un curado natural de los cilindros expuestos a la intemperie.

El trabajo experimental reportado, realizado con núcleos extraídos de vigas, confirmó que el efecto del curado húmedo en la resistencia del concreto no es significativo respecto al curado al ambiente, cuando la superficie expuesta del elemento es escasa comparada con su volumen (Parrot, 1988). En este caso, únicamente las bases del núcleo cilíndrico estuvieron expuestas al medio.

CONCLUSIONES

El clima de la Península de Yucatán presenta alta temperatura y velocidad de viento que en ocasiones es considerable, combinación que podría corresponder a un *clima cálido* –de acuerdo al ACI– para del manejo del concreto; sin embargo, en cuanto a la humedad, el clima es *subhúmedo* lo que pudiera compensar el efecto de esta combinación.

Los valores máximos diarios de la humedad relativa en la Península de Yucatán son suficientemente altos para suponer que se da un *curado natural* en el concreto; sin embargo la humedad suele tener un rango de variación durante el día de alrededor de 50%, por lo cual el concreto puede quedar sujeto a ciclos de humidificación (en la noche) y secado (al mediodía).

Un trabajo en Mérida, previo a este estudio, mostró diferencia significativa entre las resistencias de concretos curados por inmersión y al ambiente, para especímenes cilíndricos (expuestos en toda su

superficie a los dos tratamientos); con mezclas con alta relación a/c (superior a 0,70) y agregados de alta absorción de caliza triturada.

En esta investigación se encontró que no hubo diferencia significativa entre las resistencias de concretos curados por inmersión y al ambiente, obtenidas en corazones cilíndricos extraídos de vigas (teniendo los corazones únicamente expuestas al tratamiento las dos bases); con mezclas con relación a/c media (0,60).

La relación entre la superficie expuesta del concreto y el volumen total del elemento es fundamental para definir el efecto del medio ambiente en el secado del concreto, y por tanto, la necesidad de aplicar un curado húmedo.

Se considera necesario realizar un amplio estudio para determinar la influencia real del curado húmedo en la resistencia del concreto en el clima *cálido subhúmedo*. Así como también, la influencia del curado húmedo en otras propiedades físicas del concreto en la zona más externa de los elementos, tales como resistencia a la abrasión, dureza superficial, carbonatación, permeabilidad, etc., de las cuales depende, en buena medida, la durabilidad del material y por ende de la estructura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración del personal del Laboratorio de Concreto de la Facultad de Ingeniería de la UADY por la ejecución de algunas de las pruebas reportadas: Francisco Duarte Gómez, William Castillo Pak, Alvar Nadal Martínez y Luis Castro Sansores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI Committee 305 (1999). "Hot Weather Concreting", ACI 305-R99, Detroit.

ACI Committee 308 (2002). "Guide to Curing Concrete", ACI 308R-01, Detroit.

Centro meteorológico Facultad de Ingeniería, UADY. Recuperado de la dirección:

<http://www.uady.mx/sitios/ingenier/METEO/>

Escalante, L. (1994). "Influencia del Curado en la Resistencia a Compresión de los Cilindros de Concreto". Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Yucatán.

Gonnerman, H. F. y Shuman, E. C. (1928) "Flexure and tension tests of plain concrete". Report to the Chief. Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association, Washington.

González, F. (2000). "Manual de supervisión de obras de concreto", 2ª edición Limusa Noriega Editores, México

INEGI Clima por entidad federativa. Recuperado de la dirección:

<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/tematicos/mediano/ent.asp?t=mamb22&c=3705>

Kosmatka, S., Kerkhoff, B. y Panarese W. (2002). "Design and Control of Concrete Mixtures". Portland Cement Association, 14th edition, Skokie.

Mapa climático Copen. Recuperado de la dirección:

<http://www.terra.es/personal/jesusconde/Koppen/Portada/Frameportada.htm>

Mather, B. (1987). "Curing of Concrete". Lewis H. Tuthill International Symposium on Concrete Construction. ACI SP-104, Detroit.

Mehta, K. y Monteiro P. (1998). "Concreto, estructura, propiedades y materiales". 1^a edición IMCYC, México.

Moreno, E. (2000). "La corrosión del acero de refuerzo inducida por la carbonatación del concreto". Ingeniería—Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán, Vol 4, Núm 2, pp. 43-48.

Neville, A. (1999). "Tecnología del Concreto". 1^a edición IMCYC, México.

Parrot, L. (1988). "Moisture profile in drying concrete". Advances in Cement Research, Vol 1, Núm 3.

Powers, T. (1947). "A Discussion of Cement Hydration in Relation to the Curing of Concrete". Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association, Bulletin 25, Washington.

Rivera, R. y Rivera, J. (2002). "Effect of Curing in a high Temperature Environment on Compressive Strength of Concrete Incorporating Different Complementary Cementitious Materials". Proceedings, ACI Fifth International Conference.