# CONCRETE IN HOT WEATHER: DURABILITY ASPECTS

Silver Aime

by

Manuel Mena Ferrer

Synopsis: In this paper, characteristics of hot weather are described, related to the use of concrete in structure constructions. Three different zones of hot weather in the Mexican Republic are delimited, according to the environment relative humidity, with different potential risk of premature damage in concrete structures built in each zone. Harmful effects of high temperatures and low relative humidities of concrete in its frest hardening and hardened stages are examined and discussed, with special attention on the hardening and hardened stages are examined and discussed, with special attention on the effect of hydration of cement, evaporation of free water and volumetric changes defect of hydration of cement, evaporation of free water and volumetric changes defect of hydration of these harmful effects on the concrete structures durable are mentioned. The main preventive and protective applicable measures to avoid concrete premature damages made in hot weather concreting are discussed.

Keywords: Hot weather, temperature, relative humidity, durability, hydration, evaporation volumetric changes, curing, craking, maintenance.

Cumulative Magroc 282 unenti Dengtyyes. Time

CONCRETO EN CLIMA CALUROSO:
ASPECTOS SOBRE LA DURABILIDAD

Electrocidad ob cities de de la Social no popular de la superior d

Por Manuel Mena Ferrer

Sinopsis: Se describen las características que definen el clima caluroso, en relación con el uso del concreto en la construcción de estructuras. Se delimitan tres diferentes zonas de clima caluroso en la República Mexicana, de acuerdo con la humedad relativa ambiental, con diferente riesgo potencial de deterioro prematuro para las estructuras de concreto que ahí se construyen. Se examinan y discuten los efectos perjudiciales de las altas temperaturas y las bajas humedades relativas sobre el concreto en sus estados fresco, en curso de endurecimiento y ya endurecido; con particular atención a los efectos en la hidratación del cemento, la evaporación del agua libre y los cambios volumétricos del concreto. Se menciona la trascendencia de estos efectos perjudiciales en la durabilidad de las estructuras de concreto. Se resumen las principales medidas preventivas y de protección que son aplicables para evitarle daños prematuros al concreto que se cuela en clima caluroso.

Palabras Clave: Clima caluroso, temperatura, humedad relativa, durabilidad, hidratación, evaporación, cambios volumétricos, curado, agrietamiento, mantenimiento.

285

Manuel Mena Ferrer ejerce actualmente como ingeniero consultor en tecnología de concreto, en la ciudad de México, D.F. Con anterioridad fue jefe de la Oficina de Materiales del Departamento de Estudios Experimentales de la Comisión Federal de Electricidad, e investigador en la Sección de Estructuras del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

## ASPECTO GENERAL

Per Manuet Mena Febrer

Los primeros usos del concreto reforzado se remontan a las décadas finales del siglo 19, y algunas de esas primeras aplicaciones todavía permanecen en servicio.(1) Esto significa que dicho concreto, comparable con el convencional actual ha demostrado que puede durar en servicio útil más de 100 años. Sin embargo, numerosas estructuras de concreto construidas entonces y después, se deterioraron en el curso de pocos añosy tuvieron que ser reconstruidas o reemplazadas; lo cual puso de manifiesto que la durabilidad del concreto no es una característica inmanente e invariable, sino que debesa motivo de procuración en cada caso.

El tiempo que una estructura de concreto puede prestar satisfactoriamente el servicio para el que se construye, depende de numerosos factores entre los cuales destacanta adecuada selección y uso del concreto, y la correcta realización del diseño, la construcción y el mantenimiento de la estructura. Al considerar la selección y uso del concreto, si entiende que debe adecuarse a las condiciones específicas de cada obra, en lo que se refiere al medio ambiente, el medio de contacto y el tipo de servicio al que debe sometes el concreto en la estructura.

En lo relativo a las condiciones ambientales, es necesario tomar en cuenta no sólo la que prevalecen durante la etapa de construcción, sino también las que debe soportar la estructura en funciones. En el primer caso, el medio ambiente ejerce influencia sobres concreto en sus estados fresco, recién fraguado y en curso de endurecimiento, en tanto que en el segundo caso actúa sobre el concreto ya endurecido.

En regiones donde ocurren variaciones extremosas del clima entre las temporada estival e invernal, deben tomarse medidas para proteger el concreto contra ambis condiciones extremas, según el caso. Por ejemplo, si la estructura se construye durante el invierno, deben adoptarse las precauciones recomendables para colados en tiempo fín y además deben prevenirse las medidas necesarias para proteger a la estructura en servici de los efectos de la congelación en futuros inviernos. Si por el contrario se construyes verano, las precauciones de colado que deben aplicarse son las de tiempo caluroso, pel de todos modos debe preverse la protección del concreto endurecido contra el daño po congelación durante los períodos invernales de su vida de servicio.

En regiones donde las variaciones estacionales son amortiguadas por la posición nengráfica, no suelen ocurrir grandes diferencias entre las condiciones climatológicas de verano e invierno, y por consiguiente tienden a prevalecer condiciones ambientales narecidas en las etapas de construcción y de servicio de las estructuras. De este modo en las zonas de clima tropical, casi en cualquier época del año en que se construye una estructura de concreto, son aplicables las recomendaciones para colados en tiempo caluroso, y en ningún caso se justifica tomar medidas para prevenir los efectos de la congelación en el concreto en servicio.

#### CLIMA CALUROSO

El clima lo determina el conjunto de fenómenos meteorológicos (insolación, precipitaciones pluviales, vientos, presión atmosférica) cuyas manifestaciones en un lugar determinado dependen principalmente de su altitud y latitud, y secundariamente de aspectos locales como su proximidad al mar, por ejemplo. De la participación proporcional de estos fenómenos resultan las condiciones ambientales, cuyas características más representativas son la temperatura y el grado de humedad.

Al examinar los límites en que varía normalmente la temperatura ambiental que se produce a lo largo del año en las regiones pobladas del planeta, se observan valores medios mensuales mínimos del orden de -15°C y máximos cercanos a 40°C, lo que implica valores mínimos y máximos absolutos aun más extremosos. En relación con el uso del concreto, esta amplitud de variación de la temperatura puede considerarse subdividida en tres intervalos que definen otras tantas condiciones térmicas ambientales de trabajo: a) intervalo de baja temperatura, en que deben aplicarse medidas para proteger el concreto fresco y endurecido contra el frío excesivo, b) intervalo de temperatura moderada, en las que no se requieren medidas especiales en este aspecto, para el uso del concreto en la construcción de estructuras ordinarias, y c) intervalo de altas temperaturas, durante cuya manifestación se recomiendan precauciones con objeto de prevenir los efectos perjudiciales del calor excesivo sobre el concreto fresco y recién colocado principalmente.

Las bajas temperaturas, a partir de las cuales debe protegerse el concreto contra los efectos detrimentales del frío, se hallan delimitadas con relativa precisión (2) pues básicamente se definen en términos de prevenir el riesgo de congelación del concreto recién colocado y en curso de endurecimiento. No existe sin embargo la misma precisión para definir el nivel en que comienzan a producirse las condiciones de alta temperatura, debido a la injerencia de otros factores. Así, en el informe ACI 305 (3) se define el clima caluroso, para fines del uso del concreto, como una "combinación de las siguientes condiciones, que tiende a perjudicar la calidad del concreto fresco o endurecido: a) alta temperatura del ambiente, b) alta temperatura del concreto, c) baja humedad relativa, d) velocidad del viento, e) radiación solar". Es pertinente observar que, en cuanto a la temperatura, no sólo es necesario considerar la del ambiente sino también la del concreto.

A causa del calor que se genera durante la hidratación del cemento, hay tendencia a que se incremente la temperatura del concreto después de colocarlo en las formas;

incremento que depende de aspectos tales como el tipo y consumo de cemento, los espesores de los miembros estructurales, y las facilidades para la disipación del calor interno. Debido a la gran variabilidad de estos aspectos, no es factible establecer un tope de carácter general para la temperatura de colocación del concreto, de modo que al incrementarse no rebase un cierto límite máximo considerado como perjudicial. Por tal motivo, cuando así se requiere, lo recomendable es que el nivel máximo permisible de temperatura del concreto al ser colocado se defina individualmente, de acuerdo con las condiciones específicas del caso. Sin embargo, a manera de orientación para la construcción de estructuras ordinarias (no voluminosas) en el USBR (4) suele especificarse una temperatura máxima de colocación del concreto igual a 27°C para trabajos en clima árido y caluroso, y 32°C cuando el clima es caluroso pero no seco.

Comúnmente los agregados poseen una temperatura más alta que la del ambiente, si permanecen expuestos al sol; el cemento puede suponerse a una temperatura entre la del ambiente y un valor más alto que depende de su antigüedad de fabricación; el agua, por su alto calor específico, tiende a mantenerse en un nivel de temperatura algo menor y más uniforme que el del medio ambiente, salvo que reciba directamente calor solar. De esta manera, si no se ejercen acciones en contrario, al hacer el balance de estas condiciones puede esperarse que la temperatura del concreto al ser mezclado tienda a ser, en promedio, algo mayor que la del medio ambiente. Es decir, para poder colocar el concreto a una temperatura máxima de 27 o de 32°C, sin adoptar medidas preventivas, es necesario que la temperatura ambiente sea menor de 27°C en clima seco y menor de 32°C en clima húmedo.

La razón básica para establecer distinción entre las temperaturas máximas permisibles en ambos tipos de clima, se debe a la disminución de la velocidad con que se evapora e agua a medida que es mayor la humedad relativa del ambiente; de este modo, para que se produzca una cierta velocidad de evaporación, es posible admitir una temperatura más alta conforme aumenta la humedad relativa. Se sabe (3, 5) que si el agua superficial de concreto recién colocado en las formas se evapora a una velocidad del orden de la kg/m²/hr, existe el riesgo de que ese concreto se agriete por efecto de la contracción plástica, y que para producir esa velocidad crítica de evaporación en un ambiente con viento suave (16 km/hr) se requiere una humedad relativa de 40 por ciento si la temperatura es de 27°C, y de 60 por ciento cuando la temperatura es de 32°C.(3)

# CONDICIONES LOCALES

La República Mexicana se localiza entre los 15 y 33 grados de latitud norte, de manera que el Trópico de Cáncer (23° 27') la divide en dos porciones aproximadamente iguales de este modo, astronómicamente, a la porción sur le corresponde clima tropical y a la porción norte clima templado. Sin embargo, de acuerdo con las condiciones locales de altitud y distancia al mar, hay cierta tendencia a la definición de tres zonas que presental diferente clima regional: zona A, que corresponde a la región centro-norte, en donde de medio ambiente suele ser seco, caluroso en verano y frío en invierno; zona B, que roda la anterior pero con un clima menos extremoso, pues exhibe mayor grado de humedady

más moderación en las variaciones estacionales de temperatura; y zona C, que comprende principalmente la región sursureste y la llanura costera del litoral del Golfo de México, en donde el clima es sensiblemente tropical, cálido y húmedo, con relativamente menos variaciones entre el verano y el invierno.

En la Fig 1, formada con datos de la Ref (6), se hace una delimitación tentativa de estas tres zonas climáticas, cuyas principales características de temperatura y humedad son aproximadamente como sigue:

Conceptos (Límites probables)	Zonas climáticas (A) (B) (C)			
Temperatura mínima absoluta en invierno, °C	-22/-8	-12/0	0/12	
Temperatura máxima absoluta en verano, °C	36/50	36/48	40/46	
Humedad relativa media anual, %	30/40	40/60	60/80	

De acuerdo con estos datos, es evidente que durante el verano se manifiestan de manera general elevadas temperaturas ambientales en la mayoría del territorio nacional, si bien bajo tres diferentes condiciones de humedad relativa. De esta manera, en relación con el uso del concreto durante la construcción de estructuras, las condiciones más desfavorables se presentan en la zona A, en donde se conjugan las altas temperaturas estivales con las bajas humedades relativas, lo cual origina situaciones propicias para que se incremente la velocidad de evaporación del agua, y por consiguiente para que se produzca una rápida desecación del concreto recién colocado. En la zona B las condiciones se presentan menos desfavorables, pues las temperaturas máximas probables tienden a disminuir, en tanto que las humedades relativas ambientales tienden a aumentar; pero aun así, continúan representando condiciones riesgosas para el concreto durante su utilización. Por último en la zona C la humedad relativa suele ser bastante alta, pero como la temperatura ambiental también lo es, subsiste el riesgo de que se conjunten condiciones propicias para la desecación prematura del concreto en un momento dado: por ejemplo, si la humedad relativa es de 70 por ciento, el riesgo de que se produzca la velocidad de evaporación crítica (1 kg/m²/hr) ocurre cuando la temperatura del concreto es de 35°C (3), lo que no es difícil que suceda en esta zona si no se adoptan medidas para evitarlo.

#### **EFECTOS PERJUDICIALES EN EL CONCRETO**

El clima caluroso tal como se ha definido, ejerce acción perjudicial sobre el concreto principalmente en la etapa comprendida desde su elaboración hasta que adquiere su resistencia de proyecto; a diferencia del clima frío que puede causarle daño tanto al actuar en esta primera etapa como después durante su vida de servicio. En tal concepto, las medidas para proteger al concreto de los efectos adversos del clima caluroso,

normalmente se circunscriben al período constructivo de las estructuras y el inmediato posterior.

Las altas temperaturas suelen afectar al concreto recién elaborado y en curso de fraguar y endurecer, debido principalmente a los efectos que dichas temperaturas producen sobre 1) la hidratación del cemento, 2) la evaporación del agua, y 3) los cambios de volumende concreto; cuyos efectos se interrelacionan y acumulan para converger en la merma de propiedades el concreto y el acortamiento de su duración potencial en servicio.

## Hidratación del Cemento

El proceso de hidratación del cemento, como sucede en cualquier reacción química, se hace más rápido conforme aumenta la temperatura; lo cual se manifiesta por una mayor resistencia mecánica del concreto en sus primeras edades. Sin embargo, esta manifestación inicial no persiste, pues a edades posteriores la adquisición de la resistencia se vuelve más lenta, de modo que ya a la edad de proyecto el concreto hidratado en alta temperatura registra menos resistencia a compresión que el mismo concreto hidratado en baja temperatura, según se indica en la Fig 2. (7)

La justificación de que así ocurra, se muestra en la Fig 3 (8) que representa esquemáticamente la forma como se hidrata una partícula de cemento a temperatura baja (13°C) y a temperatura alta (49°C). Como ahí se hace notar, la hidratación a temperatura elevada conduce a la formación de una especie de costra alrededor de la partícula, que inhibe el acceso del agua hacia el núcleo de la misma para su ulterior hidratación, con lo cual esta última no se alcanza a completar aunque exista suficiente humedad en el concreto. De esta manera, se origina un residuo de cemento que permanece sin hidrata y que no aporta resistencia al concreto, lo que no solamente representa una deficiencia técnica sino también un inconveniente económico.

Este desarrollo anómalo del proceso de hidratación del cemento es atribuible básicamente al efecto de las altas temperaturas, ya que inclusive se manifiesta el presencia de agua; de modo que su manifestación adversa a la resistencia mecánica de concreto, que es irreversible, puede ocurrir dondequiera que el concreto se produzca endurezca a temperatura elevada, independientemente del grado de humedad que prevalezca en el medio de exposición. Es decir, se trata de una consecuencia perjudica del clima caluroso que puede manifestarse en cualquiera de las tres zonas del territorio nacional, cuando existen altas temperaturas ambientales.

Para dar una idea hasta dónde puede tolerarse la elevación de la temperatura de hidratación sin afectar demasiado la resistencia del concreto, en la Fig 4 formada condato de la Ref (7), se presenta la forma como usualmente varía la resistencia a compresión de concreto a diversas edades, conforme aumenta la temperatura de curado. Según ahís concreto a diversas edades, conforme aumenta la temperatura de curado húmedo la concreto a 28 días sólo se reduce alrededor de 5 por ciento con respeta a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C; lo cual se juzga tolerable y parece apose a la que se obtiene en curado estándar a 23°C

el criterio de considerar 32°C como temperatura máxima admisible para el endurecimiento del concreto en ambiente húmedo.

Es pertinente señalar que la aceleración del proceso de hidratación del cemento con el aumento de la temperatura, también se refleja en una sensible disminución del tiempo de fraguado, que puede ocasionar dificultades para la adecuada colocación y compactación del concreto en las formas. Sin embargo, a diferencia de la afectación de resistencia que no es corregible, la evolución del fraguado sí es susceptible de modificación y ajuste mediante aditivos. Es por ello que para colados en tiempo caluroso suele recomendarse el uso de aditivos retardadores del fraguado, en forma tal que pueda conciliarse la duración del fraguado inicial del concreto a la temperatura de la obra con el tiempo requerido para su transporte, colocación y compactación en la estructura.

### Evaporación del Agua

La excesiva pérdida anticipada del agua del concreto, puede ocasionarle perjuicios desde que se elabora hasta que se encuentra en servicio, por cuyo motivo las condiciones de exposición que estimulan la pérdida de agua por evaporación, resultan indeseables. Tal como se ha dicho, el ambiente caluroso en que se conjugan temperaturas altas, humedades relativas bajas y presencia de viento, representa las peores condiciones en este aspecto. Los efectos perjudiciales que la intensa evaporación del agua produce en las sucesivas etapas de la vida del concreto, se describen a continuación.

Durante la elaboración del concreto y en el curso de su manipulación para transportarlo, colocarlo y compactarlo, se presentan las primeras manifestaciones inconvenientes del clima caluroso, bajo el aspecto de la evaporación del agua. En primer término, al aumentar la temperatura ambiental se incrementa la demanda de agua de mezclado del concreto, con sus correspondientes consecuencias adversas sobre la resistencia mecánica, la permeabilidad y los cambios volumétricos; esto es, si el concreto requiere más agua y con ello se incrementa la relación agua/cemento, puede esperarse que manifieste menos resistencia, más permeabilidad y mayor contracción por secado, todo lo cual repercute adversamente en su durabilidad. En segundo término, en dichas condiciones ambientales las mezclas de concreto recién elaboradas pierden revenimiento con mayor rapidez, lo que puede conducir a defectos de construcción por la dificultad de colocarlas correctamente en la estructura; se sabe que los defectos de construcción suelen dar pie a la degradación anticipada del concreto en servicio.

Al término de su compactación y acabado, si el concreto durante la etapa de fraguado pierde agua por evaporación con demasiada rapidez (del orden de 1 kg/m²/hr), experimenta contracciones causantes de esfuerzos de tensión que es incapaz de resistir en esta etapa, con lo cual sufre agrietamientos por "contracción plástica". Este fenómeno detrimental es particularmente probable en los pavimentos de concreto recién colados, por su gran superficie expuesta a la evaporación, y es fuente potencial del deterioro prematuro de las estructuras en que ocurre, cuando dichos agrietamientos no se corrigen oportunamente.

La continua presencia de humedad suficiente en el concreto durante sus primeras edades de endurecimiento es una condición esencial, e insustituible, para que el proceso de hidratación del cemento se desarrolle con normalidad, y por consiguiente para que el concreto pueda adquirir todas sus propiedades potenciales. La falta de agua suficiente para que el cemento se hidrate en forma sostenida, es por sí misma una condición detrimental que no requiere necesariamente acompañarse de una elevada temperatura para ocasionarle perjuicio al concreto. La magnitud de este perjuicio se pone de manifiesto en la Fig 5 (9) en donde se representa la adquisición de resistencia a compresión del concreto con la edad, en diferentes condiciones de humedad pero sin la influencia de la temperatura. Como en dicha figura se observa, a medida que el concreto padece más deficiencia de humedad se manifiesta mayor detrimento en su resistencia; si bien es pertinente mencionar que este efecto detrimental no es completamente irreversible (como el que produce la excesiva temperatura), pues una aportación tardía de agua externa que reponga la humedad necesaria en el concreto, puede permitirle una cierta recuperación de la resistencia potencial no adquirida por deficiencia de agua.

De acuerdo con la manera de producirse el efecto anterior, puede considerarse quela deficiencia de agua de hidratación es una situación igualmente perjudicial para el concreto que se emplea durante clima caliente o clima frío; sin embargo, también debe considerarse que el riesgo de que se produzca esa deficiencia de agua se incrementa en la medida que la temperatura es más alta y la humedad relativa es más baja, porque en estas condiciones la evaporación del agua es más rápida. Es decir, el requerimiento de conservar el concreto húmedo en sus primeras edades, es igualmente necesario durante los trabajos en veran y en invierno, pero las medidas para lograrlo requieren ser más oportunas y eficaces en medio ambiente estival caluroso y seco, como suele ocurrir en las zonas climáticas A y del territorio nacional, previamente señaladas.

La conservación del concreto en condición húmeda durante un cierto lapso postero al colado, constituye el tratamiento de curado húmedo que deben recibir todas la estructuras recién construidas, y para cuya realización existen diversos procedimientos materiales y productos que se hallan ampliamente descritos en el informe del Comité AO 308. (10) Aunque la ejecución de este tratamiento es un requisito que se contempa normalmente en las especificaciones de construcción, en la práctica es una actividad que con frecuencia sólo se cumple a medias, e incluso no se cumple, para lo cual existe variadas explicaciones posibles: negligencia de quien construye y/o de quien supervisi inaccesibilidad de la estructura, procedimientos ineficientes, materiales y/o productos de mala calidad, etc.

No obstante que la realización de un buen curado húmedo es una necesida reconocida desde los primeros usos del concreto, ha sido en épocas recientes cuandos ha demostrado la influencia que ejerce no solamente en la resistencia mecánica, sin también en prácticamente todas las propiedades del concreto endurecido que de alguntamente tienen injerencia en su durabilidad. Debido a la mencionada frecuencia con ques producen omisiones y deficiencias en la realización del curado húmedo, y por el hecho que estas deficiencias se agudizan en condiciones de clima caluroso, es pertinente destada

los efectos detrimentales que produce en el concreto la falta de humedad en sus primeras edades, a fin de darle al curado húmedo la importancia que merece.

Se sabe que para la completa hidratación de la pasta de cemento, se requiere una proporción de agua del orden del 25 por ciento del peso del cemento que contiene, en tanto que para mezclar el concreto se utilizan cantidades de agua que normalmente representan entre el 35 y 75 por ciento del cemento, en peso; es decir, en el momento de elaborar el concreto siempre existe agua en exceso de la que el cemento estrictamente necesita para hidratarse. Sin embargo, a partir de su elaboración el concreto comienza a perder agua por diversas causas (Fig 6) de las cuales prácticamente todas, excepto la evaporación, cesan de actuar una vez que el concreto adquiere su fraguado final. De esta manera, si la pérdida por evaporación subsiste en el concreto recién fraguado, al cabo de algún tiempo la proporción de agua remanente se reduce a menos de la que el cemento requiere para continuar su hidratación y ésta se frena, e incluso se suspende por falta de agua.

La pérdida de agua por evaporación se produce principalmente por las superficies de la estructura expuestas al medio ambiente, de modo que el perjuicio por este concepto es máximo en dichas superficies, con tendencia a disminuir hacia el interior del concreto. Se dice (11) que normalmente la pérdida de agua por evaporación solamente afecta una capa superficial de concreto de 5 a 10 cm de espesor, y que más adentro el concreto conserva suficiente humedad (más de 80 por ciento) para su hidratación. Es por ello que este efecto detrimental no se detecta cuando se comprueba la calidad del concreto colocado en la estructura mediante la determinación de la resistencia en núcleos extraídos a mayor profundidad. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que la capa de concreto superficial es la que de ordinario resulta expuesta a las acciones perjudiciales que ponen en riesgo la durabilidad de las estructuras.

Además de la resistencia mecánica en sus diversos aspectos, la permeabilidad del concreto es la propiedad que más influencia tiene en la durabilidad de las estructuras. La resistencia mecánica no sólo es índice de la capacidad del concreto para soportar esfuerzos, sino también para resistir otras acciones físicas como la de abrasión mecánica e hidráulica, por ejemplo. Por su parte, la permeabilidad representa el grado de resistencia que el concreto opone a la penetración de fluidos agresivos (líquidos y gaseosos) que actúan como agentes promotores del deterioro prematuro del concreto y del acero de refuerzo. Debido a que ambas propiedades tienen como parámetro común la porosidad del concreto, resultan igualmente afectadas cuando la hidratación del cemento no se realiza cabalmente por deficiencia de humedad.

Para conservar el concreto con suficiente humedad durante sus primeras edades en que la hidratación evoluciona con mayor intensidad, existen dos procedimientos básicos aplicables en las superficies de la estructura expuestas al ambiente: 1) aportación de agua externa, para mantener continuamente húmedas las superficies expuestas a la evaporación, y 2) interposición de un elemento impermeable entre el concreto y el medio ambiente, para prevenir la fuga del agua interna por evaporación hacia el exterior. En teoría el primer procedimiento es más eficaz cuando se asegura su continuidad, y por ello