



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



DURABILIDAD DEL CONCRETO EN AMBIENTES URBANOS Y URBANO/MARINOS DE MÉXICO Y ESPAÑA

Torres Acosta, A.,¹ Pérez Quiroz, J.T.,¹ Castro Borges,² Andrede, C.,³ Rebolledo, N., P.,³ Almeraya Calderón, F.,⁴ Gaona Tiburcio C.,⁴ Moreno, E.I.⁵ Pérez López, T.,⁶ Sosa Bas, M.,⁶ Martínez Madrid, M.,¹ Martínez Molina, W.,⁷ Alonso, E.,⁷

¹Instituto Mexicano del Transporte, Coordinación de Ingeniería Vehicular e Integridad Estructural
Km 12+000 Carretera Querétaro-Galindo, 76760 Sanfandila, Querétaro, México

²Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados, IPN, Unidad Mérida
Km 6, Carretera Antigua a Progreso, 97310 Mérida, Yucatán, México

³Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de Materiales de Construcción
Serrano Galvache, S/N, 28033 Madrid, España

⁴Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., (CIMAV)
División de Deterioro de Materiales e Integridad Estructural/Grupo Corrosión
Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua 31109, Chihuahua, Chih., México.

⁵Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán
Av. Industrias No-Contaminantes por Anillo Periférico Norte, Cordemex, Mérida, Yucatán, México

⁶Centro de Investigación en Corrosión, Universidad Autónoma de Campeche
Avenida Agustín Melgar S/N. Col. Buenavista. 24030, Campeche, Campeche, México

⁷Facultad de Ingeniería, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Edificio F, Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán, México

RESUMEN

Este trabajo forma parte del proyecto DURACON, el cual, busca caracterizar la durabilidad de concretos expuestos en condiciones ambientales reinantes en Iberoamérica, basándose en la exposición de probetas armadas en al menos dos atmósferas distintas, una marina y una urbana, en cada país iberoamericano participante. Siendo el material que se presenta en este trabajo, los resultados obtenidos de exponer probetas de concreto simple a condiciones ambientales reinantes en cuatro ciudades: dos mexicanas y dos españolas durante un periodo de exposición de cinco años. Las probetas de concreto simple expuestas a la intemperie en estas ciudades se fabricaron con dos tipos de concretos, uno con una relación a/c = 0,65 y otro de relación a/c = 0,45. Los ensayos estuvieron centrados principalmente en la medida de la penetración de la carbonatación dentro de las probetas de concreto durante los cinco años de exposición así como la medición de parámetros ambientales de las estaciones de exposición como temperatura, humedad relativa, precipitación pluvial y concentración de CO₂ del ambiente. Esta información permitirá, con el uso de modelos específicos, diseñar obras en concreto armado durables en ambientes urbanos, y reparar adecuadamente las ya existentes, lo que repercutirá en una disminución en las pérdidas económicas que actualmente está causando el fenómeno de la corrosión en nuestros países.

Palabras clave: corrosión, concreto, durabilidad, DURACON, ambiental



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



ABSTRACT

The present investigation is part of an Iberoamerican project called DURACON from CYTED, Spain. The objective of this project is to characterize the concrete performance exposed in different environmental conditions in Iberoamerica in at least two different atmospheres, a marine and urban, on each participating Iberoamerican country. This investigation presents the results obtained from exposing unreinforced concrete specimens in four cities: two in Mexico and two in Spain during an exposure period of five years. The exposed unreinforced concrete specimens were fabricated with two different concrete mixtures of 0,65 and 0,45 w/c ratios. The measurements performed were mainly the carbonation penetration in the concrete specimens during the five year exposure period, as well as climatic parameters such as temperature, relative humidity, pluvial precipitation, and CO₂ concentration. All this information will permit, with the use of specific models, to design durable concrete structures, and to repair adequately the already existing ones, that will decrease the economical losses that are currently causing the corrosion phenomena in our countries.

Key Words: corrosion, concrete, durability, DURACON, environmental

INTRODUCCIÓN

La corrosión de la armadura es una de las causas más habituales responsable del deterioro de las estructuras de concreto que está llevando a elevados gastos de reparación y mantenimiento, con la preocupación que ello supone para las Administraciones que son las propietarias de las obras públicas, y los particulares cuyas viviendas sufren deterioros prematuros.

Las investigaciones relacionadas con la corrosión de armaduras han sido amplias en los últimos veinte años, pero han estado especialmente enfocadas: 1) al estudio de las causas y mecanismos de deterioro, 2) al desarrollo de técnicas electroquímicas de evaluación y control (tanto en laboratorio como in situ) y 3) al empleo de métodos de protección. Más recientemente se planteó la necesidad de cuantificar la vida útil de estructuras afectadas por corrosión, por lo que en los últimos años se ha ido centrando el interés en la búsqueda de modelos que permitan predecir la vida útil de estructuras en servicio no deterioradas o estimar la futura en el caso de nuevas, influyendo desde la fase de proyecto.

Las características físicas del concreto como aislante están relacionadas con la estructura de la red de poros, que se genera, debido al exceso de agua que es necesario utilizar en el amasado para hacer suficientemente trabajable el material. La porosidad total del concreto está constituida, tanto por los poros cerrados u ocluidos como por una red de poros, cuyos tamaños oscilan entre pocas μm hasta alrededor de $100\mu\text{m}$ (poros de gel) desde $\sim 100\mu\text{m}$ hasta $\sim 10^5 \mu\text{m}$ (poros capilares) y desde $10^5 \mu\text{m}$ hasta el orden de mm, que son los llamados poros de aire o grandes poros.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



Todos los que están comunicados entre sí están relacionados con el concepto de permeabilidad o penetrabilidad, que es la característica fundamental que va a controlar la llegada de agentes agresivos hasta la varilla. La permeabilidad del concreto a una determinada sustancia no depende solo del tamaño y número de poros, como en el caso de los materiales porosos inertes, sino que influyen en ella también fenómenos de absorción, las reacciones químicas que se pueden producir, el necesario equilibrio de capas eléctricas, etc. Todo ello hace que algunos autores [1-3] consideren que el concreto se comporta como una membrana semipermeable.

Cuando la humedad ambiental es suficiente, estos poros del concreto están rellenos por un líquido acuoso constituido principalmente por iones OH^- (alcalinidad elevada con un pH entre 12 y 14), Ca^{2+} , Na^+ , K^+ y So_4^{2-} . La cantidad relativa de cada uno de ellos depende del tipo y proporción de cemento utilizado y de la relación agua/cemento, fundamentalmente, además, esta composición varía con la edad del concreto, habiéndose demostrado que a partir de los 28 días de edad, el ión Ca^{2+} prácticamente desaparece de la disolución, que pasa a estar constituida casi completamente por NaOH y KOH. A esta elevada alcalinidad y con el contenido de O_2 normal en las estructuras enterradas o sumergidas, el acero se recubre de una capa de óxidos muy adherente, compacta e invisible (pasivante) que lo preserva indefinidamente de cualquier signo de corrosión, mientras el concreto sea de buena calidad, no esté fisurado y no cambie sus características físicas o químicas por agresiones exteriores [4].

Cuando las condiciones de servicio cambian y el concreto se altera, o a través de él penetran sustancias agresivas como los cloruros en ambientes marinos o dióxidos de carbón o azufre en ambientes urbano/industriales, la corrosión de las varillas se desencadena con una triple consecuencia: a) el acero disminuye su sección o incluso se convierte completamente en óxido; b) debido a las presiones que ejerce el óxido al generarse, el concreto puede fisurarse o desintegrarse; y c) la adherencia varilla-concreto disminuye o desaparece.

En ambientes urbanos o urbano/industriales, la carbonatación es un problema que actualmente está afectando a muchas estructuras en nuestros países, por esa diversidad de climas que poseemos, aunque en menor escala que el problema con los cloruros, pero se tienen dificultades similares para su predicción. Así, estos problemas tienen una relación directa con los parámetros meteorológicos del ambiente al cual se encuentran expuestas las estructuras.

Se han dado distintas definiciones al concepto de vida en servicio o vida útil relacionada con la idea de durabilidad de una estructura de concreto [5]. Desde el punto de vista de la corrosión de las varillas se ha propuesto un modelo simple, se está intentando definir todos los parámetros que llevarían a poder calcular previamente la vida en servicio o la durabilidad de una determinada estructura en condiciones de servicio con un coeficiente de seguridad suficiente. Estos modelos en conjunto con los resultados de la evaluación físico-química y electroquímica de las diferentes



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



probetas expuestas a ambientes naturales en nuestros países, permitirán definir una mejor forma de diseñar obras en concreto durables y reparar adecuadamente las ya existentes que presentan este problema.

Es por ello que este proyecto es de vital importancia para obtener la información faltante en cuanto al deterioro producido en las infraestructuras de concreto en general y su interdependencia con el ambiente en el que están expuestas. El hecho de poder contar con manuales que consideren el efecto del medio ambiente como parámetro de diseño estructural ha sido poco estudiado en todo el mundo, no solo en países en vías de desarrollo como México. Este proyecto sería la punta de lanza que nos ayudaría a estar en la vanguardia en este rubro de durabilidad de concreto que, en el ámbito mundial, ha estado desarrollándose de una manera continua.

Cabe aclarar que este proyecto tiene carácter internacional y es llamado DURACON, en donde el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) está fungiendo como coordinador de la parte Mexicana y el Instituto Eduardo Torroja (IETCC) como la coordinadora española.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Materiales utilizados

Todas las probetas fueron fabricadas con cemento Portland I o similar según nomenclatura mexicana de cementos. En la Tabla 1 se muestran los materiales utilizados para la fabricación del total de las probetas.

Tabla 1. Materiales utilizados en la fabricación de las probetas

Características del cemento	Portland Tipo I (Superficie específica Blaine a 3600 y (% de C_3A))
Características de los áridos	Árido silicio grueso triturado de 19 mm Arena cuarzosa
Características de las aditivos	0,3% respecto a peso de cemento de aditivo plastificante tipo Plastiment VZ de Sika o similar.

Se fabricaron un total de 12 probetas de dimensiones 15x15x30 cm para cada una de las estaciones de ensayo. Seis de las probetas eran de concreto simple y seis con acero reforzado con seis varillas de 10 mm de diámetro, con espesores de recubrimiento de 1.5, 2, 3 cm. La Figura 1 muestra un esquema con la disposición de las varillas en cada una de las probetas. La Figura 2 muestra a los especímenes en proceso de exposición en las estaciones de Querétaro y Chihuahua, México.

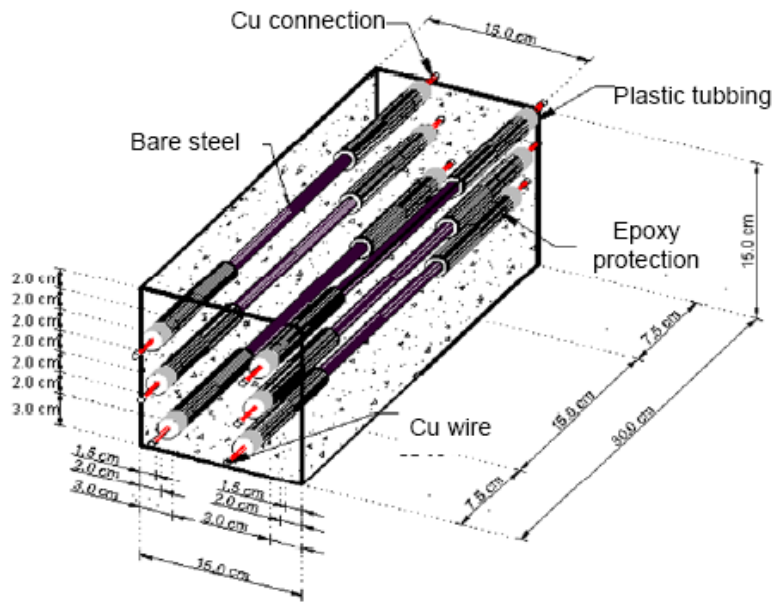


Figura 1. Sección transversal de la viga.



(a)



(b)

Figura 2. Estaciones de monitoreo de (a) Querétaro, México y (b) Chihuahua, México.

Ensayos para Determinar Profundidad e Carbonatación.

Los especímenes de concreto sin refuerzo se utilizaron para ser cortados en secciones tipo rodaja utilizando una máquina especial, tipo guillotina, diseñada para realizar cortes transversales a los especímenes de concreto de sección prismática. Estos cortes realizados fueron rociados con una solución indicadora de pH a base de fenofaleína, alcohol y agua destilada según referencia [6]. Se midieron las profundidades desde la superficie del espécimen hasta la zona



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



del cambio de color en por lo menos cuatro diferentes puntos. La profundidad de carbonatación se estimó con el valor promedio de las cuatro caras.

Monitoreo Ambiental

Para obtener los parámetros ambientales, se ubicaron los lugares de exposición cerca de estaciones de monitoreo ambiental pre-ubicadas por la institución responsable de la estación o de alguna estación climática que pudiera proporcionar los datos meteorológicos obtenidos. La Figura 3 muestra la estación de monitoreo ambiental de la ciudad de Querétaro, México.



Figura 3. Estación de Monitoreo Ambiental de la ciudad de Querétaro, México.

Los principales parámetros climático-ambientales que se registraron fueron la humedad ambiental, la concentración de cloruros, la concentración de sulfatos, el régimen de vientos, la precipitación, la temperatura y la concentración de CO₂.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Profundidad de Carbonatación

Las Figuras 4 y 5 muestran el avance de la carbonatación de las probetas de concreto sin refuerzo mediante la medición de la profundidad de la zona que no reaccionó con el indicador de pH (fenoftaleína), para los concretos con relación a/c de 0,45 y 0,65 respectivamente. Los resultados experimentales obtenidos en las estaciones mencionadas (15 en total) muestran un incremento en la profundidad de carbonatación muy marcado. Más para los concretos de relación a/c de 0,65 que para aquellos con relación a/c de 0,45.

De estos resultados se construyeron las gráficas de las Figuras 6 y 7 en donde se relaciona la raíz cuadrada del tiempo de exposición de las probetas en cada estación en función de la penetración de carbonatación. Los símbolos se colocaron de tal manera que se diferencien las estaciones marinas (símbolos y líneas en gris) de las urbanas (símbolos y líneas en negro)

Es interesante observar que las profundidades de carbonatación en la estación de Progreso es similar al del resto de estaciones, independientemente de su clasificación marina, debido posiblemente a la baja precipitación de los últimos años (menor que 70 mm/año), por lo que el CO₂ del ambiente ha penetra a la misma velocidad que en las estaciones urbanas. También es importante señalar la ausencia de carbonatación en las probetas con relación a/c 0.45 situadas en Madrid.

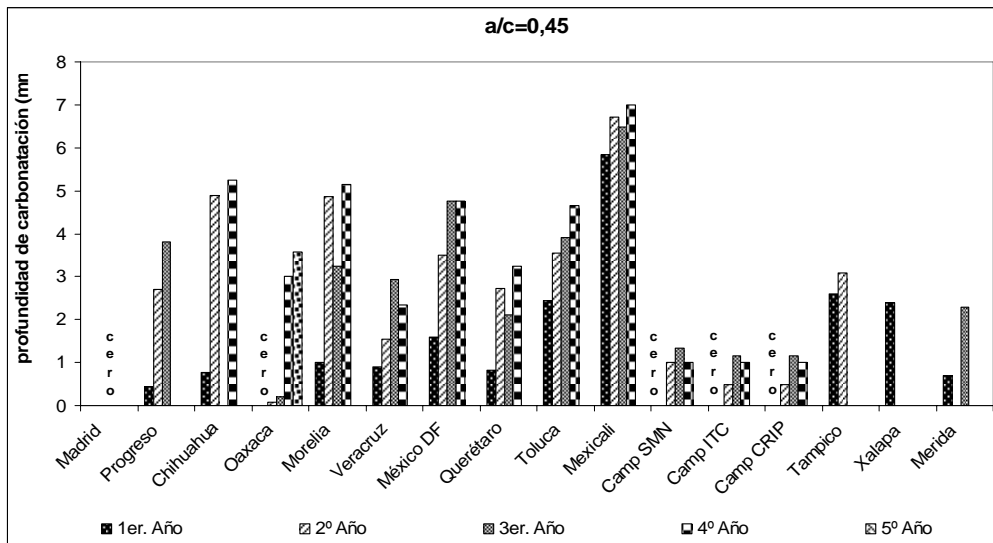


Figura 4. Profundidad de carbonatación en las 15 estaciones para el concreto con relación a/c = 0,45 en función del tiempo de exposición.

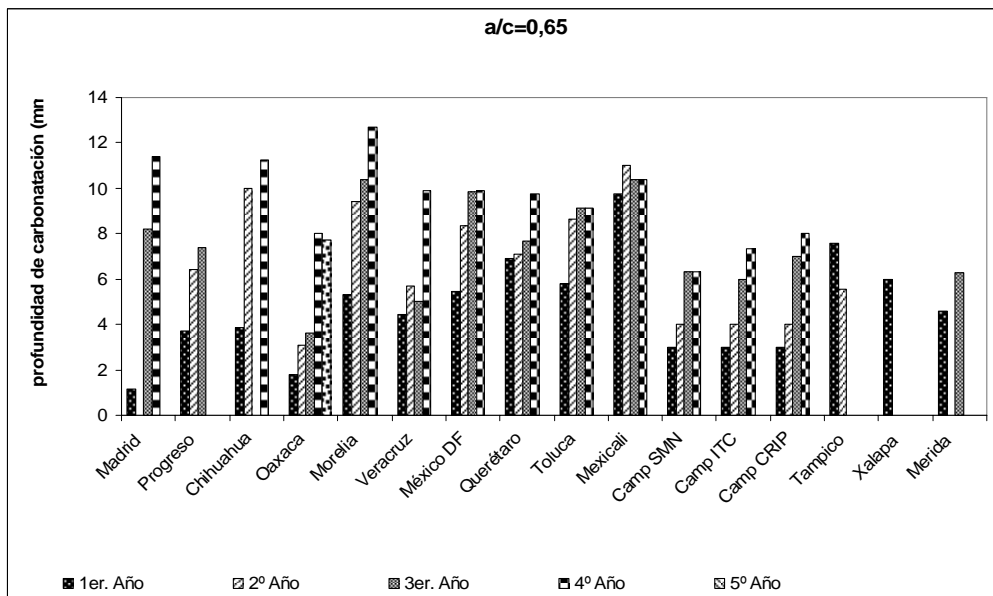


Figura 5. Profundidad de carbonatación en las 15 estaciones para el concreto con relación $a/c = 0,65$ en función del tiempo de exposición.

De los resultados obtenidos y graficados en las Figuras 6 y 7 se observa un comportamiento quasi asintótico en la mayoría de los datos recabados a partir de que $t^{1/2} \sim 1.5$.

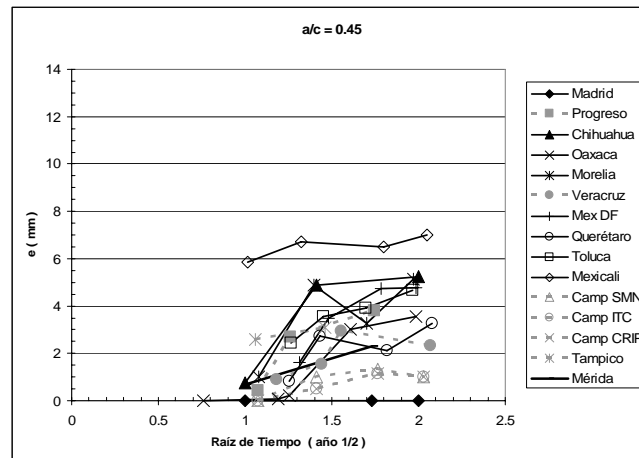


Figura 6. Relación entre la raíz cuadrada del tiempo de exposición y la profundidad de carbonatación para las 15 estaciones y concreto con relación $a/c = 0,45$.

Con base a los valores de profundidad de carbonatación (e_{CO_2}) en función de $t^{1/2}$ presentes en las Figuras 6 y 7, se estimaron las pendientes de las líneas de tendencia de cada estación presente en esta investigación. A esta pendiente se le puede considerar como la velocidad de carbonatación (V_{CO_2}) cuyas unidades son $mm/año^{1/2}$. Estos valores se presentan en las Tablas 2 y 3. El orden que en estas dos tablas presenta a las 15 estaciones se definió en función del valor de V_{CO_2} , yendo de valores mayores a menores. De esta manera se colocaron las estaciones en orden de la agresividad el medio.

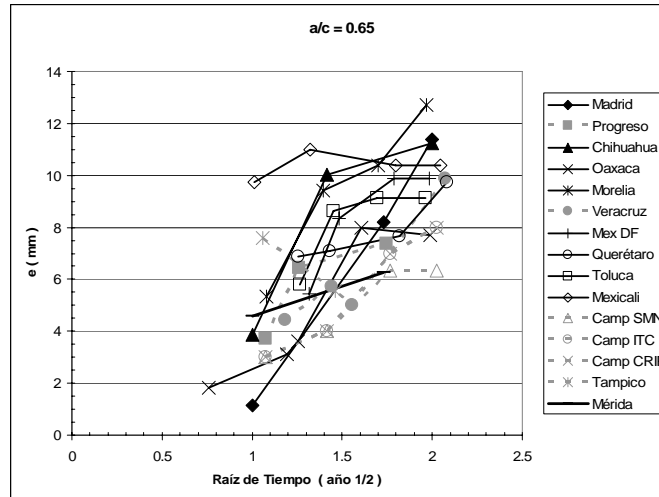


Figura 7. Relación entre la raíz cuadrada del tiempo de exposición y la profundidad de carbonatación para las 15 estaciones y concreto con relación $a/c = 0,65$.

Tabla 2. Valores de la Pendiente de las Tendencias obtenidas de la Figura 6 para los concretos con relación $a/c = 0,45$.

Estación	Pendiente [e_{CO_2} vs. $t^{1/2}$] (mm/año ^{1/2})
Mexicali (U)	4
Chihuahua (U) * [1,3]	2.6
Morelia (U)	2.38
Toluca (U)	2.3
Mex DF (U)	2.28
Tampico (U-M)	2.23
Progreso (U-M) [0,84]	1.81
Querétaro (U)	1.38
Veracruz (U-M)	1.25
Oaxaca (U)	1.21
Mérida (U) [0,93]	1.17
Campeche SMN (U-M)	0.56
Campeche CRIP (U-M)	0.47
Campeche ITC (U-M)	0.46
Madrid (U) [0,45]	0



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



* Concentración de CO₂ en la atmósfera en g/l; (U) = Estación urbana; (M) = Estación Marina; (U-M) = Estación Urbano/Marina

De estas dos tablas se puede también observar el comportamiento de las estaciones en cuanto a agresividad por CO₂ entre urbanas y marinas. Las urbanas ocupan la parte superior de ambas tablas, en comparación con las marinas que ocupan la parte baja de la misma.

Efecto de los Parámetros Metereológicos de las Estaciones de Exposición

En la Figura 8, Figura 9 y Figura 10 se resumen los valores ambientales medios de temperatura, humedad relativa y precipitación pluvial para las estaciones estudiadas. La información fue recabada por los responsables de las estaciones de monitoreo o a través de información disponible de estaciones meteorológicas gubernamentales cercanas a las estaciones de exposición de los especímenes de concreto. Estos datos fueron recabados en intervalos que pudieran ser de minutos u horas, analizados para dar valores promedios mensuales y finalmente valores medio anuales durante los casi cinco años de exposición.

Tabla 3. Valores de la Pendiente de las Tendencias obtenidas de la Figura 7 para los concretos con relación a/c = 0,65

Estación	Pendiente [e_{CO2} vs. t^{1/2}] (mm/año^{1/2})
Campeche SMN (U-M)	3,17
Mexicali (U)	6.3
Morelia (U)	6.23
Chihuahua (U) *[1,3]	5.78
Mex DF (U)	5.14
Toluca (U)	5.11
Tampico (U-M)	4.95
Madrid (U) [0,45]	4.77
Querétaro (U)	4.71
Progreso (U-M) [0,84]	4.32
Veracruz (U-M)	4.11
Oaxaca (U)	3.74
Mérida (U) [0,93]	3.67
Campeche ITC (U-M)	3.61
Campeche CRIP (U-M)	3.61

* Concentración de CO₂ en la atmósfera en g/l; (U) = Estación urbana; (M) = Estación Marina; (U-M) = Estación Urbano/Marina

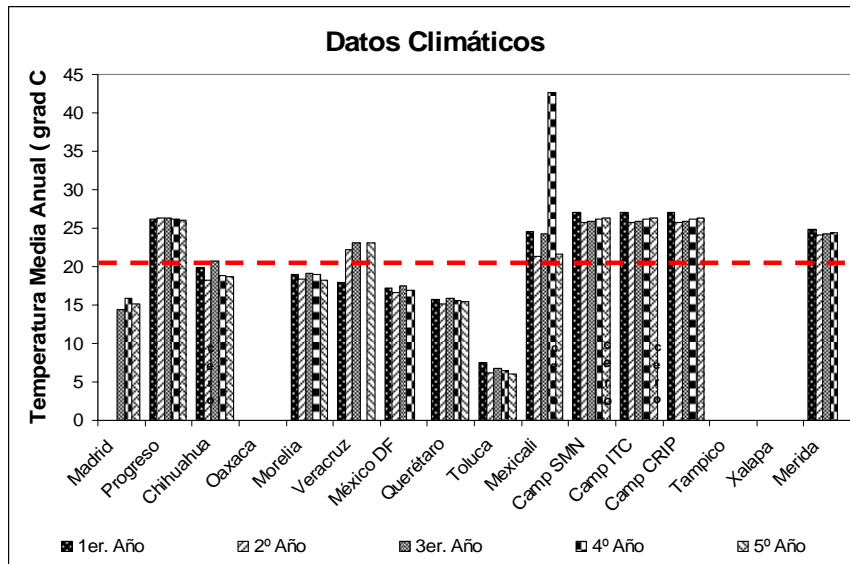


Figura 8. Valores promedio anual de Temperatura para las 15 estaciones de exposición de esta investigación.

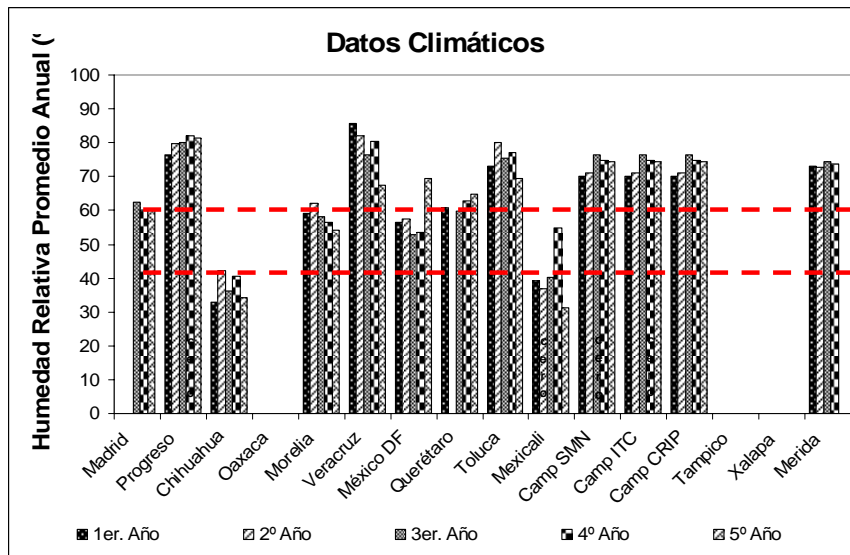


Figura 9. Valores promedio anual de la Humedad Relativa (HR) para las 15 estaciones de exposición de esta investigación.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



La línea horizontal punteada de color rojo de la Figura 8 corresponde a la temperatura de 20 °C que en esta investigación define cuando la estación se encuentra en un clima templado (debajo de esta línea) o caluroso (encima de esta línea). Con esta información de los parámetros meteorológicos se puede observar que la temperatura promedio anual no es un parámetro a considerar para determinar si un clima es agresivo para el caso de carbonatación. Esto se observa en los valores de las temperaturas promedio anual de las cinco ciudades mexicanas (Mexicali, Chihuahua, Morelia, Toluca y México DF) que se encuentran en primer lugar de agresividad para carbonatación del concreto, y listadas en orden descendente de agresividad en las Tablas 2 y 3. Mientras que Chihuahua y Mexicali presentan climas extremos en cuanto a temperaturas (> 40 °C en verano y < 5 °C en invierno) comparado con Morelia o la ciudad de México DF que posee una temperatura promedio muy estable de ~ 17 °C, la V_{CO_2} anda entre valores de 2 y 4 para concretos con relación a/c de 0,45, y entre 5 y 6 para 0,65.

Las líneas horizontales punteadas en color rojo de la Figura 9, corresponden a las humedades relativas que en esta investigación se proponen como el rango crítico, entre 40% y 60% que propician la carbonatación del concreto y que también son definidos estos valores en las referencias [4] y [6]. Como se puede observar de esta figura, las estaciones que ocupan la parte alta de las Tablas 2 y 3 se encuentran entre el rango de HR delimitado por las líneas rojas punteadas. Estos resultados concuerdan con trabajos en la literatura en donde, en ambiente controlado de laboratorio, la HR propicia para generar mayor carbonatación del concreto está comprendida entre estos valores [7]. Considerando que en exposición natural, el valor no es constante por lo que la posible correlación entre carbonatación y HR no es apreciable a simple vista. Para ello se preparó la gráfica de la Figura 11, en donde se colocaron los valores de la V_{CO_2} en función de la HR promedio anual de las estaciones estudiadas.

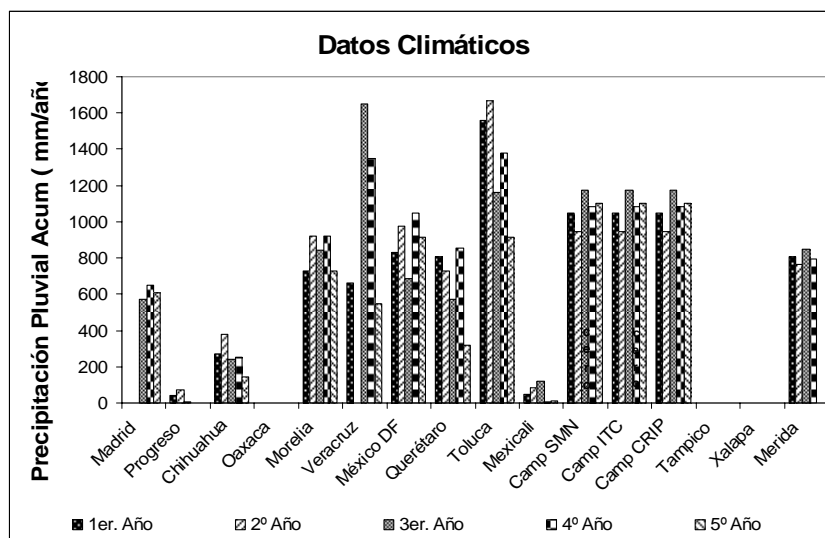


Figura 10. Valores acumulado anual de la Precipitación Pluvial para las 15 estaciones de exposición de esta investigación.

Como se puede observar en las tendencias de ambos concretos (a/c de 0,45 y 0,65) la V_{CO_2} es inversamente proporcional a la HR promedio anual del ambiente de exposición, para los intervalos estudiados (entre 40% y 80%). Esta tendencia es más notoria para el caso de los concretos con relación a/c de 0,65, en donde la regresión es la mejor de los dos concretos. Esta situación podría deberse a que los concretos menos porosos, que corresponden al caso del de relación a/c de 0,45, no poseen la capacidad de un intercambio de humedad entre el exterior (ambiente) y los poros del concreto, por lo que los cambios en la HR a diferentes horas y temporadas en las estaciones, impiden el transporte de gases dentro de los mismos, disminuyendo este efecto.

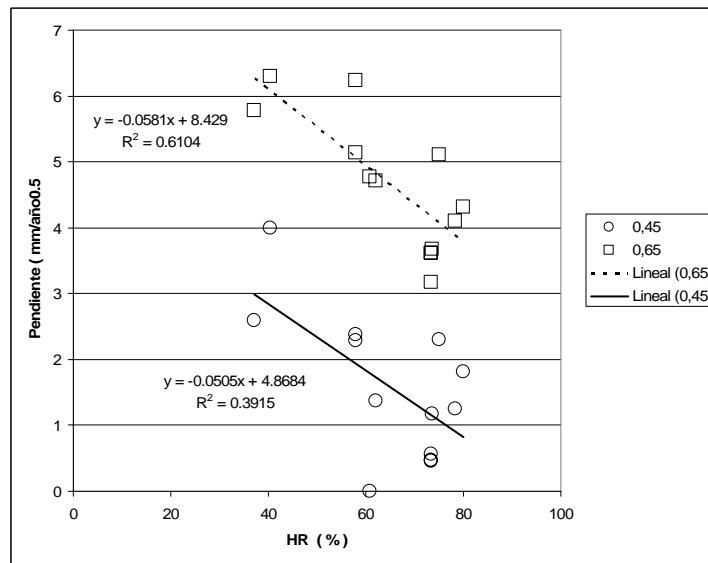


Figura 11. Relación empírica entre la V_{CO_2} y la humedad relativa (HR) de las estaciones estudiadas.

También es importante notar en esta figura que ambos tipos de concreto presentan una tendencia con pendiente muy similar, generándose así dos líneas casi paralelas.

Otro parámetro ambiental tomado en cuenta en este estudio fue la concentración de contaminantes en la atmósfera de la estación de exposición, en este caso del CO_2 . Los valores promedio anual, de los cinco años de exposición se muestran entre corchetes en las Tablas 2 y 3. Solo en cuatro estaciones se pudieron medir estos valores debido a que no en todas se disponía de equipo especializado para obtenerlos.

Es claro observar con los valores obtenidos que a mayor concentración de este contaminante en la atmósfera, mayor es la V_{CO_2} en el concreto, especialmente para aquellos con menos porosidad, ya que el orden de agresividad de carbonatación corresponde al orden de la concentración de CO_2 en la misma tabla, a diferencia únicamente de la



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



estación de Progreso, Yucatán, en donde Mérida con una mayor concentración de CO₂ medida, se encuentra por debajo de la estación de Progreso. Este se debe, posiblemente, a que la estación de Progreso además posee una menor HR y precipitación pluvial que la de estación de Mérida, por lo que el transporte en los especímenes de concreto de la estación de Progreso pudo haber sido influenciado además de la concentración de CO₂ con la HR del medio.

Cabe aclarar que las estaciones con mayor V_{CO_2} fueron las estaciones de Mexicali y Morelia, siendo que en ambas los microclimas fueron muy particulares y no representan al que podría ser de la ciudad correspondiente. Esto por que en el caso de Mexicali, la estación de exposición se encuentra muy cercana de la central termoeléctrica más grande de la ciudad.

Para el caso de Morelia el microclima fue afectado después del segundo año con la colocación de unos muros colindantes en la estación ubicada en la azotea del Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. Aunado a este cambio la estación está muy cerca de la chimenea que extrae del mismo laboratorio, los gases de azufre producidos en el cabeceo de cilindros de concreto utilizados en el mismo laboratorio para realizar las pruebas de resistencia a la compresión.

Por último también conviene aclarar que era de esperarse que la estación de la ciudad de México DF fuera la más afectada por carbonatación, por el hecho de que es la tercera ciudad más poblada del mundo y la segunda de mayor extensión del mundo. Pero la estación está colocada en la azotea del Edificio de la Facultad de Química dentro del complejo estudiantil de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), declarada este año Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO. Esta zona es famosa por poseer una amplia zona boscosa y húmeda, la cual no corresponde al entorno típico de la ciudad de México DF. Es por ello que hay que tomar con cautela la información y, hasta no tener información en el futuro de estaciones de monitoreo y exposición de especímenes de concreto, los resultados hasta ahora obtenidos podrán ser tomados con ciertas reservas.

CONCLUSIONES

1. Se pudo observar que, después de más de 4 años de exposición, los concretos presentaron un estado de carbonatación importante, principalmente los concretos con relación a/c mayor (0,65) que corresponderían a concretos más porosos.
2. Fue clara la diferencia entre la profundidad de la carbonatación en las estaciones urbanas y las estaciones urbano/marinas, indicando que las primeras tuvieron una velocidad de carbonatación mayor que las segundas.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008 Chihuahua; Chih. México Del 12 al 14 de Noviembre



3. El parámetro climatológico que afecta de una manera más importante en la carbonatación del concreto, que pudo obtenerse en esta investigación, fue la humedad relativa del medio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la participación de los siguientes responsables de estación: Dr. Benjamín Valdez (Estación Mexicali); Dr. Demetrio Nieves (Estación Tampico); Centro Tecnológico del Concreto de Cementos Apasco (Estación Toluca); Dr. Joan Genescá Llongueras (Estación México DF); Dr. Esteban López y MC Lidia Juárez (Estación Oaxaca); MI Eduardo Ariza Aguila (Estación Veracruz); Dr. Miguel Baltasar (Estación Jalapa). También se agradece el apoyo de la Dra. Oladis Troconis de Rincón por el apoyo para que este grupo participe en las actividades del Proyecto XV.3 DURACON de CYTED.

REFERENCIAS

- [1] C. Andrade, Revista Iberoamericana de Corrosión y Protección, Vol XV. No. 4, 1984.
- [2] C. Andrade, "Calculation of Chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements". Cement and Concrete Research, 23, 724-742 (1993).
- [3] C. Andrade, Sanjuán, M.A., Recuero, A. and Río, O. "Calculation of chloride diffusivity in concrete from migration experiments in non-steady-state conditions". Cement and Concrete Research, 24, 1214-1228 (1994).
- [4] C. Andrade Manual de Inspección de obras dañadas por corrosión de varillas, sept. 1988.
- [5] D.A. Lewis and Copesnhagen W. J. Industrial Chemist. Vol. 11 No. 10, 1957.
- [6] O. Trocónis de Rincón y Miembros de la Red DURAR."Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado". CYTED. ISBN 980-296-541-3 Maracaibo, Venezuela. 1997(1era. Edición). 1998, 2da. Edición.
- [7] E.I. Moreno, "Carbonation of Blended Cements," Ph.D. Dissertation, University of South Florida, December, 1999, Tampa, Florida, USA.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008
Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre

