

# EVALUACIÓN DE LA CORROSION EN ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO EXPUESTO AL AMBIENTE MARINO

L. CASTRO<sup>(1)</sup>  
H. BOLOGNINI GARRIDO\*<sup>(1)</sup>  
R.I. HERRERA<sup>(1)</sup>  
M.A. ROJAS<sup>(1)</sup>  
E. ANZOLA DE PARTIDAS<sup>(2)</sup>

1 TESISISTAS Y 2 TUTORA.

## RESUMEN

*En esta investigación se estudió el avance de los cloruros en un lapso de 4 años y la actividad electroquímica en vigas de concreto armado expuestas en ambiente marino y sometido a diferentes tiempos de curado y elaborados con distintos estados superficiales del acero de refuerzo, con la finalidad de simular las condiciones reales de construcción, que revelen recomendaciones necesarias para disminuir los daños por corrosión. Se elaboraron vigas de concreto premezclado de 30x30x100 cm, dos (2) por cada tiempo de curado y estado superficial.*

*Se realizaron ensayos de medición de potenciales y velocidad de corrosión, contenidos de cloruros, resistencia a la compresión, absorción capilar, resistividad eléctrica e inspección visual.*

*Se observó que el concreto empleado es de mala calidad por, lo que se pueden predecir problemas de corrosión en un futuro. Las mediciones electroquímicas realizadas indican un estado pasivo del acero de refuerzo, esperándose una potencial activación de los elementos.*

---

**Palabras Claves:** Concreto armado, corrosión, ambiente marino, curado, estado superficial.

### Introducción

El problema de la corrosión se agrava significativamente cuando existen condiciones propicias como es el caso del ambiente marino, que es altamente agresivo por la presencia de los iones cloruros, los cuales se depositan directamente sobre la cabilla rompiendo la capa pasivante y produciendo el desgaste de la misma en forma de picaduras. Por lo general, los cloruros provenientes de las brisas marinas atacan la estructura y la van debilitando con el tiempo, de tal manera que cuando ésta recibe sollicitaciones de esfuerzo provocada por algún agente externo como sismos, no soporta más que una pequeña parte de la carga para la que fue diseñada debido a la pérdida de sección que ocurre por la acción agresiva de los cloruros.

De allí que el elevado desarrollo constructivo en la zona costera venezolana imparte la necesidad de conocer la influencia que tiene el efecto de la agresividad del ambiente respecto a la durabilidad de las edificaciones de concreto armado, por lo que se viene desarrollando desde el año 2000 en el Decanato de Ingeniería Civil de la UCLA un proyecto de investigación cuyo fin es evaluar los principales agentes que influyen en la corrosión del acero de refuerzo del concreto armado, específicamente: el estado superficial del acero de refuerzo y el tiempo de curado,

vinculados directamente a las condiciones del material y a la durabilidad de la edificación. No obstante, tanto los materiales como las variables estudiadas, son las que frecuentemente se emplean en las construcciones de la zona del eje Tucacas - Chichiriviche - Puerto Cabello de Venezuela, siendo este el ambiente de exposición para el estudio, con el fin de poder realizar una investigación real que indique las recomendaciones necesarias para disminuir los daños por corrosión y por ende aumentar la durabilidad de las edificaciones.

### Procedimiento Experimental

#### Materiales

Los materiales que utilizaron en la elaboración de los elementos de concreto armado estudiadas en este trabajo, son los que normalmente se utilizan en la zona de Morón-Tucaras - Chichiriviche; concreto premezclado proveniente de una planta ubicada en la zona; el concreto se encuentra compuesto por Cemento Pórtland tipo I, agregados de la zona de estudio, agua de abastecimiento Municipal, y aditivo plastificante; emplearon una resistencia de diseño de 250 Kg./cm<sup>2</sup>. Acero transversal de 0,95 cm de diámetro y acero longitudinal de 1,27 cm.

### Variables a Estudiar

Estado superficial de acero: La investigación se llevó a cabo considerando tres estados superficiales para el acero de refuerzo, los cuales se seleccionaron según el tiempo de exposición al ambiente marino de la zona. Los estados superficiales escogidos fueron los siguientes:

Estado superficial I: acero con una semana de exposición

Estado superficial II: acero con un mes de exposición

Estado superficial III: acero con 1 año de exposición.

Tiempo de curado: Se estudiaron cuatro tiempos de curado, por el método del rociado; teniendo como patrón el curado al aire, y los otros tres dados por: un día de curado, tres días de curado y siete días de curado.

### Elaboración de Probetas

Se elaboraron doce probetas; dos elementos por cada tiempo de curado (1, 3 y 7 días) dejando fijo el estado Superficial II, y las seis probetas restantes corresponden a dos vigas por cada estado Superficial (I, II y III) todas curadas al aire. El espesor de recubrimiento y la relación agua /cemento utilizado para la confección de las vigas fue de 5 cm. y 0,6 a/c respectivamente, cuatro cabillas de 1,27 cm de diámetro como acero de refuerzo longitudinal, perforaron dos de ellas para la conexión eléctrica, y acero transversal de 0,95 cm de diámetro.

### Ambiente de Exposición

Las probetas fueron ubicadas en ambiente marino natural en la zona de Tucacas con la colaboración de una empresa de premezclado, desde Mayo de 2000 hasta Mayo de 2001. A partir de esta fecha se instaló una estación experimental en la Base Naval de Puerto Cabello, para evaluar corrosión en el concreto, por lo que se decidió trasladar los elementos por razones de logística para las mediciones.

### Ensayos para evaluar el efecto de curado

#### Resistencia a la Compresión

Esta evaluación se realizó mediante un ensayo destructivo a compresión usando muestras testigos de 50 cm. de diámetro y 100 cm. de altura, extraídos de las vigas. Para este ensayo fue utilizada la máquina universal, dado que los elementos cumplían con las especificaciones de la norma ASTM C-42 referente a que la altura de la muestra debe ser dos veces el diámetro no fue necesaria ninguna corrección.

#### Porosidad

El ensayo consistió en tomar la muestra testigo y secarla a 105 ° C por 24 horas o hasta que alcanzara peso constante, luego se sumergió totalmente en agua durante 24 horas, en ese tiempo se registró su peso (saturado de agua) y sumergido, este último se obtuvo con la ayuda de una balanza hidrostática.

#### Sorción Capilar

Este ensayo fue realizado sobre especímenes de concreto de espesor  $H \leq 50$  mm, luego de un pre-acondicionamiento de secado a 50° C por 48 horas (hasta peso constante) y posterior enfriamiento en desecador. Luego de registrar su peso inicial ( $W_0$ ), la muestra fue cubierta con resina o parafina en las áreas laterales, para evitar que el agua penetrara por los lados de la misma. Seguidamente las muestras fueron colocadas sobre una esponja húmeda en el interior de una cubeta de fondo plano, teniendo cuidado de que el nivel del agua sólo llegara a 3 mm. Por encima de la parte inferior de la probeta de ensayo, cuidando que el agua no se evaporara. La sorción capilar ( $s$ ) fue determinada a través del coeficiente de sorción capilar ( $k$ ), el cual es la pendiente de la gráfica de  $((W_t - W_0)/A) \text{ Vs } t$  para cada uno de los tiempos de curado (1).

#### Resistividad Eléctrica

Este ensayo se realiza con el medidor de resistividad eléctrica del Gecor 6, dichas mediciones fueron tomadas garantizando una buena saturación de los elementos además de un buen contacto del instrumento y el espécimen, teniendo cuidado de que los puntos de medición no coincidiesen con el acero.

### Penetración de Cloruros

Para realizar este ensayo fueron extraídas de las vigas núcleos de diámetro 5 cm Seguidamente se cortaron los núcleos con un disco de corte seco en rodajas de un centímetro.

Una vez obtenidas las rodajas, estas fueron trituradas utilizando una trituradora, un molino y un mortero de hierro fundido, hasta lograr que toda la muestra pasara por tamiz N° 50. Luego fueron introducidas debidamente identificadas en la estufa a una temperatura de 105° C hasta que alcanzaron peso constante, seguidamente se procedió a pesar tres veces, 5 gr. de muestra seca.

Cada una de las muestras obtenidas fue diluida en 50 ml. de agua deionizada y agitándose por tres minutos, posteriormente se filtró utilizando un papel de filtro WHATMAN # 40, lavando bien el papel de filtro. A continuación el líquido pasante fue diluido hasta completar 250 ml de muestra, luego se le agrego 2 ml de ácido nítrico concentrado, para finalmente proceder a titular según el método de Morh (titulación directa con nitrato de plata e indicador de Cromato de potasio).

## Ensayos para evaluar el efecto del estado superficial

### Medición de potenciales

El equipo que se empleó para la medición fue el multimetro digital modelo WAVETEKDM27XT, con un electrodo de referencia de Cu/Cuso4 siguiendo la norma ASTM C876-87 (2). Este ensayo se realizó asegurando una buena saturación de los elementos y colocando el electrodo de referencia sobre la dirección del refuerzo longitudinal.

### Velocidad de Corrosión

Para la medición de la velocidad de corrosión fue utilizado el corrosímetro Gecor 6, El equipo GECOR6 determina la velocidad instantánea de corrosión en estructuras de hormigón armado, utilizando para ello la técnica de la Resistencia de Polarización aplicada mediante el confinamiento sensorizado de la señal. La Resistencia a la polarización (Rp), se relaciona con la icorr a través de la formula de Stern y Geary.(3)

## Resultados y Análisis

### Efectos del curado

#### Resistencia a la Compresión

La figura N° 1 presenta los valores obtenidos de la resistencia a la compresión de los elementos, al final de la ultima fase de la evaluación (4 Años). La resistencia de diseño utilizada para elaborar los elementos en estudio fue de  $f'c$  25 Mp, al compararla con las resistencias obtenidas en este ensayo se observa que para las vigas sin curado y con un día de curado muestran una resistencia a la compresión un 3% por debajo a la de diseño de 24.29, 24.42 Mp respectivamente, caso contrario para las que tiene tres y siete días de curado, para las cuales se obtuvo una resistencia mayor en un 11% aproximadamente a la de diseño de 27.98 y 27,34 Mp respectivamente, estos resultados muestran la influencia del curado en esta propiedad.

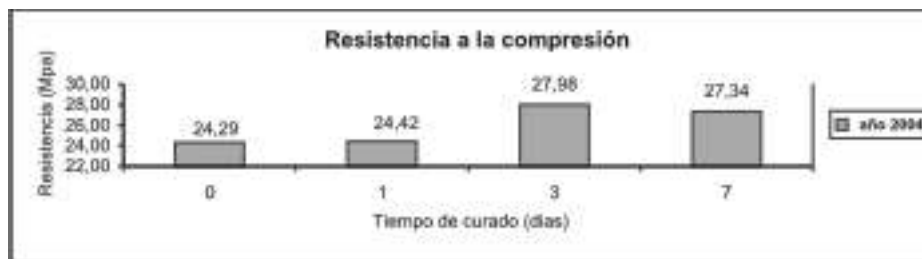


Figura 1 Resistencia a la Compresión

### Porosidad

En la Figura N° 2 se muestran los valores de porosidad a los 365 días y a los 1460 días, se observó la disminución de esta propiedad a través de los años, Al año de elaboradas las vigas los valores de porosidad fueron todos muy cercanos al 20 % lo que indica un concreto de

durabilidad inadecuada; siendo este % muy similar entre los cuatro tiempos de curados estudiados, lo cual no refleja ninguna diferencia entre curar o no curar. En el año 2004 se obtuvieron valores de porosidad mayores al 15% para las vigas sin curar evidenciando esto un concreto de durabilidad inadecuada; y entre 15% y 10% en los demás elementos.

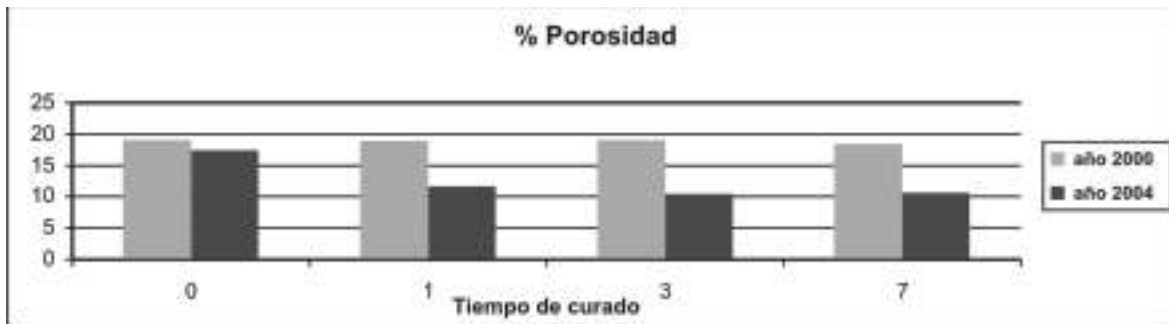


Figura 2. % de Porosidad al inicio de la exposición y luego de 4 años.

### Sorción Capilar

Los resultados de los ensayos se determinaron a partir del coeficiente (K) que se obtiene de la relación entre el peso del agua por unidad de área para un tiempo t. La figura N° 3 muestra los valores de sorción capilar tanto en la fase inicial como en la última fase de evaluación. Los resultados encontrados señalan que la Sorción capilar disminuye con el tiempo, ya que los valores reportados en el año 2000 son mucho más elevados que los del año 2004, lo cual coincide con los resultados de porosidad, siendo una posible causa de esto, la reducción de los poros conectados.

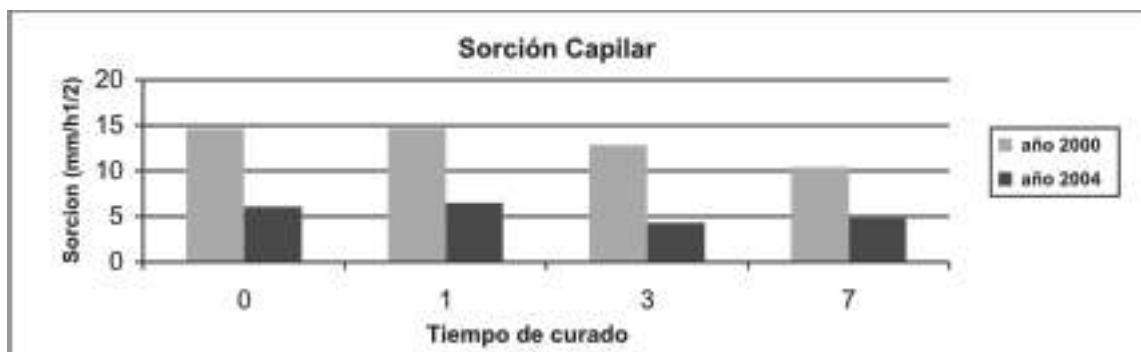


Figura 3. % de Sorción Capilar al inicio de la exposición y luego de 4 años.

### Resistividad Eléctrica

La figura N° 4 muestra los valores de resistividad obtenidos en la última fase, no se compara con los valores iniciales debido a que de estos no se tiene información. Los ensayos realizados arrojaron que las vigas sin curar y curadas en un día, tienen una menor resistividad, valores comprendidos entre 5 y 12 K\*cm, resultando entre alto y moderado riesgo según el criterio de valoración; en comparación con las de 3 y 7 días de curado, las cuales mostraron valores de resistividad mayores, aproximadamente de 10 K\*cm, señalando poco riesgo.

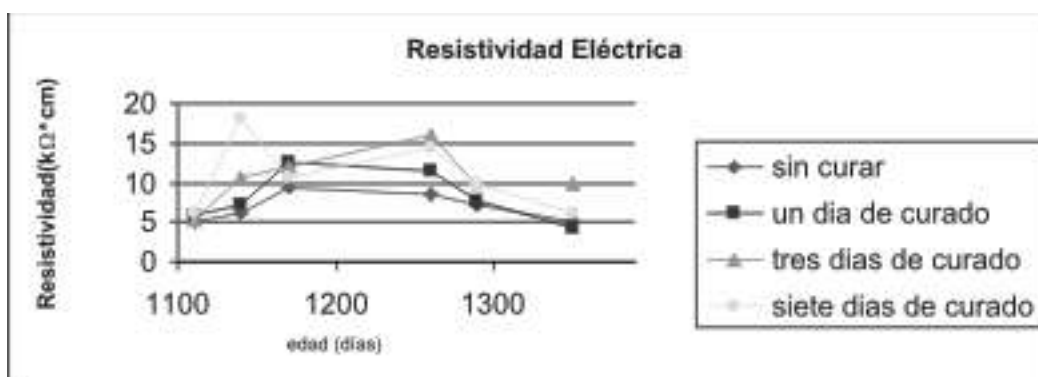


Figura 4. Resistividad Eléctrica

### Penetración de Cloruros

La figura N ° 5 muestra los % de cloruros obtenidos, según los resultados se observa que para el nivel de 2 cm. de profundidad se puede afirmar que hay suficiente presencia de cloruros para despasivar al acero, según criterio del manual de reparación de estructuras dañadas por corrosión de carmen Andrade (4), en donde el % de cloruros en base al peso del concreto suficiente para despasivar al acero es de 0.05% al 0.1% , los valores obtenidos para las vigas con uno, tres, siete días de curado están muy cercano al umbral inferior del criterio de valoración utilizado, a diferencia de la viga sin curado en la cual el % de cloruros resultante es de 0.15 % mayor al % de cloruros suficiente para despasivar el acero de refuerzo, para 3 cms.

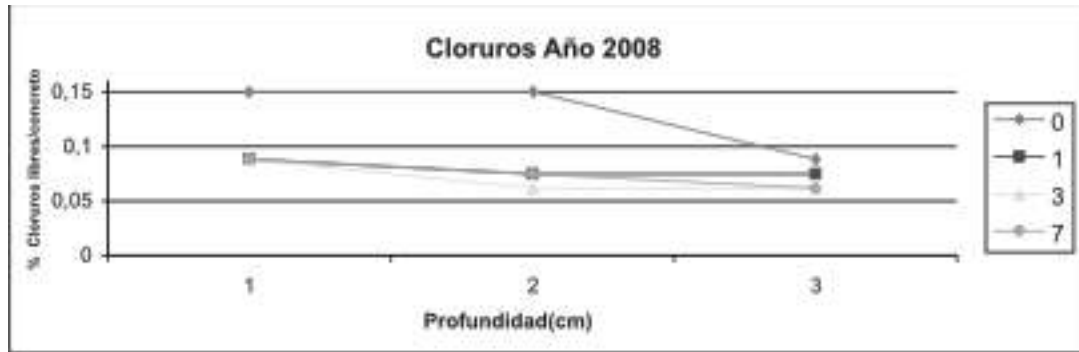


Figura 5. Perfil de Cloruros a los 4 años

### Efecto del Estado Superficial

#### Potenciales de Corrosión

La grafica N ° 6 muestra los potenciales electroquímico desde el inicio de la evaluación fase 1 (año 2000-2001) hasta la última fase Se observa que desde el inicio los valores obtenidos de potenciales eléctricos se mantuvieron en un rango pasivo entre -100 y -150 mv manteniéndose esta tendencia en la siguiente fase de evaluación y por último para la tercera fase se visualiza que los potenciales se vuelven menos electronegativos ( permaneciendo en el rango pasivo) hasta alcanzar valores entre -50 y -100 mv para el estado superficial tres y para los otros dos estados superficiales presentan una leve disminución de pontenciales ( más electronegativos) entre -150 y -200. Indicando para todos los casos una pasividad del acero de refuerzo para los 3 estados superficiales estudiados.

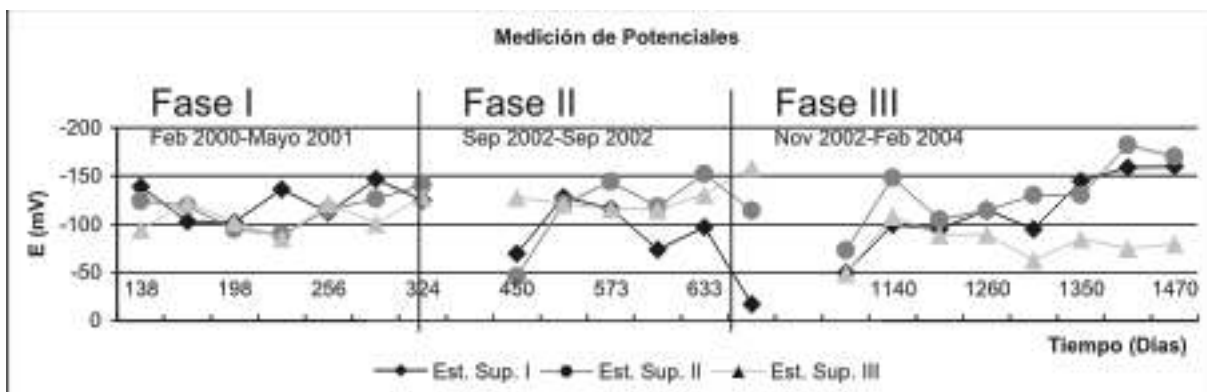


Figura 6. Gráfica de Potenciales Eléctricos

#### Velocidad de Corrosión

En la figura N ° 7 se puede observar el comportamiento de la velocidad de corrosión desde la primera fase de estudio que los valores de icorr resultantes para el estado superficial III son elevados desde el inicio debido a la condición de su estado superficial, el cual se mantiene en el tiempo. Para los estados superficiales I y II, los valores obtenidos de icorr en la fase 1 son valores bajos, observándose un aumento a partir de los 268 días hasta alcanzar valores mayores a  $0.2 \mu\text{a}/\text{cm}^2$  en la fase 3, indicando un riesgo de corrosión moderado según criterio de valoración; y además los valores de velocidad de corrosión para esta ultima fase de evaluación, son menores para el estado superficial I (0.05) que para estado superficial II. (0.085)

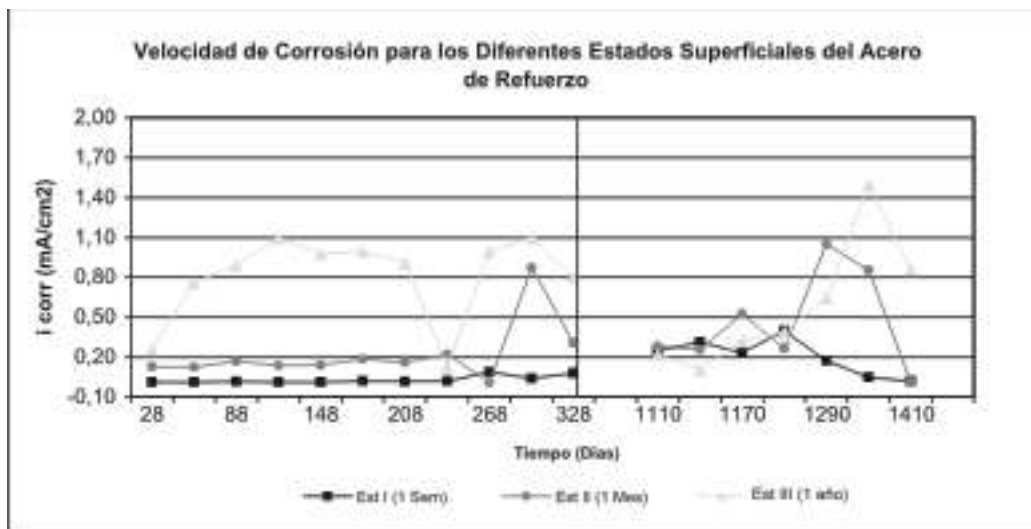


Figura 7. Gráfica de Velocidad de Corrosión

## CONCLUSIONES

El tiempo de curado realizó un efecto de disminución de poros evidenciado en los resultados de porosidad, Sorción capilar, resistividad eléctrica y penetración de cloruros.

Con un tiempo de curado por tres días se obtiene un concreto de buena calidad y de características muy semejantes a los de curado por siete días, el cual se recomienda para ambientes marinos.

El usar recubrimientos de concreto suficientes para el acero como el recomendado de cinco centímetros en ambientes marinos, contribuyen a prolongar la vida útil de una estructura aunque el concreto presente una calidad inadecuada para estos ambientes.

El uso de acero con estado superficial inadecuado hasta la fecha no ha originado problemas de corrosión. El problema de la corrosión se agrava significativamente cuando existen condiciones propicias como es el caso del ambiente marino, que es altamente agresivo por la presencia de los iones cloruros, los cuales se depositan directamente sobre la cabilla rompiendo la capa pasivante y produciendo el desgaste de la misma en forma de picaduras. Por lo general, los cloruros provenientes de las brisas marinas atacan la estructura y la van debilitando con el tiempo, de tal manera que cuando ésta recibe solicitaciones de esfuerzo provocada por algún agente externo como sismos, no soporta más que una pequeña parte de la carga para la que fue diseñada debido a la pérdida de sección que ocurre por la acción agresiva de los cloruros.

De allí que el elevado desarrollo constructivo en la zona costera venezolana imparte la necesidad de conocer la influencia que tiene el efecto de la agresividad del ambiente respecto a la durabilidad de las edificaciones de concreto armado, por lo que se viene desarrollando desde el año 2000 en el Decanato de Ingeniería Civil de la UCLA un proyecto de investigación cuyo fin es evaluar los principales agentes que influyen en la corrosión del acero de refuerzo del concreto armado, específicamente: el estado superficial del acero de refuerzo y el tiempo de curado, vinculados directamente a las condiciones del material y a la durabilidad de la edificación. No obstante, tanto los materiales como las variables estudiadas, son las que frecuentemente se emplean en las construcciones de la zona del eje Tucacas - Chichiriviche - Puerto Cabello de Venezuela, siendo este el ambiente de exposición para el estudio, con el fin de poder realizar una investigación real que indique las recomendaciones necesarias para disminuir los daños por corrosión y por ende aumentar la durabilidad de las edificaciones.

## Referencias Bibliográficas

1. O TROCÓNIS, L ULLER. 1998. "Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en Estructuras de Hormigón Armado". Red DURAR y CYTED.
2. ASTM C876-87
3. O TROCONIS, M SANCHEZ. 1992. "Técnicas utilizadas para

el monitoreo de corrosión en estructuras de concreto reforzada con acero" I Simposio sobre estructuras de concreto armado, control de corrosión y rehabilitación, Maracaibo.

4. C ANDRADE, S FELIU. 1989. "Manual de inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras". Instituto Eduardo Toraja. España.