



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



**EFEECTO DE LA CORROSIÓN DEL REFUERZO TRANSVERSAL EN LA  
CAPACIDAD A CORTANTE POR TENSION DIAGONAL DE VIGAS DE  
CONCRETO REFORZADO**

**Bianca Guevara<sup>1</sup>, César Juárez<sup>2</sup>, G. Fajardo<sup>2</sup>, P. Castro-Borges<sup>3</sup>.**

1. Estudiante de la Maestría en Ciencias en Materiales de Construcción, UANL, Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria, CP. 66450, San Nicolás de los Garza, N.L. México.
2. Profesor-Investigador, Facultad de Ingeniería Civil, UANL, Av. Universidad s/n, Cd. Universitaria, CP. 66450, San Nicolás de los Garza, N.L. México.
3. Investigador Titular, Depto. Física Aplicada, CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, Km 6 Ant. Carr. Progreso, CP. 97310 Mérida, Yucatán, México.

**RESUMEN**

Esta investigación propone realizar estudios en vigas de concreto reforzado, en las que se induzca un deterioro controlado por corrosión en el refuerzo transversal encontrando correlaciones entre diferentes grados de corrosión en los estribos y la resistencia por cortante debido a la tensión diagonal. Se fabricaron 2 series de 8 vigas con una separación de 15 y 20 cm entre estribos para cada serie. Las vigas están siendo expuestas a ciclos de humectación utilizando una solución de 3.5% de NaCl y secado al aire libre. Aquí se discuten resultados preliminares asociados al seguimiento del potencial y de la velocidad de corrosión de los estribos antes y durante la exposición de las vigas al cloruro de sodio. Los resultados obtenidos permitirán conocer el efecto del grado de deterioro de los estribos sobre el comportamiento por cortante en las vigas, y el correspondiente patrón de agrietamiento.

**Palabras clave:** Corrosión, Cortante, Tensión Diagonal, Cloruros, Refuerzo Transversal.

**ABSTRACT**

This research in progress is based on the testing of reinforced concrete beams. A controlled deterioration by corrosion is induced in the transversal reinforcement of these beams in order to find correlations between the different degrees of corrosion in the stirrups and the shear strength by diagonal tension. Two series of eight beams were prepared: The first with stirrups placed at 15 cm spacing while the second at 20cm spacing. The beams are being exposed to wetting/drying cycles. Wetting cycles are created by subjecting the beams to a 3.5% solution of sodium chloride (NaCl) and in the drying stages the beams are left to dry in atmosphere conditions. Preliminary results related to the monitoring of corrosion potential and the advance of the degree of corrosion in the stirrups before and during exposure to the NaCl solution are presented. These results will allow a better understanding of the effect that the degree of deterioration of the stirrups have over the behavior of the beams in relation with diagonal tension and the associated cracking pattern.

**Keywords:** Corrosion, Shear, Diagonal Tension, Chlorides, Transversal Reinforcement.



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



## INTRODUCCIÓN

Históricamente, el diseño de las estructuras de concreto se ha realizado con el criterio de la resistencia mecánica; gracias a éste se ha logrado tener estructuras que soportan adecuadamente las cargas de servicio; sin embargo, se han encontrado problemas relacionados con el medio ambiente en el que se encuentra la estructura.<sup>1</sup> En los últimos años, ha crecido el número de estructuras de concreto reforzado con problemas de corrosión en el refuerzo y ha resultado ser un problema serio en puentes, estructuras para estacionamientos y otras estructuras de carreteras en las cuales durante el invierno se usan sales para particular descongelamiento, también en estructuras expuestas a un ambiente atmosférico marino y en plantas productoras de sustancias químicas. Debido a esto, la corrosión en el sistema acero-concreto, es un fenómeno que desde hace décadas despertó el interés de muchos investigadores a nivel mundial, esto debido a la importancia del concreto reforzado como el sistema de construcción más utilizado en el mundo <sup>2</sup> y que la corrosión del acero de refuerzo, representa en forma integral el problema de durabilidad que más afecta a las estructuras de concreto reforzado. Siendo entonces uno de los deterioros que mayor costo induce en el mantenimiento y operación de las diversas construcciones que se realizan con este material.<sup>3</sup>

En 1990 se realizó un estudio del impacto que produce el costo económico originado por la corrosión en estructuras de concreto reforzado, el resultado fue que entre el 2 y el 5% del Producto Nacional Bruto (PNB)<sup>1</sup> de cada país se destina a subsanar los problemas de corrosión; pero entre un 15 y 25% se pudo haber evitado si se hubiese aplicado la tecnología existente para contrarrestarla.<sup>1</sup> Actualmente, en México no se tienen datos que permitan determinar la situación actual, aunque se ha detectado que más del 90% de las industrias presentan deterioros por corrosión, por ejemplo en Yucatán los costos por corrosión rebasan el 8% del Producto Interno Bruto (PIB) estatal, otro ejemplo es el Reino Unido, un país desarrollado, que destina 40% de la inversión en construcción a la reparación y al mantenimiento, 4% de su Producto Interno Bruto.<sup>1</sup> Por otra parte, en los Estados Unidos de América se calcula un costo de 300,000 millones de dólares por fallas en la infraestructura; así mismo, se estima que de esa cantidad, es posible evitar pérdidas por alrededor de 100,000 millones de dólares tomando medidas de prevención contra la corrosión.<sup>4</sup>

Los principales agentes agresivos son los cloruros en regiones marinas y la carbonatación en zonas rurales e industriales. La combinación de los agentes agresivos acelera el proceso de degradación de las estructuras de concreto reforzado; pero la resistencia de éstas dependerá tanto de la resistencia del concreto, como de la resistencia del refuerzo, cualquiera de los dos que se deteriore, comprometerá la estructura como un todo. Sin embargo, ni la alta alcalinidad o la baja permeabilidad del recubrimiento pueden garantizar que el acero de refuerzo pueda resistir a la corrosión indefinidamente, especialmente en ambientes marinos.<sup>5</sup> Por lo general, la acción de éstos agentes propicia que el proceso de corrosión se inicie en el refuerzo transversal (estribos), cuyo acero es el más próximo a la superficie del concreto. Esto afecta la capacidad a cortante por tensión diagonal de la estructura, sin embargo, no se ha encontrado en la literatura extensas soluciones a este problema en condiciones de escala natural y con métodos modernos de ensayos mecánicos. De tal manera, la presente investigación pretende correlacionar los parámetros de corrosión y la capacidad a cortante por tensión diagonal que permita



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



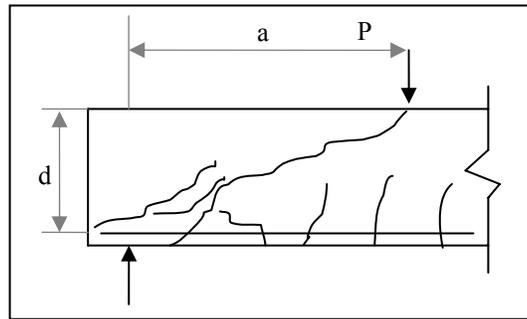
predecir una relación confiable entre el comportamiento estructural y la durabilidad de vigas de concreto reforzado.

### ASPECTOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

Como es conocido el concreto es más débil en tensión, aproximadamente diez veces menor que su resistencia en compresión. Estrictamente, las fallas por cortante, son fallas por tensión diagonal, y en ocasiones, por compresión diagonal. Básicamente, se puede decir que el modo de falla de una viga se determina por la relación de esbeltez ( $a/d$ ) de la misma; es decir, la relación entre la distancia del apoyo al punto de aplicación de la carga, conocido como claro cortante ( $a$ ) y el peralte efectivo de viga ( $d$ ). La simple falla por tensión diagonal ocurre cuando el claro de cortante es mayor que  $3d$  o  $4d$  en tales condiciones, existe suficiente espacio para que toda la grieta se desarrolle hasta la falla. A medida que el “ $a$ ” se reduce, la carga en sí empieza a influir en la grieta diagonal cada vez más, de una manera tal que aumenta la capacidad para cortante. Se desarrollan a una distancia aproximada de  $1.5d$  a  $2d$  del paño del apoyo.<sup>6</sup> Se ha demostrado que cuando existe una relación  $a/d$  entre 1.5 y 7 para cargas concentradas, la falla que se genera es de tensión diagonal, debido a que la resistencia de este mecanismo es menor que su resistencia en flexión.<sup>2</sup>

La falla por cortante es frágil y catastrófica; usualmente, en el diseño estructural el cortante es resistido por un refuerzo transversal. Si una viga diseñada deficientemente por cortante se sobrecarga hasta la falla, se puede presentar un colapso por cortante en forma súbita, con la aparición de deflexiones relativamente pequeñas, presentándose por consiguiente anchos de grietas menores que los de flexión. Esto contrasta con la naturaleza de la falla a flexión, la cual se inicia con una fluencia gradual en el acero a tensión, simultáneamente se presenta un agrietamiento obvio del concreto y grandes deformaciones que advierten sobre el problema y dan la oportunidad de tomar decisiones correctivas. Estas diferencias de comportamiento entre flexión y cortante, por lo general originan que se coloque acero de refuerzo por cortante en las vigas de concreto reforzado, con el objetivo de garantizar una falla a flexión antes de que ocurra la falla a cortante en caso de que el elemento se sobrecargue en exceso o presente algún deterioro.<sup>7</sup>

El tipo de grietas por tensión diagonal surgen inmediatamente después de desarrollarse algunas grietas finas verticales de flexión en el centro del claro a medida que aumenta la carga externa, seguida por la pérdida de adherencia del acero de refuerzo y el concreto que lo rodea en la región del apoyo (ver figura 1). Sin embargo, en la actualidad se reconoce que es aceptable el agrietamiento diagonal bajo condiciones de carga de servicio, con tal que los anchos de grietas permanezcan dentro de los mismos límites aceptados para las grietas de flexión.<sup>2</sup>



*Figura 1. Falla por tensión diagonal*

## ASPECTOS SOBRE DURABILIDAD

Recientemente, se ha estudiado la influencia del agrietamiento y carga continua en la permeabilidad del concreto.<sup>8</sup> Se ha observado que dos especímenes idénticos de concreto reforzado con diferencias en el ancho de grieta, el tiempo de iniciación de corrosión es sustancialmente corto, pero la velocidad de corrosión después de haber iniciado no es significativamente influenciada por el ancho de grieta. También se ha investigado la influencia del ancho de grieta en el proceso de corrosión usando diferentes proporciones de mezcla y se encontró que cuando permanecen grietas relativamente pequeñas (< 1.0 mm), tienen un pequeño impacto en el proceso de corrosión, y en grietas grandes (> 1.0 mm) incrementa la velocidad de corrosión y reduce el funcionamiento total de la estructural.<sup>8</sup> Por lo tanto, es importante considerar el control del ancho de grieta en el diseño por durabilidad de estructuras de concreto reforzado. En otras investigaciones<sup>9</sup> se estudió el comportamiento corrosivo y estructural en vigas de concreto reforzado expuestas a un ambiente de cloruros durante 17 años y se observó que después de la primera carga mecánica a los 28 días de edad el ancho de las grietas fue superior a 1.0 mm, también se encontró, que la penetración total de cloruros en zonas de tensión y de compresión fue de 16 mm de espesor; pero después de 5 años el contenido de cloruros excedió las normas RILEM y ACI, y se incrementó rápidamente el contenido de cloruros en la zona a tensión. En el 2001 se encontró<sup>10</sup> en vigas de concreto reforzado que a partir del máximo potencial negativo hasta la aparición de la primera grieta, abarcó un período de 30 y 40 días, después de haber iniciado el proceso corrosivo.

Estudios realizados recientemente<sup>11</sup>, determinaron en vigas de concreto reforzado que en un medio sin la aplicación de corriente externa, no se manifestaron grietas en el período estudiado; pero con la aplicación de corrientes de 10 y 100  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  en un medio con cloruros (0.3%) se produjo rápidamente la aparición de las primeras grietas, pero se mantuvo con un bajo crecimiento en la vigas con y sin carga. En cambio, se incremento rápidamente, en el medio alcalino con altas densidades de corriente, y más notable aún en el caso de vigas bajo carga. Este incremento de las áreas de agrietamiento, manifestaron grietas de espesores de 0.30 mm. Por otro lado, se ha investigado<sup>8</sup> acerca de la interacción entre carga, corrosión y serviciabilidad en estructuras de concreto reforzado, encontraron que a un nivel alto de carga da lugar generalmente a una reducción en la iniciación del proceso de corrosión, a una velocidad de corrosión alta y a una pérdida de la capacidad de carga, debido a la falla por adherencia entre acero-concreto.



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



Una reducción en el pH puede ser suficiente para despasivar el acero de refuerzo; sin embargo se ha encontrado mediante experimentos que para pH del concreto de 11.9 a 12.1 el acero no se encuentra corroído<sup>5</sup>; pero cuando se desarrolla la corrosión en el refuerzo embebido en el concreto, los productos generados inicialmente generan un incremento su volumen presionando sobre el recubrimiento, hasta que, superada la resistencia a tensión del concreto, se originan grietas; esto puede afectar en la capacidad a cortante de los componentes estructurales afectados, debidos fundamentalmente a la disminución de sección transversal del refuerzo, la pérdida de adherencia entre el acero-concreto y a la fisuración de éste. Así mismo, el progresivo deterioro de las estructuras por corrosión provoca desprendimientos de material y pueden generarse fallas que pueden comprometer la seguridad tanto de la estructura como de personas.<sup>3</sup>

### **PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL**

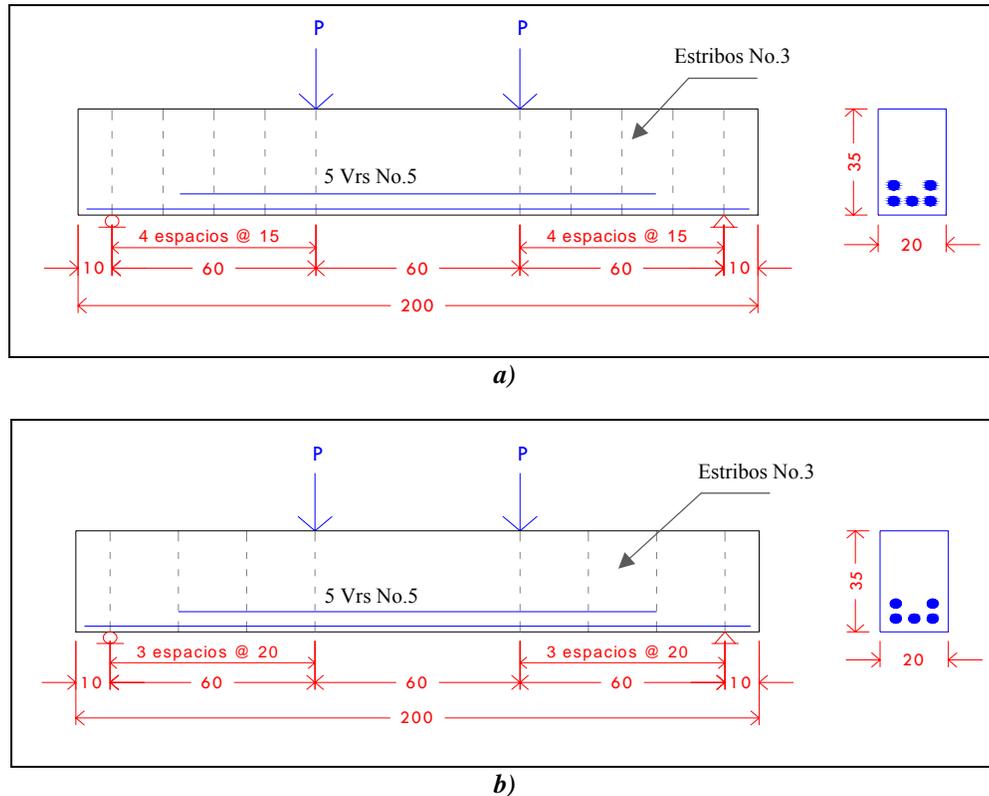
Se fabricaron 16 vigas de concreto reforzado de 200 x 20 x 35 cm, con separaciones de 15 y 20 cm entre el refuerzo transversal (ver figura 2), y se curaron los primeros 7 días con lamina de agua dentro de la cimbra, se desmoldaron y posteriormente se le colocó una membrana de curado hasta los 28 días de edad. Para control del concreto se fabricaron nueve cilindros de concreto de 15 x 30 cm para determinar su resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de edad; y cilindros de 10 x 20 cm los cuales se sometieron a ciclos de humedecimiento y secado, siendo el ciclo un día de humectación mediante una solución de 3.5% de NaCl y un día de secado al aire libre, todo esto durante una semana; para obtener la penetración de iones cloro en 1 y 2 cm de espesor en los especímenes.

El concreto utilizado fue premezclado  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , con un tamaño máximo nominal de agregado de 1.9 cm y una consistencia del concreto de 8.5 cm, que fue medida mediante la norma ASTM C 143-

00.<sup>12</sup> El acero de refuerzo longitudinal, fueron varillas No. 5 (1.6 cm  $\emptyset$ ) y varillas para el refuerzo

transversal de No. 2.5 (0.8 cm  $\emptyset$ ) con un  $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . Se procedió a la preparación de la superficie

del refuerzo transversal, la cual consistió en una limpieza manual con un cepillo de cerdas metálicas, para retirar el óxido superficial producido por el almacenamiento. Las varillas longitudinales se recubrieron con una pintura epóxica a base de resinas para evitar su corrosión. Para evitar la formación de pilas galvánicas, en los puntos de contacto entre el acero longitudinal y transversal, se procedió a recubrir la interface con cinta de aislamiento eléctrico. De igual forma, se sustituyó el amarre tradicional entre el refuerzo transversal con el longitudinal, comúnmente realizado con alambrcn por cintillas de nylon.



**Figura 2.** Arreglo del refuerzo transversal.

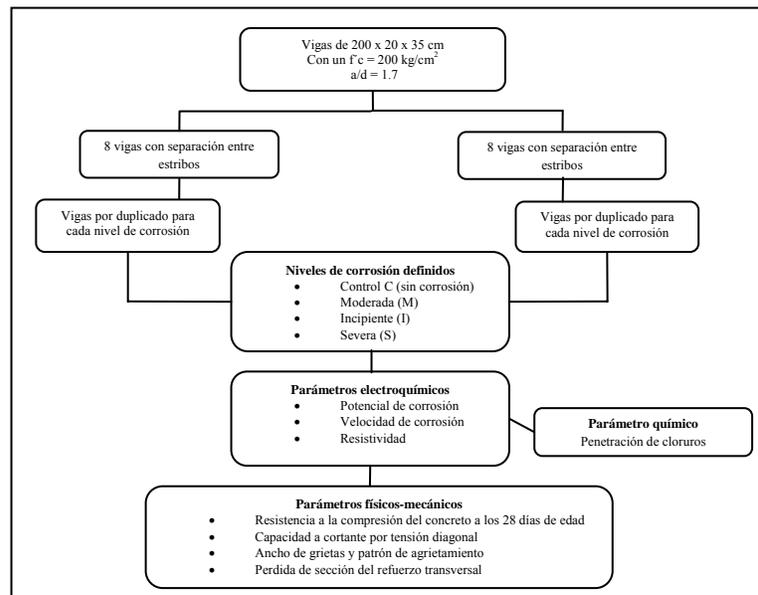
Antes de iniciar el proceso de inducción de corrosión acelerada se pintó la cara superior e inferior de las vigas con impermeabilizante y aislante térmico, para garantizar solamente la corrosión en los estribos. También, se retiró la membrana de curado de las caras laterales esto con cepillos de cerdas metálicas. Posteriormente se tomó la lectura inicial de velocidad y potencial de corrosión de cada estribo de las 16 vigas como lecturas base para el desarrollo experimental.

El proceso de corrosión acelerada en el refuerzo transversal de las vigas, será por medio de ciclos de un día de humectación utilizando una solución de 3.5% de NaCl y un día de secado al aire libre. La humectación de las vigas se llevará acabo por medio de esponjas de Poliuretano, la cual estarán sujetadas en la zona de los estribos, estas esponjas se estarán humectando cada 3 horas con la solución de NaCl durante el ciclo de humectación. Y para evitar evaporación de agua se colocará una cubierta de plástico.

Para el monitoreo de parámetros electroquímicos se utiliza el Corrosion Rate Meter LG – ECM-06, James NDT Instruments (GECOR6) y el Galva Pulse GP 5000 de acuerdo a la norma ASTM C 876,<sup>13</sup> con el objetivo de definir los niveles de corrosión incipiente, moderada y severa. En base al criterio del RILEM<sup>14</sup> se determinarán estos niveles con la clasificación de los resultados de velocidad de corrosión. Una vez alcanzado los niveles de corrosión previamente definidos, se ensayarán mecánicamente (ver figura 2) las vigas de concreto reforzado esto se realizará en la losa de reacción del Instituto de Ingeniería Civil de la UANL. Las vigas de control (sin corrosión) se ensayarán antes que las vigas expuestas al proceso de corrosión.

El claro de cortante es de 60 cm y el peralte efectivo es de 35 cm; por lo tanto, se tiene una relación a/d de 1.7, esto asegura que las vigas tengan una falla a cortante antes que falle por flexión. La resistencia a cortante para las vigas, se obtendrá de acuerdo con las recomendaciones del código del American Concrete Institute (ACI 318-2008)<sup>15</sup>.

En la figura 3 se muestra un diagrama experimental, en donde se puede apreciar claramente el proceso por el cual se someterán las 16 vigas de concreto reforzado



**Figura 3. Diagrama experimental.**  
**RESULTADOS PRELIMINARES**

El valor de la resistencia a la compresión a 28 días, obtenido sobre un promedio de tres ensayos (como se especifica en la norma ASTM C 39/C39M-03.<sup>16</sup>) fue de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

La concentración de cloruros acuasolubles que se obtuvo fue de 0.438% y > 0.245% ppc (por peso de cemento) a profundidades de 1 y 2 cm respectivamente (ver figura 4). Estos valores están por encima del límite permitido por el ACI<sup>15</sup>, esto nos dice que se verán resultados del proceso de corrosión a edades tempranas.

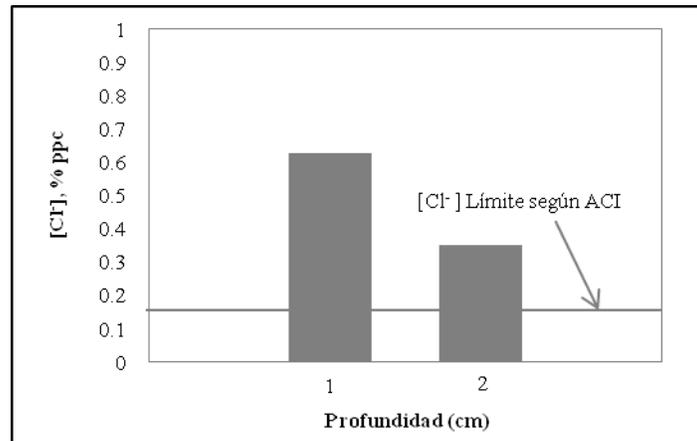


Figura 4. Concentración de cloruros

En cuanto al tiempo que tardan los cloruros en llegar al refuerzo en una estructura ya construida, lo importante es que el recubrimiento de concreto debe ser superior a la profundidad que los iones cloro sean capaces de alcanzar en el tiempo previsto de vida útil de la estructura. Sin embargo la velocidad de avance de los cloruros es, general, una función de la raíz cuadrada del tiempo<sup>17</sup>:

$$X_{Cl^-} = K_{Cl^-} \cdot \sqrt{t} \quad (1)$$

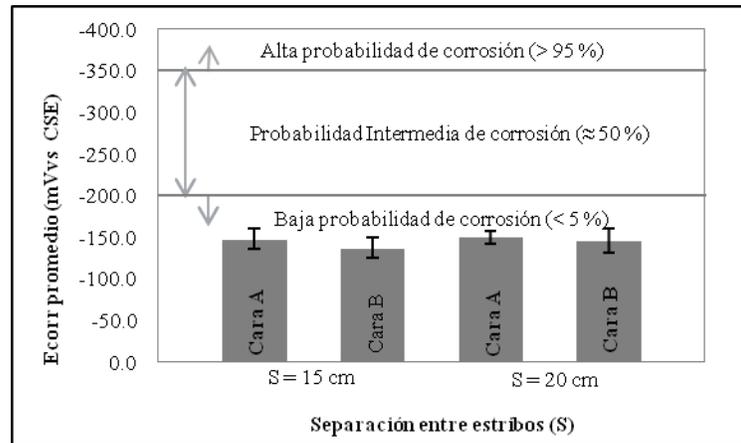
$X_{Cl^-}$  = profundidad alcanzada por una cierta proporción de cloruros (mm)

$t$  = tiempo (año)

$K_{Cl^-}$  = constante dependiente del concreto y del medio (mm/año)

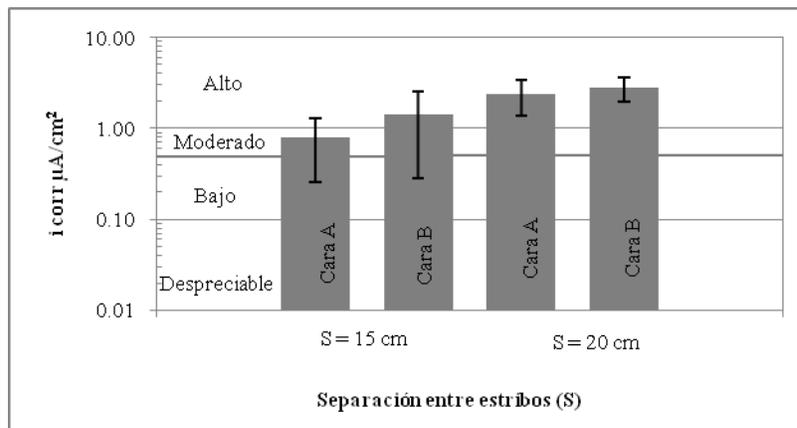
De acuerdo a la ecuación 1, se obtuvo el tiempo teórico en el cual los cloruros llegarán a despasivar al acero de refuerzo, este es de 28 días aproximadamente. Para obtener este tiempo se tomó en cuenta la concentración de cloruros acuosolubles previamente mencionada y el recubrimiento en las vigas ( $\approx 2$  cm).

En la Figura 5 se observa que el promedio de los potenciales de corrosión a 80 días, de acuerdo a la norma ASTM C 876<sup>13</sup> sitúan al acero de refuerzo en el estado de probabilidad de corrosión baja con valores inferiores a -150 mV Vs CSE.



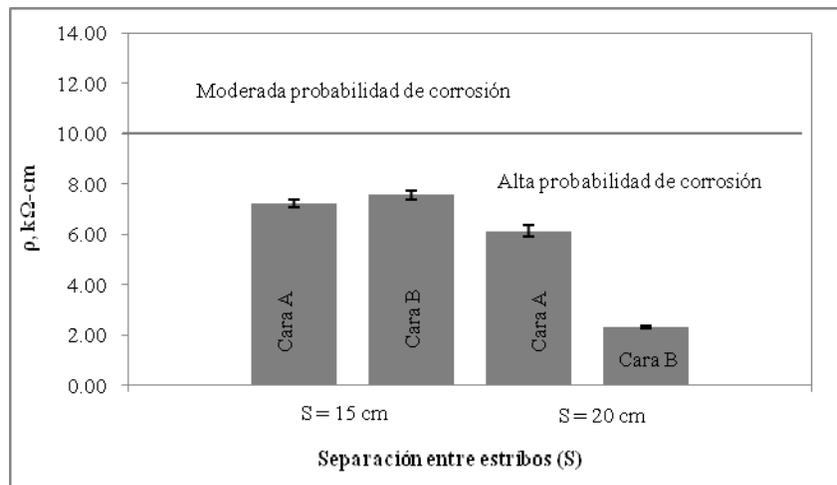
**Figura 5.** Potencial de corrosión inicial de las 16 vigas.

En la Fig. 6 se aprecia el promedio de la velocidad de corrosión inicial, obtenida sobre 4 vigas a 120 días. De acuerdo con estos resultados se tiene un nivel de corrosión alto en el refuerzo. Evidentemente esto ha generado incertidumbre debido a que, como ya se ha mencionado, externamente no hay factores que pudieran haber influido de manera prematura en el mecanismo de corrosión.



**Figura 6.** Velocidad de corrosión.

La resistividad es otro indicador de la probabilidad de corrosión, en la Fig. 7 se pueden apreciar los valores iniciales obtenidos a 120 días. En todos los casos la resistividad fue siempre inferior a 10 kΩ·cm. De acuerdo al RILEM<sup>14</sup> estos valores indican existe una alta probabilidad de corrosión en el refuerzo. El comportamiento anterior sería el esperado debido a la baja resistencia mecánica del concreto. Podría ser predecible que la difusión de cloruros hacia los estribos evolucione favorablemente bajo estas condiciones, disminuyendo el tiempo de inducción de la corrosión.



*Figura 7. Resistividad a los 120 días.*

### COMENTARIOS

Los resultados preliminares obtenidos son razonables debido a que las vigas no han sido sometidas a ninguna proceso de deterioro y no están expuestas a ningún ambiente agresivo. Sin embargo, los valores de velocidad de corrosión son tomados como representativos del estado de corrosión, es probable que dicho estado haya sido inducido por factores internos. La causa de este comportamiento está siendo investigada con análisis químicos al concreto.

### AGRADECIMIENTOS

Los trabajos descritos en este artículo fueron desarrollados en el Instituto de Ingeniería Civil de la FIC-UANL. Los autores expresan su más profundo agradecimiento al PAICYT y SEP por los apoyos financieros otorgados a los proyectos CA-1499-07 y CA-1477-07 PROMEP/103.5/07/0293. A la Ing. Mercedes Balancán Zapata quién labora en el CINVESTAV-IPN Unidad Mérida, por el apoyo brindado para el desarrollo de ésta investigación y por sus valiosas sugerencias e interés mostrado. Y a esos estudiantes de la Facultad de Ingeniería Civil-UANL que han brindado su ayuda en esta investigación.

### REFERENCIAS

1. O. Hernández-Castañeda y C. J. Mendoza Escobedo, Durabilidad e Infraestructura: Retos e Impacto Socioeconómico, INGENIRÍA Investigación y Tecnología VII 1, Universidad Autónoma de México, Distrito Federal. México, (2006): pp. 57-70.
2. Park R. y Paulay T., Estructuras de Concreto Reforzado, ED. Limusa Noriega, Nueva Edición, (1990): pp. 288-294.
3. Paulo Helene y Fernanda Pereira, Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón, Reparación, Refuerzo y Protección. REHABILITAR, CYTED, (2003).
4. Angélica del Valle Moreno, Tezozómoc Pérez López y Miguel Martínez Madrid, El Fenómeno de la Corrosión en Estructuras de Concreto Reforzado, Secretaria de Comunicaciones



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



- y Transportes Instituto Mexicano del Transporte (SCT), Publicación Técnica No. 182, Sanfandila, Qro, (2001): pp. 1-88.
5. Austin S.A., Lyons R. y Ing M.J., “Electrochemical Behavior of Steel-Reinforced Concrete During Accelerated Corrosion Testing”, Corrosion Engineering Section, vol 60, No.2 (2004): pp.203-212.
  6. Castro Borges Pedro, Corrosión en Estructuras de Concreto Armado, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. (IMCYC), (1998): pp. 9-20.
  7. H. Nilson, Diseño de estructuras de concreto, Mc. Graw Hill, Duodécima Edición, (1999): pp. 105-121.
  8. Sanchu Yoon, Kejin Wang, W. Jason Weiss y Surendra P. Shah, “Interaction between Loading, Corrosion, and Serviceability of Reinforced Concrete”, ACI Materials Journal, Technical Paper, Noviembre-Diciembre (2000): pp 637-644.
  9. T. Vidal, A. Castel, R. François, “Corrosion process and structural performance of a 17 year old reinforced concrete beam stored in chloride environment”, Cement and Concrete Research 37 (2007): pp.1551-1561.
  10. Aveldaño R.R., Ortega N.F. y Bessone J.B., “Influencia de la distribución de estribos en los potenciales de corrosión en vigas de hormigón armado”, Jornadas SAM – CONAMET – AAS Septiembre (2001): pp. 715-722.
  11. Aveldaño R.R., Ortega N.F. y Bessone J.B., “Corrosión bajo tensión en hormigón armado. Efectos de la Densidad de corriente y composición del medio electrolítico”, Jornadas SAM – CONAMET-AAS Simposio Materia (2003): pp. 521-542
  12. ASTM C 143-00 “Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete”. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, (2000): pp. 1-3.
  13. ASTM C 876-91 (reapproved 1999) “Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete”. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, (1999): pp. 461-466.
  14. C. Andrade y C. Alonso, RILEM TC 154-EMC, “Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method”, Materials and Structures, Vol. 37, Noviembre (2004): pp. 623-643.
  15. ACI 318S-05 American Concrete Institute, Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, (2005): pp. 59
  16. ASTM C 39/C39M-03 “Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, (2003): pp. 21-25.
  17. DURAR Red Temática XV.B Durabilidad de la Armadura, Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armada, CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 2ª. Edición, Julio (1998): pp. 37-39.