

## Administración y Tecnología para el Diseño

Octubre de 2011.

# Compilación de Artículos de Investigación

No. reserva: 04-2011-112310421200-102

Administración de empresas constructoras y de diseño.

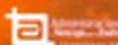
Diseño con tecnologías de vanguardia.

Administración y control de la construcción y de la producción.

Integración de sistemas de información para la construcción y manufactura.

La administración para la innovación y la tecnología.

### So. Congreso Internacional



César Jorge Carpio Utrilla

Rómel G. Solís Carcaño

Problemas de los concretos en la costa del Golfo y el Caribe

Páginas 107-124

En:

Compilación de artículos de investigación [octubre 2011]. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias y Artes para el Diseño, 2011.

ISSN: 2007-7564

Universidad  
Autónoma  
Metropolitana



Casa abierta al tiempo **Azcapotzalco**

Universidad Autónoma  
Metropolitana  
Unidad Azcapotzalco

<https://www.azc.uam.mx>



Ciencias y Artes para el Diseño

División de Ciencias y Artes para el Diseño

<https://www.cyad.online/uam/>

## Procesos

y Técnicas de Realización

Departamento de  
Procesos y Técnicas de  
Realización

<http://procesos.azc.uam.mx/>



Área de Administración y Tecnología para el  
Diseño

<https://administracionytecnologiaparaeldiseno.azc.uam.mx/>



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como

Atribución-NoComercial-SinDerivadas

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

© 2011. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Se autoriza copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, siempre y cuando se den los créditos de manera adecuada, no puede hacer uso del material con propósitos comerciales, si remezcla, transforma o crea a partir del material, no podrá distribuir el material modificado. Para cualquier otro uso, se requiere autorización expresa de la UAM.

**PROBLEMAS DE LOS CONCRETOS EN LA COSTA DEL GOLFO Y EL CARIBE****Arq. César Jorge Carpio Utrilla**

Universidad Autónoma Metropolitana, UAM-A, México, D. F.

correo: cju@correo.azc.uam.mx

**M.I. Rómel G. Solís Carcaño**

Facultad de Ingeniería de la Universidad de Yucatán, México, Yucatán

correo: tulich@uady.mx

**INTRODUCCIÓN**

Durante muchos años las construcciones realizadas en concreto armado en las poblaciones costeras han presentado graves daños en un período de vida mediano, sobre todo en obras de la costa del Golfo de México y del Caribe, en gran medida, daños provocados por la presencia en el medio ambiente de sustancias agresivas: ambiente salino, alta humedad relativa, sulfatos y subproductos. Estos agentes pueden penetrar con relativa facilidad en el concreto aprovechando su alta porosidad, producto de la reacción química de los componentes cementantes ocasionando daños directos en el concreto pero sobre todo, produciendo corrosión en el acero de refuerzo, esto lleva a una disminución lenta de la resistencia del elemento estructural, pero a medida que el acero se corroe se produce la exfoliación del acero al mismo tiempo que se generan agrietamientos y desprendimientos del concreto. En forma comparativa también se hace el análisis somero del acero estructural bajo tensión. Las Universidades de la Costa del Golfo de México y del Caribe hacen notar que para construcciones de todo tipo en las colonias populares de las ciudades e inclusive en el caso de la vivienda de interés social, la falta de especificaciones de materiales más rigurosas o por lo menos la exigencia de considerar las normas y reglamentos constructivos estatales, hacen el problema más crítico. En especial los investigadores de la FI de la UADY señalan, que en este tipo de edificaciones se utilizan por lo regular elementos constructivos de secciones pequeñas relativamente, sobre todo en el caso de losas, en el que el recubrimiento del acero suele ser escaso e insuficiente para garantizar su vida útil por lo menos durante el tiempo estimado por reglamentos. Motivados por la ocurrencia de desastres naturales en nuestro territorio, en el diseño y la construcción de vivienda los realizadores se han preocupado mucho por obtener las mejores condiciones de seguridad pero ha soslayado la durabilidad de la misma, sobre todo si se tiene en cuenta que en los países desarrollados el período de vida útil de las edificaciones es de cincuenta años y al cumplirlos, la edificación es demolida, no así en México. Para estas regiones este hecho ha ocasionado una elevada variación en la calidad de las construcciones, que ha dependido más del nivel tecnológico manejado por cada una de las constructoras, de sus intereses y de la experiencia profesional.

**Palabras clave:** durabilidad, vivienda, concreto, acero de refuerzo.

**ANTECEDENTES:**

Un gran número de constructores arquitectos o ingenieros, consideramos a la corrosión de los metales como un problema incómodo, como algo que debe preverse o eliminarse desde el principio, o corremos el riesgo de la degradación y pérdida rápida del bien inmueble realizado. O en otro escenario, limpiar y pintar periódicamente la estructura para tenerla en servicio durante un tiempo razonable. El problema se incrementa sobre todo cuando las estructuras están expuestas a un medio ambiente extremo o agresivo, o ambos cuando el caso corresponde a un clima húmedo, cálido y marino, algo común en los poco más de tres mil kilómetros de costa de nuestro país.

Esto no quiere decir que la corrosión sea algo trivial, más bien que, a nivel mundial viene a ser uno de los fenómenos más trascendentales en la economía de toda sociedad humana. En términos generales de acuerdo con la Secretaria General De La Organización De Los Estados Americanos (Programa Regional Desarrollo Científico y Tecnológico) los perjuicios causados por la corrosión equivalen del 1.5 al 3.5% del Producto Nacional Bruto de numerosos países, si se incluyen otros bienes como automóviles, industrias, etcétera.

En lo que se refiere a la construcción, los perjuicios que el fenómeno de la corrosión ocasiona a la industria son graves, hay que mencionar que hoy en día se tiene plena conciencia de que el factor más determinante para la reducción en la durabilidad del concreto estructural es la falta de control de la corrosión en los aceros de refuerzo. También es importante observar que generalmente se da preferencia, en el diseño, a la construcción de obras de concreto reforzado o preesforzado sobre las de acero estructural.



**Figura 1. Oxidación y corrosión en los armados de castillo.**

La situación se produce por pensar que estas últimas requieren de una conservación periódica y costosa, mientras que en los primeros basta con llevar, durante la construcción, un estricto control de calidad en la construcción para que la vigilancia y conservación de dichas obras durante su etapa de servicio no sea tan estricta como en el caso de las estructuras de acero.

Por otra parte el concreto ha sido el material de construcción más utilizado en el mundo desde el siglo XX; las dos ventajas que ha tenido sobre su principal competidor, el acero, han sido: un menor valor del costo inicial y un menor requerimiento de desarrollo industrial y de manejo para su producción; lo anterior lo ha hecho especialmente ventajoso en los países de menor desarrollo (Mehta y Monteiro 1998).

Tomando en cuenta los palacios y grandes edificios construidos en piedra hasta el siglo XIX, durante muchos años se pensó que las construcciones hechas con concreto tendrían una vida plena e ilimitada, y los diseñadores y constructores estuvieron principalmente interesados en las características asociadas con la resistencia mecánica del material. A partir de la década de los 80 se empezó a analizar con seriedad el hecho de que muchas construcciones no estuvieran manteniendo la seguridad y utilidad requeridas durante un tiempo suficientemente largo (Mehta 1997).

Actualmente se puede considerar que en el problema de las construcciones de concreto lo que más preocupa es la falta de durabilidad de las estructuras por la acción del medio ambiente. Pero la realidad va más allá, si tomamos en cuenta que el inicio de la corrosión en las estructuras metálicas es observable con toda claridad y permite tomar medidas oportunas mientras que en las estructuras de concreto el fenómeno permanece encubierto y cuando se descubre el daño, muchas veces, ya es irreparable.

Por otro lado se sabe también, que la corrosión bajo tensión en aceros de presfuerzo puede provocar el colapso súbito de las estructuras presforzadas. Si tomamos algunos ejemplos de fallas por corrosión bajo tensión en los aceros de presfuerzo, tenemos lo siguiente:

En 1967 en Estados Unidos de Norteamérica se tuvo el colapso del puente Silver sobre el río Ohio, que costó la vida de 46 personas.



**Figuras 2 a 4. Vistas del colapso del puente Silver, sobre el río Ohio por defecto de fabricación y el tiempo.**

Como resultado de las primeras investigaciones se consideró que la causa del colapso fue fatiga de uno de los eslabones de la cadena, combinada con una temperatura baja del metal, y una supuesta sobrecarga del puente a raíz de la hora pico en un fin de semana de compras navideñas.

Con el tiempo y el avance en los métodos de investigación, se determinó que el problema raíz en el colapso no ocurrió ese día de 1967, sino casi 40 años antes cuando se fabricaron las piezas de metal de la cadena. Durante la investigación del siniestro se determinó que el proceso de enfriamiento del metal no fue controlado correctamente, y en el interior de la pieza se formaron pequeñas grietas que no llegaban a la superficie. Como no había grietas visibles, a la hora de construir el puente no se encontraron defectos en el metal.

Para 1980 en México se tuvo el colapso de la techumbre del auditorio Benito Juárez en la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, que pudo costar la vida a más de 10,000 personas, afortunadamente no estaba en funcionamiento el día del colapso. Sin llegar a tanto en 1981 en Maracaibo, Venezuela, se sustituyeron más de 1,300 toneladas de acero de los cables del puente atirantado que se encuentra

en esta ciudad, debido al deterioro por corrosión del acero bajo tensión. Y algo más reciente en 1985 en México, se dio el colapso del puente Papagayo, en la carretera costera del pacífico, tramo Acapulco-Pinotepa Nacional, por corrosión del acero de refuerzo.



**Figura 5. Rotura de varilla por corrosión en el Edificio Calipso**

En cuanto al concreto estructural en el sureste de México las viviendas que se diseñan y construyen de manera industrializada están hechas casi en su totalidad de concreto, en algunos casos porque el concreto se fabrica en obra y la vivienda se construye en moldes, tanto para losas, como para muros, castillos, cadenas, cerramientos, pisos, etcétera, o bien utilizando productos industrializados como bloques para muros, viguetas y bovedillas para losas, o incluso elementos prefabricados en planta como paneles, losas, etc.

Por este motivo, tomando en cuenta que el principal elemento constructivo de la vivienda de interés social sigue siendo el concreto estructural, examinaremos los problemas de la utilización del concreto en estas regiones, en donde el único material pétreo disponible está dado por los grandes mantos de piedra caliza que los conforman como parte del continente. Uno de los puntos más importantes se da en el hecho de que algunas regiones no cuentan con normas y reglamentos suficientes que tomen en cuenta las características y diferencias de los materiales regionales con los del resto del país, o en el último de los casos, no se cuida que sean aplicados regularmente, como en el caso de pequeñas poblaciones.

Sobre este factor tenemos que el ACI 201 (ACI 2002) define la durabilidad del concreto como su capacidad para resistir a la acción del tiempo, los ataques químicos, la abrasión o cualquier otro proceso de deterioro; es decir, que el concreto durable debe retener su forma original, su calidad y sus condiciones de servicio, cuando se exponga a su medio ambiente. Sobre todo en estas regiones como resultado de las interacciones ambientales, la micro estructura y consecuentemente las

propiedades de los materiales, cambian con el tiempo (Ratay 2000). El material alcanza el final de su vida de servicio cuando sus propiedades se han deteriorado a tal punto (Figuras 4, 5 y 6) que continuar utilizándolo se considera inseguro o antieconómico (Moreno et al. 2001). Solís et al. / Ingeniería 9-1 (2005) 13-18.

Haciendo un paréntesis: Si tomamos en cuenta que la mayoría de los habitantes de nuestro país obtiene información sobre materiales y procedimientos constructivos a través de la observación directa y de los artesanos constructores de la región, cuyos conocimientos se basan principalmente en las propias deducciones y conjeturas de lo que han realizado previamente, se puede decir que la auto-construcción sigue siendo el procedimiento más socorrido de las comunidades de estas regiones, con sus ventajas y desventajas.

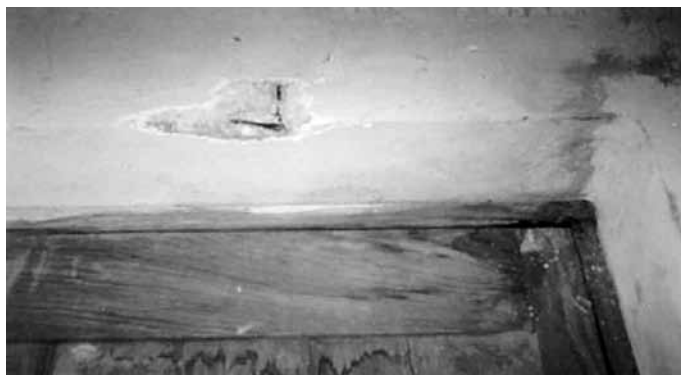
Durante la investigación de los procedimientos manejados, se han detectado diferencias con los procedimientos recomendados, tanto en equipos como en materiales utilizados, procedimientos de ejecución y calidades de cementantes. Por ejemplo concretos hechos en obra en los que la cantidad de agua se aplica a discreción de los trabajadores sin ningún método de cuantificación, grava redonda y arena de río con grandes diferencias de tamaño o de dureza, o dejadas bajo la acción de los rayos solares, que al palear y agregar agua cambian sus propiedades, obras realizadas por partes, abandonadas por meses o años sin ninguna protección adecuada, etcétera. Ahora continuando con esta investigación:



**Figura 6. Daño en estructura por corrosión de acero de refuerzo.**

Las fisuras que en principio se desarrollan de manera paralela a las armaduras de acero de refuerzo, afectan de manera importante la capacidad portante y la aptitud de servicio de la estructura acortando la vida útil de la misma. (Fig.4, 5 y 6)

Así tenemos que algunos investigadores observan que: Analizando el costo de una construcción durante todo su ciclo de vida, estructuras cuyo diseño no consideran adecuadamente las características de durabilidad de los materiales, tendrán cada vez mayores costos de reparación y sustitución de partes dañadas del material, lo que a la postre convertirán estos costos en una parte importante del costo total de la construcción (Helene 1997). Se ha calculado que más del 40% de los recursos totales de la industria de la construcción en países desarrollados se aplican a la reparación y mantenimiento de estructuras existentes (Mehta y Monteiro 1998), y México no aplica más del 10%, aunque este valor se incrementa año con año.



**Figura 7. Daño en cerramiento por corrosión de acero de refuerzo.**

La mayor parte de la población de México es de escasos recursos económicos, por lo que la dificultad para sustituir la infraestructura, cuando se alcanza el final de su vida de servicio, provoca en muchos casos la subutilización de las construcciones en condiciones inseguras; así como un costo excesivo de reparaciones correctivas periódicas al quedar descartada la opción de demoler y construir de nueva cuenta (Figura 6 y 9).



**Figura 8. Agrietamiento por corrosión de armadura de acero de refuerzo en columna**





Figura 9. Condiciones inseguras causadas por la corrosión del armado de refuerzo.

## MEDIO AMBIENTE AGRESIVO

Los principales efectos que influyen adversamente en la durabilidad del concreto pueden clasificarse como agentes físicos o químicos (San Juan y Castro 2001).

Entre los primeros, los más importantes son: el desgaste de la superficie ocasionada por abrasión o erosión (asociada al exceso de tránsito o a cualquier otro tipo de fricción); el agrietamiento debido a la presión de la cristalización de sales contenidas en los poros del material (asociadas con el contacto con soluciones salinas, en cimientos o muros, por ejemplo); y la exposición a temperaturas extremas, como son las heladas o el fuego.

El segundo tipo de factores ocasionan reacciones químicas entre los agentes agresivos presentes en el ambiente externo y los constituyentes de la pasta de cemento, o incluso entre los mismos constituyentes del concreto (Figura 4 y 8). Entre los daños químicos más importantes están los provocados por: hidrólisis o disolución del hidróxido de calcio de la pasta de cemento (ocasionado por el contacto de aguas puras o suaves con contenido escaso o nulo del ión de calcio); diversas reacciones que producen la formación de productos expansivos como son: la reacción entre los álcalis contenidos en la pasta de cemento y ciertos materiales reactivos presentes en los agregados (en el caso en que éstos no cumplen con su condición de inertes); el ataque al concreto por sulfatos contenidos en el agua o el suelo, o por ácidos que son generados por diferentes actividades humanas (industriales, agrícolas, etc.); la presencia de cantidades importantes de MgO y CaO en el cemento que provocan un efecto expansivo al hidratarse; y la corrosión de metales embebidos en el concreto tales como ductos, tubos y, principalmente, acero de refuerzo.



Figura. 10 y 11. Daño en cerramiento, losa y muros por filtración de humedad.

## CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO

Este último factor es el que con mayor frecuencia provoca daños en las edificaciones de concreto especialmente a las viviendas. En este caso la durabilidad del concreto reforzado depende de las características del concreto y del acero, pero principalmente de la interrelación entre ellos. En condiciones normales, el concreto que envuelve al acero de refuerzo, conocido como recubrimiento, le confiere una buena protección, tanto física como química, a dicho refuerzo. El recubrimiento proporciona un ambiente alcalino que rodea al acero propiciando la formación de una capa de óxido, llamada película pasivante, que lo protege contra la corrosión (Page 1975).

Sin embargo, el recubrimiento no constituye una barrera perfecta y permanente contra los agentes agresivos del ambiente iniciadores de la corrosión (iones agresivos, humedad, dióxido de carbono y oxígeno, principalmente); lo anterior se debe a que la pasta de cemento es un material poroso que está constituido por dos fases: una sólida de minerales hidratados y una líquida contenida en el interior de los poros que se denomina la solución de poro. En promedio, la porosidad total del concreto es de Solís et al. / Ingeniería 9-1 (2005) 13-18 alrededor de 20% del volumen del material y depende, principalmente, de la relación agua/cemento, de la compactación y del curado (factores típicos que influyen en las principales propiedades físicas del material). El tamaño y la interconexión de los poros y de las grietas (que es otra respuesta natural del material) determinan la tasa de ingreso de los mencionados agentes.

La corrosión del acero de refuerzo ocurre, principalmente, por la destrucción de la película pasivante formada de manera natural en el acero. Esto ocurre por dos causas principales: que haya una cantidad suficiente de cloruros u otros iones despasivantes, o que disminuya la alcalinidad del concreto al reaccionar con sustancias del medio ambiente (Moreno 2000). La corrosión del acero en el concreto es un proceso electroquímico (reacción química con transferencia de electrones e iones) en el que se forman celdas de corrosión en la superficie del acero, debido a las diferencias en las concentraciones de iones disueltos.



**Figura 12. Corrosión en el acero de refuerzo en un edificio de la zona turística de Bahía**

La transformación del hierro metálico corroído es acompañada de un incremento en el volumen que, dependiendo de su estado de oxidación, puede ser tan grande como 600% del metal original. Este incremento de volumen es la causa principal de la expansión y del agrietamiento del concreto que suelen observarse en las construcciones de la costa; más que cualquier otra que pudiera relacionarse con la resistencia del material ante la acción de las demás cargas (no ambientales).

Para que se produzca la corrosión del acero de refuerzo es absolutamente necesaria la presencia tanto de aire como de agua en la superficie del área catódica (región donde se produce la reducción y la corriente iónica entra al metal); además, es necesario que la película superficial de óxido de hierro que cubre el acero, sea removida del área anódica (región donde se produce la oxidación y la corriente iónica fluye hacia el electrolito).

Se ha encontrado que la capa pasivante del acero es estable cuando el Ph de la solución de poro del cemento hidratado permanece por encima de 11.5. Puesto que el cemento hidratado contiene álcalis e hidróxido de calcio sólido, normalmente hay suficiente reserva alcalina para mantener el Ph por encima de ese valor (Moreno 2001). Dependiendo del tamaño y la continuidad de los poros en la estructura de la pasta de cemento, el material tendrá una cierta permeabilidad y el CO<sub>2</sub> del medio ambiente podrá carbonatar la mayor parte del hidróxido de calcio de la pasta, dando como resultado que el Ph en las cercanías del acero pueda ser reducido por debajo de 11.5, destruyendo así la pasividad del metal, y procurando las condiciones para el proceso de corrosión (Moreno 2000).



**Figura 13. Oxidación en vigas**

Además, cuando grandes cantidades de cloro están presentes, el concreto tiende a retener más humedad, lo que también incrementa el riesgo de corrosión. Puesto que el agua, el oxígeno y los iones de cloro juegan papeles importantes en la corrosión del acero embebido, es obvio que la permeabilidad del concreto es la clave para controlar los procesos involucrados en el fenómeno. Los parámetros de la mezcla de concreto para asegurar una baja permeabilidad son principalmente: la relación agua/cemento, un contenido adecuado de cemento y el uso de aditivos minerales.

El ACI 318 (ACI 2002) especifica una relación agua/cemento máxima de 0,4 para concreto reforzado expuesto al ambiente marino; siendo igualmente esenciales para garantizar la baja permeabilidad de la mezcla, una compactación y un curado adecuados. En la costa, la situación que más frecuentemente desencadena la corrosión es la presencia de cloruros. Éstos pueden ingresar al concreto por adición durante su fabricación por medio del uso de aditivos (como es el caso del acelerante de fraguado a base de  $\text{CaCl}_2$ , muy utilizado en México) o de agua y agregados previamente contaminados; o también pueden ingresar por medio de la acción del aerosol<sup>1</sup> marino; en donde la velocidad y dirección del viento predominante juega un papel importante.

Se han hecho estudios del nivel necesario de los cloruros en el concreto para que se rompa la capa pasivante, y se ha encontrado que ese valor depende de muy variados factores (como el tipo de cemento, las condiciones de curado, la relación agua/cemento, etc., que son los mismos factores que definen la mayoría de las propiedades mecánicas y la calidad del material). El intervalo del nivel de cloruros iniciadores de la corrosión se puede considerar entre 0,2 y 2,0  $\text{kg/m}^3$  de concreto, de acuerdo a investigaciones realizadas en diversos lugares del mundo en los últimos 30 años.

---

1 Efecto de las olas al estrellarse en la costa, finas gotas de agua de mar son llevadas por el aire y humedecen las estructuras aledañas.

En las costas de la península de Yucatán se han realizado estudios en probetas de concreto, encontrándose una concentración iniciadora de la corrosión entre 1,0 y 2,0 kg/m<sup>3</sup> (Castro y Maldonado 1995, Castro et al. 1997).

Tal es el caso del ejemplo que a continuación se describe ocurrido en Campeche. Se presenta aquí la versión periodística del problema:

- El puente La Unidad está en riesgo
- El puente sobre la Laguna de Términos desafía a la física y a la ley en un frágil equilibrio. (Carlos Ferrer)
- El concreto acusó vientos<sup>2</sup> y erosión por ataque químico. (Carlos Ferrer)
- Aproximadamente 14 pilotes hincados en el lecho marino forman cada uno de los 108 caballetes. (Carlos Ferrer)
- La información referente al estado legal y físico de la estructura forma parte de un proceso judicial, indica el IFAI.

“Cualquier día se hunde la panga”, rumoraba la población de Isla Aguada, Campeche, al ver el estado del transbordador de la Laguna de Términos. Las autoridades no hicieron caso, pese a la evidente corrosión del casco metálico. Dicho y hecho, la embarcación se hundió con automóviles, autobuses, mudanzas y alrededor de 100 personas. 27 años después, el temor renace entre la gente, esta vez por las fallas que presenta la estructura de concreto armado del puente La Unidad a lo largo de sus 3,280 m. Construida en el lugar de aquella tragedia para reestablecer las comunicaciones, la obra es la segunda más larga en su tipo en todo México.



**Figura 14.** El puente sobre la Laguna de Términos desafía a la física y a la ley en un frágil equilibrio.

2 Entallamiento. Corte que se hace en la madera de pino para ensamblarla. Diccionario, español, México. Relativo a la imagen B del puente.

Comenzó a operar en 1982 en un punto estratégico para la seguridad y el comercio nacional, pues conecta a la Península de Yucatán con el centro del país en una zona petrolera. Inicia en Puerto Real, dentro de Isla del Carmen, y termina en Isla Aguada, población en tierra continental que está en dirección a Yucatán. Si no existiera, los vehículos rodearían Campeche por Escárcega, lo que significaría pérdida de tiempo vital en caso de contingencia en Quintana Roo, sitio que cada año sufre los estragos de los huracanes.

### **Miedo popular**

La señalización indica una velocidad máxima de 50 kilómetros por hora; muchos se apegan intuitivamente a la Ley que reglamenta el funcionamiento del Puente Isla Aguada-Puerto Real, en el Municipio de Carmen, Campeche, decretada en 1982, cuyo artículo 5º señala que la velocidad permitida será de 30 kilómetros por hora. Para ver el estado del puente es preciso realizar un recorrido en lancha. A lo largo de La Unidad resaltan a simple vista cuarteaduras en el concreto y corrosión en los armados de acero, que a falta de mantenimiento adecuado quedaron expuestos en algunas áreas.

Los pilotes son las piezas más afectadas: hay presencia de óxido, humedad y varillas a la intemperie, incluso en áreas previamente reparadas. Entre 40% y 50% de los pilotes están en mal estado, asienta Gonzalo Fernández, especialista en estructuras, quien reside en Campeche y prefiere omitir su nombre verdadero. El problema es que la estructura tiene más de cinco años así. El veredicto sobre el nivel de riesgo que emite el Centro Campeche de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) sostiene que: "... la revisión estructural considera que en el caso de los pilotes aun cuando el área de acero tiene un porcentaje menor al original, las cargas vivas de diseño actuales no son críticas para el trabajo de estos elementos, ya que el factor de seguridad fue muy alto, por lo tanto se cuenta con 14 pilotes por caballete".



Figura 15. El concreto acusó entallamientos y erosión por ataque químico.



**Figura 16.** Aproximadamente 14 pilotes hincados en el lecho marino forman cada uno de los 108 caballetes.

Al solicitar más detalles sobre su estado físico, la SCT, a través del Instituto Federal de Acceso a la Información (IFAI), respondió a Obras que la información está reservada por dos años por tratarse de documentación relativa al proceso judicial en que se encuentra el puente.

#### **Aún hay más:**

En 2002, Grupo Dinámico recibió el contrato de mantenimiento de algunos caballetes, al ganar una licitación pública en la que ofertó el precio más bajo: 16.7 millones de pesos (mdp). Tenía que dar protección catódica al concreto y encamisar los pilotes que presentaban entallamiento por la corrosión, entre otras cosas. La empresa aplicó un sistema consistente en una resina que penetra en la camisa y refuerza el recubrimiento de las estructuras. En teoría, el material, después de ser aplicado, fraguaría en aproximadamente una hora, pero en algunos pilotes transcurrió un año y el material no alcanzaba la resistencia esperada.

Antes de la intervención, Grupo Dinámico realizó una serie de pruebas que resultaron satisfactorias, pues se efectuaron en la Ciudad de México, donde la temperatura es menor que en Ciudad del Carmen, donde varía entre 25 y 33°C. El problema fue que en vez de comprar o rentar al distribuidor del producto la máquina para inyectarlo utilizó una propia, que no contaba con mecanismos para regular la temperatura, siendo que el fraguado de las resinas depende de la presión, la proporciones de los componentes y la temperatura. A esto hay que agregar que las camisas tenían el grosor para resistir el peso del líquido por poco tiempo. Excedido el lapso de diseño, se abultaron los moldes. Por lo tanto, la resistencia esperada no se alcanzó.

Los argumentos llevan a tres posibles conflictos éticos: 1) Grupo Dinámico no tenía la capacidad para realizar el trabajo; 2) el distribuidor del producto no dio las especificaciones de uso, y 3) había razones para dificultar los trabajos de Grupo Dinámico, concluye un testigo que prefiere permanecer en el anonimato.

**No es el único caso:**



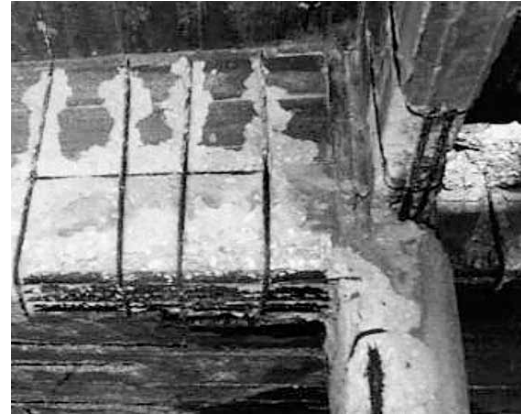
**Figura 17. El puente Fray Bartolomé de las Casas II colapsó sobre el Río Negro dejando incomunicado el Departamento de Quiché**

## **VULNERABILIDAD DE LAS VIVIENDAS**

El tipo de sistema estructural usado para vivienda, denominado cajón, está formado por placas verticales (para el subsistema de soporte) y placas horizontales (para los subsistemas de entepiso y azotea). Es un sistema altamente hiperestático lo que le da gran resistencia y rigidez, por lo que a diferencia de otros tipos de sistemas estructurales la probabilidad de falla o colapso es muy baja.

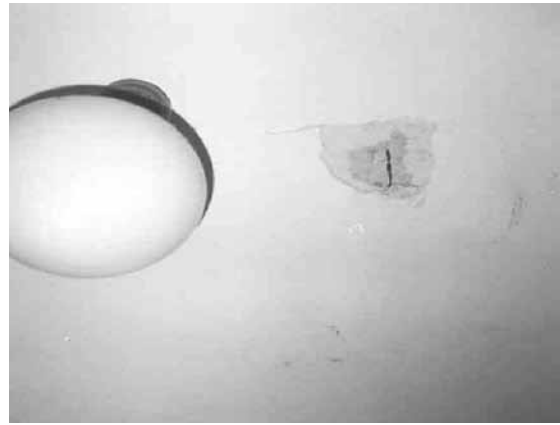
Esto ha provocado que el diseño y principalmente la ejecución de las viviendas sea tomado como el trabajo más simple en la rama de la construcción; de aquí que las actividades constructivas se realicen, generalmente, con supervisión insuficiente, y en muchos casos sea en el personal obrero en quien recaiga la responsabilidad de la ejecución de los procesos; mientras que los profesionistas realizan labores principalmente administrativas.





**Figuras 18 y 19. Daño en cadena de cimentación por filtración de humedad y en cadena de cerramiento por corrosión.**

Los esfuerzos mecánicos que se presentan en los diversos elementos son relativamente bajos, ya que los espacios que cubren y rodean las viviendas son reducidos, comparados con otro tipo de construcciones. Como consecuencia de esto, el acero de refuerzo tiene siempre un recubrimiento escaso (Moreno et al. 2005), lo cual facilita que los agentes agresivos del ambiente iniciadores de la corrosión tengan un camino muy corto que recorrer para alcanzar el acero de refuerzo. (Figuras 10-13 y 18-19).



**Figuras 20 y 21. Daño en losa y en castillo ahogado por corrosión de acero inducida por carbonatación.**

Adicionalmente, por la misma causa antes señalada, la calidad especificada en el concreto (verificada por medio de la resistencia a la compresión) suele ser la menor de las que se usan para la construcción de estructuras (Moreno et al. 2005). Esto tiene como consecuencia un material altamente permeable que permite una alta tasa de penetración y avance de los agentes no deseables.

## CONCLUSIÓN

De todo lo anterior, se puede concluir que las viviendas construidas en la costa presentan la mayoría de los factores que facilitan la corrosión del acero de refuerzo, por lo que su capacidad para resistir a la acción del tiempo reteniendo su calidad y condiciones de servicio puede ser mejorada, incluyendo en su diseño y construcción aspectos que ayuden a hacerlas más resistentes ante las cargas ambientales.

Por lo que se propone que las Universidades analicen con más detalle tanto los factores de deterioro como los procedimientos constructivos a aplicar, las autoridades revisen que los Reglamentos de Construcción sean más completos en su entidad y exijan, sobre todo a la construcción masiva el cumplimiento de las ordenanzas que garanticen a los usuarios la calidad de lo que reciben y, sobre todo, concientizar a la población y a los trabajadores de la construcción en la necesidad de actualizar los procedimientos constructivos que utilizan.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ACI Manual of Concrete Practice, (2002), American Concrete Institute, Detroit, Michigan.
- Castro P., L. Maldonado (1995). Initial Effort for Knowing and Controlling the Corrosion Problems in the Infrastructure of Mexican Southeast Coastal Zones, "CORROSION/95", NACE International, paper N° 21, Orlando Fla.
- Castro P., Véleva L., and Balancán M. (1997), Corrosion of reinforced concrete in a tropical marine environment and in accelerated test, "Construction and Building Materials", Vol. 11, N°. 2, pp. 75-81.
- Helene P. (1997). "Manual para la Reparación, Refuerzo y Protección de las Estructuras de Concreto", 1ª edición, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, D.F.
- Mehta, P. (1997). Durability-Critical Issues for the Future, "Concrete International", Vol. 19, N°. 7, pp. 27-33.
- Mehta K. y Monteiro P. (1998). "Concreto", 1ª edición, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, D.F.
- Moreno E. (2000). La corrosión del acero de refuerzo inducida por la carbonatación del concreto. "Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán", Vol. 4, N°. 2, pp. 43-48.
- Moreno E. (2001). Valores de pH de la Pasta de Cemento Puzolánico Carbonatado. "Ingeniería Revista Académica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Yucatán", Vol. 5, N°. 1, pp. 33-38.
- Moreno, E.I., Pérez, T., y Torres, A. (2001). Mecanismos de deterioro en ambientes marinos y urbanos, en "Infraestructura de Concreto Armado: Deterioro y Opciones de Preservación", Pedro Castro Borges, coord., pp. 1331, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, D.F.
- Moreno E., Solís R. and Cob E. (2003). Reinforcing Steel Corrosion in Houses due to Concrete Carbonation in Urban Tropical Environments, "CORROSION/2003", 58TH Annual Conference & Exposition, Paper No. 280, NACE International, Houston, Texas.
- Moreno, E. I., Solís Carcaño, R. G., y López Salazar, L. (2005). Carbonation-Induced Corrosion in Urban Concrete Structures. "CORROSION/2005", 60TH Annual Conference & Exposition, Paper No. 263, NACE International, Houston, Texas.
- Page, C. L. (1975). Mechanism of Corrosion Protection in Reinforced Concrete Marine Structures, "Nature", Vol. 258, pp. 514-515.
- Ratay R. (2000). "Forensic Structural Engineering Handbook", Mc Graw-Hill, New York.
- Sanjuán M., y Castro P. (2001). "Acción de los Agentes Químicos y Físicos sobre el Concreto", Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., México, D.F. Solís et al. / Ingeniería 9-1 (2005) 13-18
- <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=560193>. Por Hugo Salvatierra Arreguín publicado 00:00, 10 de diciembre de 2007. (Carlos Ferrer).