



ASOCIACION VENEZOLANA
DE GALVANIZADORES

Presentación

La Asociación Venezolana de Galvanizadores publica este importante trabajo del Profesor Miguel Sánchez Gómez, presentado en el Congreso Internacional de Corrosión-Venezuela 2005, por considerarlo de interés, no sólo en el ámbito académico, sino también en el amplio sector de la construcción, en el que se presentan grandes problemas de corrosión en el concreto.

Esta publicación forma parte de una serie de ediciones en las que recogeremos estudios y ponencias expuestas en nuestros cinco Simposios y otros eventos nacionales e internacionales, en los que se aborda el tema de la corrosión y sus impactos económicos y ambientales, así como las soluciones existentes para proteger eficazmente el acero y conferirle el valor de la durabilidad, con mínimos o sin ningún gasto de mantenimiento.

AVGAL divulga las aplicaciones y ventajas del galvanizados en caliente, proceso químico-físico de reconocida eficacia en la protección del acero, para lograr que mediante una información oportuna y de calidad, las instituciones públicas y privadas, los profesionales, los empresarios, los usuarios y todos los agentes que participan en la construcción de todo tipo de edificaciones, puedan decidir acertadamente sobre la protección que conferirán al acero a ser utilizado en sus proyectos, para garantizar durabilidad a los mismos y el ahorro consiguiente de recursos.

Esperamos que esta publicación y las otras que continuaremos ofreciendo, contribuyan a lograr un uso más racional de los recursos que se invierten en la infraestructura física, en el equipamiento urbano, en instalaciones petroleras, petroquímicas, navales, agrícolas e industriales, así como en viviendas, vialidad, telecomunicaciones y en todas las innumerables aplicaciones del acero galvanizado.

Ofrecemos a las instituciones y personas interesadas el material informativo y científico sobre Acero, Corrosión y Galvanizado, que poseemos y recibimos en nuestra Unidad de Información y Documentación, ubicada en Caracas.

ASOCIACIÓN VENEZOLANA DE GALVANIZADORES: www.avgal.net

E-mail: avgal01@hotmail.com avgal02@cantv.net info@avgal.net

Telefax (0212) 263 36 77 263 09 56- Caracas



ASOCIACION VENEZOLANA
DE GALVANIZADORES

EL ACERO GALVANIZADO

Y su contribución a la durabilidad del concreto reforzado

INTRODUCCION

El concreto es un material de construcción que ha resultado ser un excelente recubrimiento protector para el acero. En primer lugar, proporciona una verdadera barrera física entre el acero y el medio ambiente, y también forma una película pasiva sobre el acero, debido a que el pH de la solución acuosa que llena los poros del concreto se encuentra entre 12,3 y 13,8.^[1] A estos valores de pH el acero se ubica en la zona de pasividad de acuerdo al diagrama de Pourbaix.

Aunque numerosas estructuras de concreto armado están libres de corrosión después de una vida útil muy larga, también se reportan muchos casos donde la corrosión de los refuerzos ha producido la destrucción de las estructuras, o al menos ha creado la necesidad de reparación de las mismas.^[2,3]

La corrosión, en general, consiste en la oxidación destructiva del acero. En el caso de refuerzos en el concreto resulta de la falta de uniformidad en el mismo, así como también de las heterogeneidades en el medio físico o químico (concreto) que lo rodea.

Así, la corrosión ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica, la cual consta de cuatro elementos principales: un ánodo, donde ocurre la oxidación; un cátodo, donde ocurre la reducción; un conductor metálico, donde la corriente eléctrica fluye en forma de electrones y un electrolito (en este caso el concreto), donde la corriente eléctrica es generada por el flujo de iones en un medio acuoso.^[3]

Es importante mencionar que sin la presencia simultánea en el concreto de oxígeno y humedad no es termodinámicamente posible la corrosión. Así, tanto el acero como otro material metálico se corroe por una reacción anódica que permite que se disuelvan formando iones, pero simultáneamente debe ocurrir una reacción catódica (como la reducción de oxígeno), todo esto en presencia de agua.

Por lo tanto, para proporcionar adecuada protección a las armaduras de refuerzo contra las acciones agresivas de los agentes externos, el concreto debe ser sólido, homogéneo, compacto resistente y poco poroso, además de garantizar sus propiedades mecánicas.^[4]

Mientras la corrosión de acero sin proteger representa generalmente un serio problema de mantenimiento en todos los ambientes húmedos, la corrosión del acero

embebido en concreto queda limitada a unos cuantos casos especiales como la presencia de Cloruros, Carbonatación (pérdida de alcalinidad), Oxígeno y Humedad.

El problema con la corrosión del acero embebido, es que el óxido producido es más grande en volumen que el acero y crea fuerzas expansivas que pueden exceder el esfuerzo de tensión del concreto, que generan grietas o delaminación del mismo, condición que incide desfavorablemente sobre la durabilidad de estas estructuras.

La pérdida del enlace entre el concreto y el acero de refuerzo y la pérdida de sección transversal del acero, producen serios problemas en la estructura y puede resultar que ésta colapse.^[4]

Por otra parte se tiene que la American Concrete Institute (ACI)^[5] define la durabilidad del concreto de cemento Pórtland, como la habilidad para resistir la acción del intemperismo, el ataque químico, la abrasión, o cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzca deterioro del concreto.

El aspecto que más se destaca en la durabilidad es que no se refiere solamente al diseño de mezcla a partir del cual se elaboró el concreto, sino que está en función del ambiente de exposición y las condiciones de trabajo a las cuales está sometido. De acuerdo a esta concepción un concreto por si mismo no es durable, ya que las características físicas, químicas y mecánicas que un momento dado fuesen apropiadas, pudiesen ser inadecuadas para otras condiciones de servicio.

Durante mucho tiempo se tuvo la concepción que la durabilidad del concreto estaba asociada particularmente solo a la resistencia de la compresión, pero las experiencias prácticas y el avance de la investigación en cuanto a la vida útil de obras de concreto reforzado con acero en esta área han manifestado que solo la resistencia es uno de los aspectos involucrados, pero no el único ni el suficiente para obtener un concreto durable.^[6,7]

El problema de durabilidad de las estructuras de concreto se debe considerar bajo los siguientes aspectos:

- La clasificación de la agresividad del medio ambiente
- La clasificación de la resistencia del concreto al deterioro
- Los modelos (preferentemente numéricos) del deterioro y envejecimiento de las estructuras de concreto.
- La vida útil deseada, o sea, el período de tiempo en el cual se desea que la estructura atienda ciertos requisitos funcionales con un mínimo de mantenimiento.[6,7].

La clasificación de la agresividad del ambiente, con base en las condiciones de exposición de la estructura o de sus partes, debe tener en cuenta el micro y el macro clima actuantes sobre la obra en sus partes críticas.

DURABILIDAD

A partir de una síntesis de las publicaciones técnicas existentes sobre el tema, la agresividad ambiental puede ser evaluada según el punto de vista de la durabilidad de la armadura y de la durabilidad del propio concreto.

El problema de la durabilidad es sumamente complejo, en la medida en que cada situación de exposición y condición de servicio ameritan una especificación particular tanto para los materiales y diseño de mezcla, como para los aditivos, la técnica de producción y el proceso constructivo.

La clasificación de la agresividad ambiental según el punto de vista de la durabilidad del concreto de las estructuras, puede efectuarse de acuerdo con parámetros químicos que se distinguen bajo tres mecanismos básicos de deterioro: ^[6,7].

Lixiviación por acción de las aguas puras, carbónicas agresivas y ácidas que disuelven y lavan los compuestos de pasta hidratada, especialmente el hidróxido de calcio.

Expansión por acción de sulfatos reactivos sobre el aluminato tricálcico de la pasta

Expansión debida a las reacciones de los álcalis del cemento con ciertos agregados.

Los modelos numéricos de deterioro o envejecimiento de las estructuras, también deben ser considerados por separado, bien estén relacionados con la corrosión de las armaduras o con el deterioro del concreto.

Para la corrosión del refuerzo existen actualmente modelos de envejecimiento, mientras que para el deterioro del concreto (velocidad de deterioro por sulfatos, por lixiviación, por reacción álcali-agregado y otras formas de deterioro) aún no existen modelos matemáticos satisfactorios, por lo que hay que basar las condiciones de durabilidad en valoraciones cualitativas.

Los dos factores más comunes que pueden producir la corrosión de refuerzos en estructuras de concreto son:

1.- Presencia de iones cloruros, ya sea provenientes de los agregados utilizados como materia prima (agua, cemento, piedras, arena o aditivos) o debido a su penetración desde el exterior del mismo concreto (ambientes marinos).

2.- Disminución del valor del pH de la solución acuosa contenida dentro de los poros del concreto, debido a la reacción de la pasta de cemento con el dióxido de carbono de la atmósfera (Carbonatación), o reacción con otras sustancias ácidas (lluvias ácidas, soluciones o vapores ácidos, etc).

Los cloruros generalmente producen corrosión localizada, mientras que la pérdida de alcalinidad produce corrosión generalizada. El progreso del proceso de corrosión obedece a un mecanismo de naturaleza electroquímica, para el cual es necesario, tanto el oxígeno como la humedad.

Además, es importante hacer referencia a que la existencia de coqueras, huecos rellenos de aire en contacto con las armaduras, debidos, en general, a una deficiente puesta en obra del concreto, pueden dar lugar a fenómenos de pH y aireación diferencial, que provocan la corrosión de las zonas con menor oxigenación o menor pH, que actuarían de ánodos.

Las principales consecuencias de la corrosión de los refuerzos son:

- ✓ Disminución del diámetro de la barra (reducción de sus propiedades mecánicas)
- ✓ Manchas de óxidos, fisuración, agrietamiento y delaminación del concreto debido a la expansión asociada a la formación de óxidos ferrosos y férricos; y
- ✓ Disminución de la adherencia concreto/acero.

La situación más agresiva y común que puede desencadenar la corrosión localizada en el acero de refuerzo del concreto es la presencia de cloruros.^[8,9,10] Cuando las concentraciones de cloruros llegan a un valor crítico o límite, comienza el proceso de corrosión^[11] destruyéndose la capa pasiva.^[8]

El valor crítico o límite se expresa comúnmente en porcentaje por peso de cemento (%Cl⁻ ppc), en porcentaje por peso de concreto (%Cl⁻ pp de concreto) o en Kg de Cl⁻ por m³ de concreto.^[8]

La diferencia entre los valores críticos máximos admitidos por los distintos códigos aparece debido a la inexistencia de un límite único de aplicación.^[12]

La velocidad de corrosión aumenta con la concentración de cloruros. Concentraciones entre 0,6 Kg/m³ y 0,9 Kg/m³ son suficientes para iniciar el proceso de corrosión.^[11]

En ambientes marinos la proporción de cloruros es constante y hay que tomar en cuenta tres aspectos importantes, los cuales son:

- Tiempo que tardan en llegar hasta la armadura.
- Proporción que induce la despasivación.
- Velocidad de corrosión que provocan una vez desencadenada la corrosión.

En cuanto al tiempo que tardan los cloruros en llegar a la armadura en una estructura ya construida, lo importante es averiguar a qué profundidad han penetrado en el momento de hacer la inspección, ya que el recubrimiento del concreto debe ser superior a la profundidad que sean capaces de alcanzar estos iones en el tiempo previsto de vida útil de la estructura.

La velocidad de avance de los cloruros es, en general, una función de la raíz cuadrada del tiempo:

$$X_{Cl^-} = K_{Cl^-} t^{1/2}$$

El acero galvanizado, y su contribución a la durabilidad del concreto reforzado

X_{Cl^-} = profundidad alcanzada por una cierta proporción de cloruros.

t = tiempo.

K_{Cl^-} = constante dependiente del hormigón y del medio.

Ello es debido a que, en general, tanto los procesos de difusión pura, como los de absorción capilar, siguen una ley exponencial.

La carbonatación del concreto es otra de las causas más frecuentes de la temida pérdida de pasividad de las armaduras. Este proceso de carbonatación consiste en la reacción del CO_2 del medio con la fase líquida intersticial saturada en hidróxido de calcio del concreto y con los compuestos hidratados del cemento, en equilibrio con dicha fase líquida.

El cambio de constituyentes de concreto supone una modificación simultánea de su estructura y características. La más importante en lo que a corrosión se refiere, es la diferenciación del concreto en dos zonas con valores de pH muy diferentes, por lo general a $pH > 12$ y otra $pH < 9$.

La consecuencia inmediata es que las armaduras pasan del estado pasivo a uno de corrosión. Conocido esto, se plantea la cuestión de si puede considerarse la carbonatación como causa suficiente para que se produzca la corrosión, a lo que debe contestarse negativamente.

En efecto, la práctica informa que en un ambiente seco interior no se producen, por lo regular, daños por corrosión, aunque el recubrimiento de concreto esté carbonatado. Los casos característicos de corrosión de las armaduras, con formación de productos expansivos que provocan el agrietamiento del concreto, suelen estar asociados a la carbonatación de concretos húmedos.

En general, puede afirmarse que las armaduras embebidas en el concreto carbonatado no se corroerán si las condiciones del medio son tales que no se ataca el acero sin protección expuesto a él, corroyéndose en cambio en forma generalizada bajo condiciones capaces de resultar agresivas para el acero desnudo.

El proceso de carbonatación es generalmente lento, a causa del pequeño contenido de CO_2 de la atmósfera, del orden de un 0,03% en volumen, de forma que en concretos densos bien ejecutados, solo se hace patente después de años o decenios. Sobre su cinética influye un gran número de factores, que pueden variar entre márgenes amplísimos y que aquí simplemente se enumerarán, si bien pueden ampliarse detalles sobre su efecto en multitud de trabajos.

Puede distinguirse entre factores dependientes del propio concreto, como su dosificación en cemento, grado de hidratación, aditivos y relaciones agua/cemento y cemento/arena y factores que dependen de las variables del medio, esencialmente, la humedad.

Como la etapa más lenta del proceso de carbonatación suele ser la difusión del CO_2 a través del concreto carbonatado, hasta los componentes carbonatables aún no

transformados, tanto los factores intrínsecos y extrínsecos favorecen o se oponen a la carbonatación según aumenten o restrinjan la porosidad o, en sentido más estricto, la penetrabilidad del concreto por los agentes agresivos.

Así se conoce, por ejemplo, que el curado debe realizarse en un medio muy húmedo o en agua para favorecer el grado de hidratación del cemento, lo que aumenta su resistencia mecánica y disminuye su porosidad; que recurriendo a relaciones a/c muy bajas, dentro del margen técnico de $0,4 < a/c < 0,7$; es posible producir un concreto prácticamente no carbonatable, o que la carbonatación no progresa en concretos muy húmedos debido a que la difusión de CO_2 en los poros llenos de agua es extra-ordinariamente lenta, si bien el concurso de una mínima cantidad de agua, que parece tener un efecto catalítico sobre la carbonatación, es imprescindible para que ésta se produzca.

De acuerdo a lo esperado en un proceso controlado por difusión, en el que el impedimento a la penetración del agente agresivo, CO_2 , es proporcional al espesor de la capa carbonatada, uno de los modelos más sencillos que permiten predecir la velocidad del proceso, es la siguiente:

$$x = k_c \cdot t^{1/2}$$

Donde:

x = Espesor de la capa carbonatada

t = Tiempo

k_c = Constante de Carbonatación

El valor de k_c se puede determinar si se conoce el grosor de la capa carbonatada y la edad de la estructura. Una vez conocido k_c se puede estimar el tiempo necesario para que este frente alcance el esfuerzo, si es que esto no ha ocurrido en el momento de la inspección.

Cuando el análisis se refiere a concretos agrietados, habría que considerar, adicionalmente, el ancho de las grietas y la permeabilidad de los depósitos que las obturan parcial o totalmente. Es muy difícil poder desarrollar una fórmula, con todos los parámetros, con la que se pueda predecir el avance de la carbonatación en forma precisa.

Evidentemente, la carbonatación puede penetrar mucho más rápidamente en el interior vía grietas que a través de un recubrimiento sin defectos. En el interior de las grietas suelen formarse depósitos bien de suciedad, procedentes de la corrosión de las armaduras o de fenómenos de transporte de materia, que afectan a los propios constituyentes del concreto. En el último caso, los depósitos pueden resultar de la lixiviación y migración de álcalis desde las zonas no carbonatadas, lo que puede promover una autor-regeneración de la pasividad.

La densidad y, consecuentemente, la permeabilidad de los depósitos resultan muy influidas por las condiciones ambientales, especialmente por los cambios de humedad, la proporción de componentes en el concreto y el espesor del recubrimiento.

Las fisuras o grietas suponen un camino directo de entrada de los agentes agresivos hasta la armadura, e incluso, en el caso de que el ambiente exterior no sea agresivo, lo que se produce es la carbonatación de los bordes, por lo que se puede corroer la zona de la armadura cercana a la fisura. Una vez iniciada la corrosión, los productos de ésta pueden o no obturar y bloquear el acceso de nuevos agresivos.

El factor crítico de las fisuras en relación con la corrosión de armaduras es la anchura máxima que pueden tener, sin que la vida útil se altere apreciablemente. Los límites de anchura de fisura más habitualmente permitidos son 0,3 mm, para medios de agresividad moderada, y 0,1 mm, para medio de elevada agresividad.

Para la mayoría de los ambientes normales, la durabilidad de una estructura está garantizada mediante un adecuado diseño y correcta preparación del concreto (buena calidad y espesor de recubrimiento suficiente, así como una adecuada selección de las barras de refuerzo). Sin embargo, para condiciones ambientales muy agresivas, es ineludible la aplicación de métodos de protección adicional. Uno de estos métodos es el uso de refuerzos galvanizados en concreto.

GALVANIZADO EN CALIENTE

La galvanización por inmersión en caliente constituye el mejor procedimiento de protección del acero frente a la corrosión; los recubrimientos galvanizados son tenaces y resistentes a la abrasión

El galvanizado es el resultado de un proceso físico-químico que consigue una verdadera unión entre el hierro (metal base) y el cinc, logrando de este modo que el material férreo adquiera unas propiedades superficiales equivalentes a las del cinc, lo que conlleva a una mejor resistencia frente a determinados medios corrosivos con las características mecánicas del material base.

La reacción química entre el hierro base y el cinc del baño produce una estructura compleja, de acuerdo con el diagrama binario de equilibrio hierro-zinc.

En los últimos años el acero galvanizado se ha venido usando para reforzar el concreto, este refuerzo con galvanizado es una solución generalmente usada para reducir el problema de la corrosión de los aceros reforzados en estructuras de concreto, expuestas a un alto riesgo de deterioro a pesar de que en ciertos casos se han obtenido resultados contradictorios (debido a las características de cada medio en particular).

La utilización de este tipo de refuerzo ha arrojado con el paso de los años buenos resultados que se reflejan en el aumento de la vida útil de las estructuras de concreto en las cuales se ha aplicado.

La galvanización de refuerzos fue introducida para mejorar la vida en servicio de estructuras de concreto en ambientes tropicales y marinos en Estados Unidos.

El primer uso práctico de refuerzos galvanizados encontrado en la literatura^[13] fue reportado en 1931. La estructura seleccionada fue un muelle en Bermudas, ya que el clima

marino cálido y húmedo de estas islas, combinado con el uso de agregados de origen coralino, reduce la durabilidad de cualquier estructura de concreto reforzado. Esta primera experiencia fue un éxito, y llevó hacia el uso de refuerzos galvanizados en tales ambientes agresivos, pero a pesar de la favorable experiencia práctica, las pruebas de laboratorio arrojaron dudas sobre la durabilidad del acero galvanizado en concreto.

En los primeros artículos sobre acero galvanizado en concreto^[14] todos los resultados reportaron el favorable comportamiento del acero galvanizado comparado con acero común en concreto contaminado con cloruros. Sin embargo, en 1976, investigaciones con resultados aparentemente desfavorables^[15] motivaron a la FHA (Administración Federal de Autopistas de Estados Unidos) a tomar una posición más conservadora sobre el uso general del galvanizado. En Venezuela, en la Universidad del Zulia, se continúan realizando estudios sobre el uso del acero galvanizados en medios agresivos.^[16,17]

La mayor efectividad de los revestimientos va a depender de las características del mismo, tales como espesor y composición (sobre todo de la capa η) así como también de las características del concreto (tipos de agregados, modo de preparación, etc.) y además del tipo de ambiente al cual se encuentra expuesto.

Se han reconocido tres parámetros que parecen determinar el proceso de corrosión de los refuerzos galvanizados, estos son: el tipo de concreto, el tipo de estructura metalográfica del revestimiento galvanizado y la humedad relativa, sin olvidar el efecto particular que tienen los cloruros sobre la capa pasivante de productos de corrosión formada sobre la superficie de revestimiento y a su vez en la velocidad de corrosión.

Otro factor muy importante es el pH y la influencia que tiene sobre la velocidad de corrosión de los refuerzos galvanizados, los cuales presentan una capa externa que es de prácticamente cinc puro, por lo cual se debe tomar en cuenta el carácter anfótero que presenta este elemento que en medios muy alcalinos así como en medios muy ácidos se corroe, tal como lo demuestra el diagrama de Pourbaix: por lo que el pH determina la velocidad de corrosión de los materiales galvanizados.

No existe controversia en lo que concierne al buen desempeño del galvanizado en concretos carbonatados. Por demás, hay recomendaciones para usar barras galvanizadas en estructuras donde el recubrimiento debe ser muy delgado debido a un diseño especial. Barras galvanizadas se recomiendan también para aplicaciones de mampostería reforzada.

Esta confianza en el acero galvanizado obviamente surge de su comportamiento superior en medios neutros. Sin embargo, antes que el concreto esté carbonatado, el acero galvanizado está en contacto con la solución alcalina de poro y parte del revestimiento es consumido en formar la capa protectora de hidroxincato cálcico.

Una decisión para usar galvanizado por inmersión en caliente, o cualquier otro método complementario de protección de refuerzos en un ambiente agresivo particular, depende del balance entre ventajas técnicas y consideraciones económicas. El aumento esperado en la vida útil debe justificar el aumento en costos y el método de protección debe ser técnicamente disponible.

Los aspectos más importantes de las barras galvanizadas que influyen en la vida útil de los refuerzos son el espesor y las características metalográficas del revestimiento. Con respecto al espesor, no debe ser menos de 60 μm y debería ser mayor mientras más agresivo sea el ambiente. Sin embargo, no solamente debe ser adecuado el espesor total, sino que también el de la capa externa de zinc puro.

Un revestimiento con sólo una capa pura de zinc es mucho más resistente al ataque que uno que contiene capas aleadas. En todo caso, la capa externa de zinc no debe ser menor que 10 μm .

El tipo de cemento usado es también muy importante, sin embargo, un cemento con un contenido bajo de álcali no se adquirirá a un bajo costo. En todo caso, los cementos con un contenido alto de álcali son menos protectores desde el punto de vista de la galvanización pero nunca son agresivos.

Además, las disparidades introducidas por la fabricación de concreto hacen el desempeño menos predecible y, por lo tanto, atenúan la importancia del tipo de cemento. Sin embargo, si se encuentran disponibles algunos tipos diferentes de cemento, es recomendable el uso de cementos con un contenido bajo de álcali.

La correcta dosificación, fabricación y curado del concreto son también esenciales para el buen desempeño del acero galvanizado. Debido a que la humedad ambiental no es fácil de controlar, la recomendación más importante es impedir la pérdida de agua a través del concreto. La galvanización es por lo tanto beneficiosa en concreto carbonatado con y sin la presencia de cloruros.

CONCLUSIONES

Aun cuando el acero galvanizado es un método importante en el control de la corrosión de concreto reforzado, es importante realizar evaluaciones mediante técnicas electroquímicas en medios alcalinos, que simulen presencia y ausencia de cloruros y/o carbonatación, con el fin de determinar el efecto que tiene la velocidad de corrosión tomando en cuenta la influencia del pH, humedad relativa, de otros fenómenos tales como, carbonatación y características de la estructura metalográfica de revestimiento en la estabilidad en la capa pasiva, debido al posible aumento en la adherencia y resistencia de la misma.

Estipular el efecto particular que tienen los cloruros a ciertos valores de concentración sobre los productos de corrosión formados y la determinación de un pH óptimo dentro del cual el comportamiento de la capa de zinc, utilizada como revestimiento, sea muy estable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Pourbaix, M. "Atlas of Electrochemical Equilibria", Pergamon Press, Oxford, 1966.

Andrade M. C. y Macias A. "Galvanized Reinforcement in Concrete". Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento del C.S.I.C., Madrid, 1985.

Cheng T.P., Lee J.T., Lin K.L. and Tsais W.T. "Electrochemical Behavior of Galvanized Al – Zn Coatings in Saturated Ca(OH)₂ Solutions". Corrosion, Vol. 47, No. 6., (1991).

CYTED "Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en estructuras de Concreto Armado", Venezuela, 1997.

ACI Corrosion of Metals in Concrete. ACI Committee 222

Andrade C. González J.A. Tendencias Actuales en la Investigación sobre la Corrosión de las Armaduras. Informes de la Construcción. Vol. 40, No 398, pp. 7-14, Nov.-Dic. 1988

Helene P. Diagnostico de la Corrosión de las Armaduras y Vida Util Residual de Estructuras de Concreto. Seminario FOSROC/RENA Sobre patología de las Estructuras de Concreto. Una Visión Moderna, Salvador, Diciembre 1992.

Macias A.; Andrade C.- Corrosion Rate of Galvanized Steel Immersed in Saturated Solutions of Ca(OH)₂ in the pH Range 12-13.8. Br. Corrosion. J. 1983, Vol. 18, No. 2.

Moreno E.- Accelerated Carbonation-Induced Corrosion of Reinforcing Steel Bars in Blended-Cement Concrete. A Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Civil Engineering Department of Civil and Environmental Engineering University of South Florida. May 1996.

Santos P., Alonso C.; Macias A., Andrade C.- Calculo de la icorr en los sistemas acero desnudo y Zn embebidos en mortero y acero galvanizado en disolución mediante la determinación de la impedancia y de la Rp. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento (C.S.I.C).

Santos P.; Macias A., Alonso C.; Andrade C.- Medida de la Resistencia de Polarización y de la Impedancia Electro-química de Armaduras Galvanizadas en Soluciones Carbonatadas. II Congreso Iberoamericano de Corrosión y Protección.

Macias A.; Andrade C.- Corrosion of Galvanized Steel Reinforcements in Alkaline Solutions. Br. Corrosion. J. 1987 Vol. 18, No. 2.

Porter F.C., Concrete, 1976, 8, 29.

Cornet I., Ishikawa, y Bresler B. ,Materials Protection, 1968, 7(3), 44)

El acero galvanizado, y su contribución a la durabilidad del concreto reforzado

Hill G.A., Spellman D.L. y Stratfull R.F., Laboratory Corrosion Test of Galvanized Steel in Concrete, Jan 1976, Report CA-DOT-TL-5351-1-76-02, Calif. Dept. of Transportation, Sacramento, CA.)

Linares D., Sánchez M., Efecto de las Soluciones Alcalinas Sobre Aleaciones de Cinc. XI Jornadas Científico Técnicas de la Facultad de Ingeniería de La Universidad del Zulia. 2004

Linares D., Sánchez M., Efecto de los Cloruros Sobre Concreto Reforzados con Aceros Galvanizados (En Prensa)

EL AUTOR

Miguel Sánchez Gómez es ingeniero químico graduado en la Universidad del Zulia en 1974. Magister Scientiarum en Ingeniería de Gas (LUZ), con cursos de especialización en la Universidad de La Plata, Argentina, y en la Universidad del Sur de La Florida, USA. Doctor en Electroquímica Fundamental y Aplicada de la Universidad de Los Andes.

- Profesor Titular de La Universidad del Zulia en cátedras como: Ciencia de los Materiales, Ingeniería de Corrosión, Corrosión de Materiales de Construcción, Corrosión en la Industria Petrolera y Petroquímica.
- Jefe de la Sección de Investigación del Centro de Estudios de Corrosión de la Facultad de Ingeniería de la Universidad del Zulia.
- Asesor Técnico en empresas públicas y privadas.
- Miembro del Sistema de Promoción de Investigación (CONICIT)
- Premio “Dr. Francisco Eugenio “. De la Universidad del Zulia, entre otros reconocimientos.
- Miembro Honorario de la Asociación Venezolana de Galvanizadores