CORROSIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON ADICIONES DE PARTÍCULAS NANOMÉTRICAS DE TUBOS DE CARBONO

M.J. Del Rincón C[1,2], I Lucero G[1]., L. Barrientos J[1]..,C. Gaona-Tiburcio[1],
A. Martínez-Villafañe[1], C. Olague C.[2]., F. Almeraya-Calderón[1].
|
[1]**Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.**
Departamento de Integridad y Diseño de Materiales compuestos/Grupo Corrosión
Miguel de Cervantes # 120, Complejo Industrial Chihuahua. Chihuahua, Chih., México.
[2]**Universidad Autónoma de Chihuahua**.
Facultad de Ingeniería. Chihuahua. México
*E-mail autor: facundo.almeraya@cimav.edu.mx

En el presente trabajo se estudia el comportamiento de la corrosión del concreto reforzado adicionándole partículas de nanotubos de carbono, con la finalidad de mejorar su resistencia a la corrosión. Se prepararon cinco lotes de especímenes cúbicos de morteros con relación agua/cemento de 0.45, con 150% de agregado fino y nanotubos de carbono (NC) ha enfocado a determinar la velocidad de corrosión en el acero de refuerzo embebido en concreto con adiciones de partículas nanométricas el lote control se fabricó sin nanotubos de carbono, y los demás lotes fueron con al 0.01, 0.02, 0.03 y 0.04 % de nanotubos. Los especímenes fueron expuestos en una solución acuosa al 5% NaCl y mediante dos técnicas electroquímicas: medición de potencial de corrosión a circuito abierto durante 16 semanas. Las técnicas electroquímicas utilizadas fueron, potencial de corrosión a circuito abierto, Resistencia a la polarización lineal. Los especímenes tuvieron un arreglo experimental de tres electrodos. Los resultados obtenidos, destacan que los potenciales se mantienen por debajo de los -350 mV lo que indica que existe el 90 % de probabilidad de que haya corrosión.

Palabras claves: nanopartículas, concretos nanométricos, nanotubos de carbono, técnicas electroquímicas.

1. INTRODUCCIÓN

El deterioro de las estructuras de concreto reforzado ha sido un tema de gran relevancia para la industria de la construcción en los últimos años. Se calcula un costo de 300,000 millones de dólares por fallas en la infraestructura en los Estados Unidos de América. 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. [1]

La corrosión del refuerzo metálico embebido es reconocida como uno de los mayores problemas en estructuras de concreto convirtiéndose en un tema que requiere la atención de los ingenieros de mantenimiento de estructuras de concreto, tales como carreteras y puentes. El fenómeno de oxidación del refuerzo metálico afecta significativamente las características funcionales del concreto armado tales como la adherencia, además de inducir la formación de agrietamientos y desprendimientos de trozos de concreto, lo que compromete la integridad estructural. [2]

Desde la década de 1960 varios investigadores iniciaron el desarrollo de materiales y métodos para el control de la corrosión. El uso de materiales poliméricos como recubrimientos de la varilla de acero fue ampliamente difundido en los años 70, con la intención de formar una barrera que impidiera el contacto del acero con agentes agresivos y evitar la corrosión. Después de evaluaciones de laboratorio y campo de corto tiempo, las varillas cubiertas con polímeros epóxicos fueron adoptadas en 1981 por la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos y algunas Direcciones Estatales de Transporte como el principal medio de control de la corrosión en puentes. Consecuentemente, las varillas con recubrimientos epóxicos fueron colocadas en cientos de estructuras a lo largo del territorio norteamericano. Inicialmente, este sistema mostró buenas propiedades anticorrosivas en las cubiertas de los puentes en que se aplicaban sales deshielantes y en la subestructura colocada en medio marino. Sin embargo, después de varios años este material de construcción acusó signos de corrosión y algunas limitaciones, por lo que su empleo se cuestionó severamente.

Otra opción que se ha ensayado es el uso de sustancias que reduzcan la velocidad de corrosión del acero de refuerzo, las cuales se adicionan durante el mezclado del concreto y se conocen como inhibidores, que ha dado buenos resultados a nivel laboratorio, pero su eficiencia no está comprobada en estructuras reales. [3]

Por lo anteriormente expuesto y en búsqueda de nuevas adiciones que reduzcan la velocidad de corrosión del acero de refuerzo se ha encontrado como opción el uso de partículas nanométricas, las cuales han tenido sus principales aplicaciones en la industria biomédica, telecomunicaciones, armamento y sistemas de defensa, producción agrícola, remediación de la contaminación atmosférica, procesamiento de alimentos entre otros, y recientemente se han utilizado como adiciones en concretos con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas y físicas.

En la actualidad se ha comprobado que las nanopartículas presentan propiedades físicas y químicas excepcionales, a grado tal que existen diversos estudios dirigidos al ramo de la construcción. Dichos estudios tienen como finalidad lograr un mejor entendimiento de las propiedades del concreto a escala nanométrica. Las principales investigaciones en concretos nanométricos han incorporado NP tales como: nanosílice, nanoalúmina, óxidos de hierro y de titanio nanométricos, cenizas de magnetita, nanotubos de carbono y cenizas volantes. Sin embargo las principales investigaciones se han encaminado a mejorar las propiedades mecánicas del concreto, por lo que son pocos los antecedentes de estudios del comportamiento electroquímico en concretos nanométricos. [4-5].

El objetivo del presente estudio es determinar la velocidad de corrosión generada en el acero de refuerzo embebido en concreto con adiciones de nanotubos de carbono, mediante técnicas electroquímicas: medición de potencial de corrosión a circuito abierto y resistencia a la polarización.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 Elaboración de Muestras

Se fabricaron cinco lotes de especímenes cúbicos de 5 cm por lado, con relación agua/cemento de 0.45, con 150% de agregado fino y nanotubos de carbono; Los porcentajes de nanotubos en los especímenes se representan en la tabla 1. El figura 1, se observa la preparación de los especímenes.

Lote	% de Nanotubos de Carbono (NC)
Blanco	****
2	0.01
3	0.02
4	0.03
5	0.045

Tabla 1. % de nanotubos de carbono en los concretos.

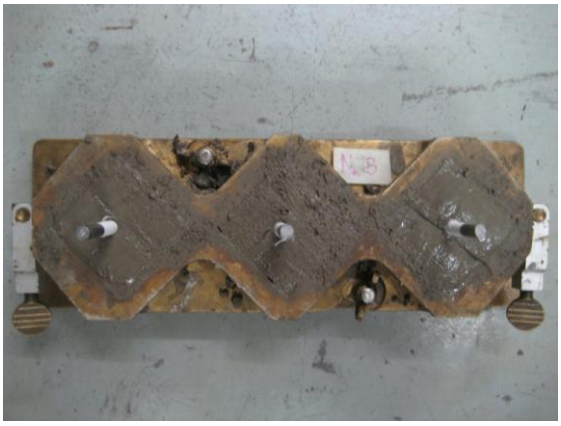


Figura 1. Especímenes de concreto evaluados en el presente estudio.

Para conocer el efecto de los nanotubos de carbono en la velocidad de corrosión del refuerzo, los especímenes cúbicos de cada mezcla fueron expuestos a solución acuosa al 5% NaCl y se monitoreó durante 16 semanas, el potencial de corrosión y resistencia a la polarización lineal.

2.2 Medición de Potenciales de Corrosión.

Se determinó el E_{corr} a circuito abierto, utilizando un electrodo de referencia de cobre/sulfato de cobre y un volmetro de alta impedancia, con una periodicidad de 1 semana hasta completar 16 semanas.

2.3 Medición de Velocidad de Corrosión.

Se utilizo la técnica de Resistencia a la Polarización Lineal, aplicando un barrido del potencial de ±20mV vs E_{corr} a una velocidad de barrido de 10mV/min; como electrodo de referencia se empleo uno de sulfato de cobre, y un electrodo auxiliar de grafito, utilizando para ello un equipo de corrosión electroquímica *Potenciostato/Galvanostato/ZRA marca Solartron.* [6]

2.4 Microscopia Electrónica de Barrido.

Mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), se analizaron los especímenes de concreto con la finalidad de observar morfologías y distribución de los nanotubos de carbono en el concreto.

2.5 Análisis Petrográfico.

Por microscopia óptica se pudo observar la distribución de los agregados junto con las pasta cementante.

3. RESULTADOS

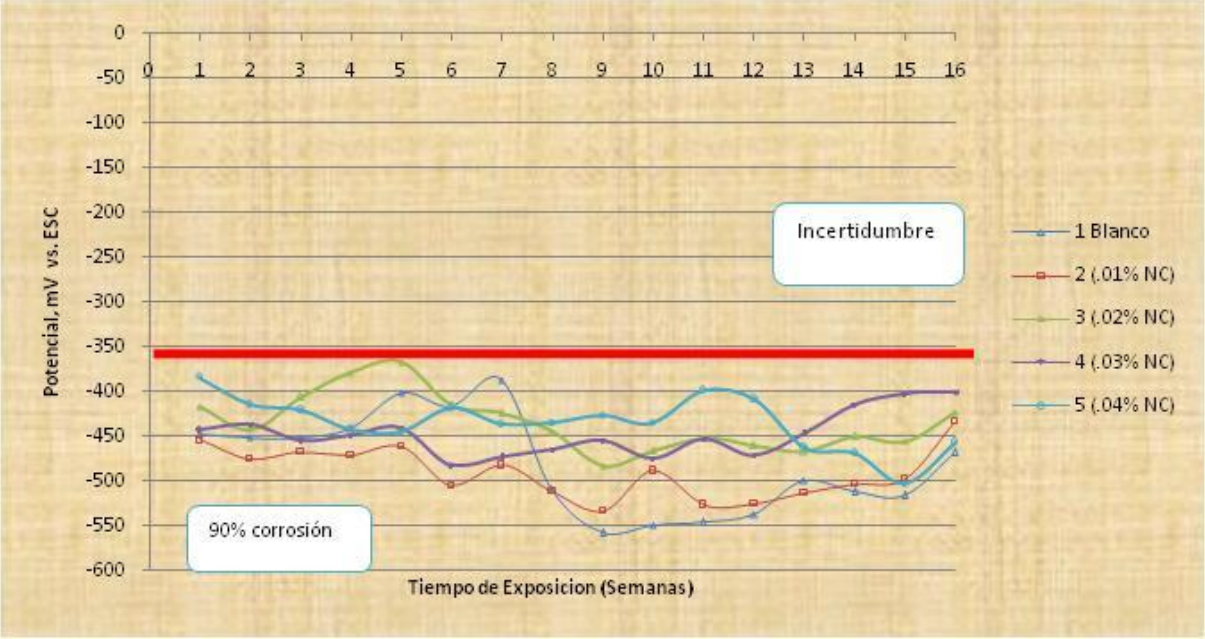
Potenciales de Corrosión.

El análisis de las graficas de potencial obtenidas de los especímenes en estudio, se realizo de acuerdo a los criterios de evaluación establecidos por la norma ASTM C-876-91(ver tabal 2).

Ecorr (mV)	Riesgo de Daño
< -200	10 % de probabilidad de corrosión
-200 a -350	Cierta incertidumbre
> -350	90 % de probabilidad de corrosión

Tabla 2. Interpretación de los potenciales de corrosión con base a ASTM C876 [7].

El potencial de corrosión del acero de refuerzo después de estar expuesto en Cloruro de Sodio para las cinco adiciones de nanotubos de carbono, muestras valores del potencial alrededor de los -350 hasta -480 mV lo cual indican que bajo los criterios de ASTM C876, se tiene un 90 % de probabilidades de corrosión (ver gráfica 1).



Gráfica 1. Potenciales de corrosión de la varilla de refuerzo embebida en concreto con adiciones de nanotubos de carbono.

Los potenciales de corrosión desde un inicio de la investigación se mantuvieron por debajo de los -350 mV, los cuales representan valores activos.

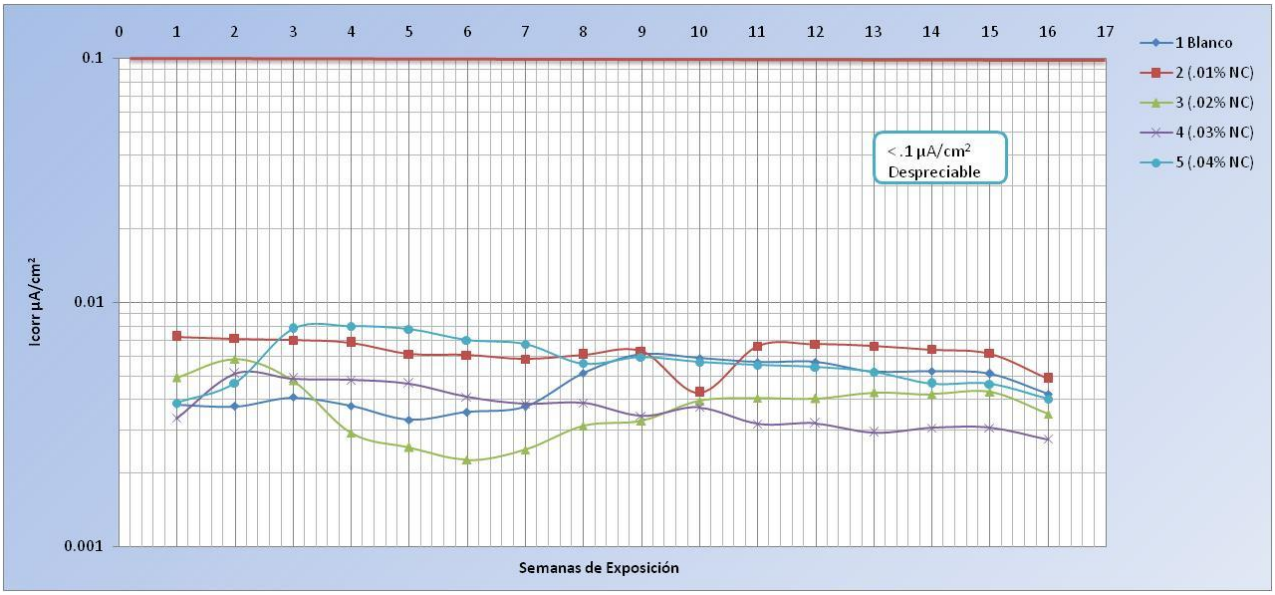
Velocidad de Corrosión.

El análisis de las graficas de i_{corr} obtenidas de cada los especímenes en estudio, se realizo de acuerdo con la red Durar (ver tabla 3) [6].

I_{corr} ($\mu A/cm^2$)	Nivel de Corrosión
< 0.1	Despreciable
0.1-0.5	Moderado
0.5-1	Elevada
>1	Muy elevada

Tabla 3. Interpretación de la i_{corr} de corrosión en concreto (DURAR) (6).

En cuanto a los valores de la i_{corr} se tienen valores menores a 0.1 $\mu A/cm^2$. En los cinco arreglos experimentales los resultados son muy similares, incluyendo el sistema sin nanotubos de carbono.



Gráfica 2. i_{corr} de la varilla de refuerzo embebida en concreto con adiciones de nanotubos de carbono.

Microscopia Electrónica de Barrido.

Por Microscopia Electrónica se pudo observar la distribución de los nanotubos de carbono dentro de la pasta de cemento.

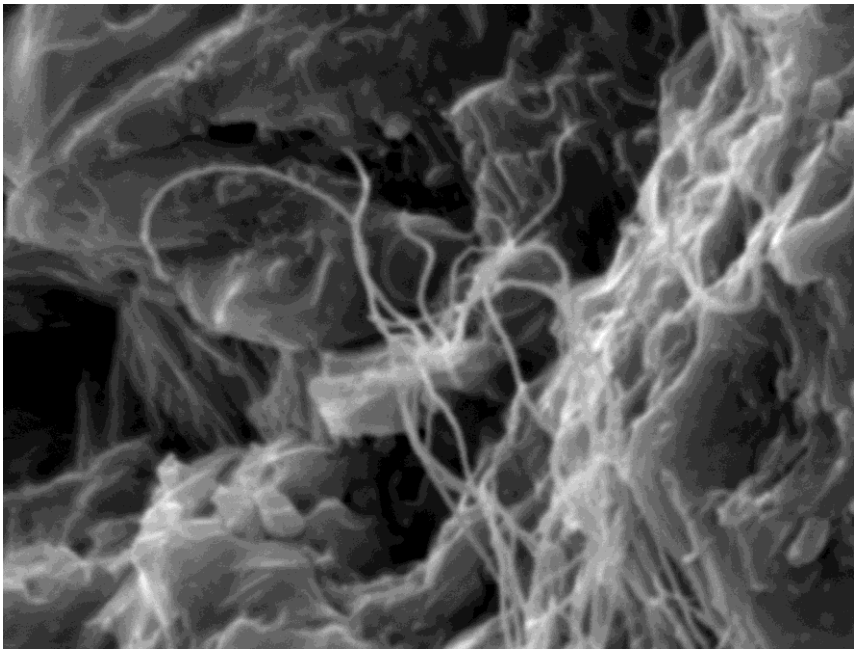


Figura 3. Imagen tomada con microscopio electrónico de barrido 15,000X

Análisis Petrográfico.

La distribución de los agregados fue homogénea, así como se observan en las imágenes de las muestras preparadas por análisis petrográfico.

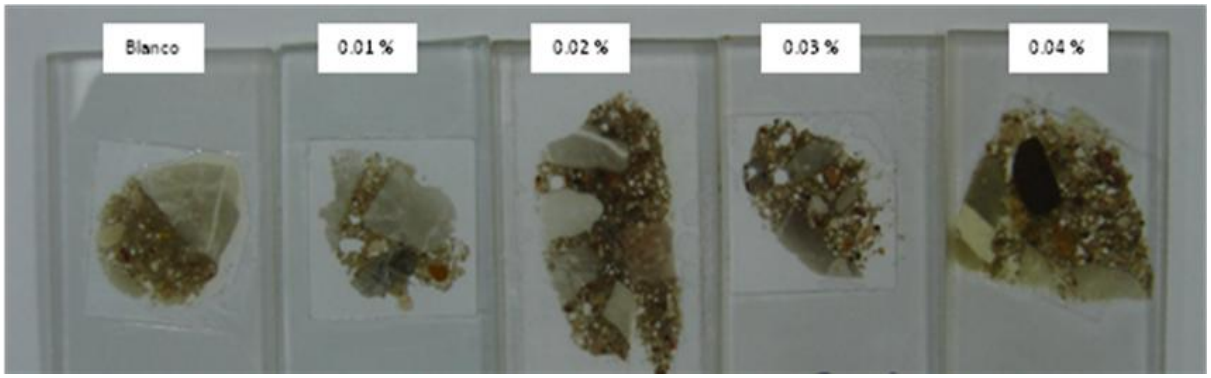


Figura 4. Distribución de agregados en los especímenes en estudio.

4. CONCLUSIONES

- Para las cinco adiciones de nanotubos de carbono, se tuvieron valores del potencial alrededor de los -350 hasta -480 mV lo cual indican que bajo los criterios de ASTM C876, se tiene un 90 % de probabilidades de corrosión
- La cinética de corrosión no tuvo incrementos significativos esta en dentro del nivel despreciable.
- No hay un efecto de los nanotubos de carbono en el sistema de corrosión.

5. REFERENCIAS.

1. E. F. Gundaker, "Corrosion monitoring and protection for infrastructure proyects", 2nd Latin American Region Corrosion Congress, NACE, 1996.
2. R. J. Kessler, R. G. Powers and I. R. Lasa, "Cathodic Protection Using Zinc Sheet Anodes and an Ion Conductive Gel Adhesive", NACE Corrosion Congress ´97, Paper No. 234.
3. A. Del Valle Moreno, T. Pérez López, M. Martínez Madrid, "El fenómeno de la corrosión en estructuras de concreto reforzado", IMT, Publicación Técnica No.182, Qro. México, 2001.
4. Tobón J.I., Restrepo B.O., Payá B.J., Adición de Nanopartículas al Cemento Pórtland, DYNA 152, Medellín, Colombia.
5. Hui Li, Hui-gang Xiao, Jie Yuan, Jinping Ou, Microstructure of cement mortar with nano-particles, Composites: Part B: Engineering (2004) 35 (Marzo).
6. DURAR. Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado, CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Red Temática XV.B Durabilidad de la armadura. ISBN 980-296-541-3, 1997. pág. 134.
7. Norma ASTM C 876 – 91 (Reapproved 1999), Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, Pág. 5