



12-14 de Noviembre del 2012
Facultad de Ingeniería Mochis, Universidad Autónoma de Sinaloa

COMPORTAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE PRIMARIOS APLICADOS EN ACERO 1018 COMO REFUERZO EN UN SUELO TIPO MH

M.A. Baltazar-Zamora¹, O. Ojeda-Farías¹, F.J. Olgún-Coca², G. Santiago-Hurtado¹

Facultad de Ingeniería Civil - Xalapa, Universidad Veracruzana,
Circ. G. Aguirre Beltrán S/N, Lomas del Estadio, Xalapa, Veracruz, México, CP 91000
² Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ingeniería y Ciencias Básicas

RESUMEN

El presente trabajo analiza el comportamiento anticorrosivo de tres tipos de recubrimientos aplicados en varillas de acero AISI 1018 corrugado de 3/8" de diámetro, de uso común para el refuerzo de suelos (Tierra Armada), los tres recubrimientos fueron el tipo realcalizante (lechada de cemento), el tipo catódico (Cromato de Zinc) y de tipo inhibidor (Minio de Plomo). La evaluación de la corrosión se llevó a cabo mediante el monitoreo de los potenciales de corrosión y la velocidad de corrosión de las barras con y sin recubrimiento enterradas en un suelo fino predominante en la región de Xalapa, Ver y clasificado en el SUCS como tipo MH, simulando las condiciones reales cuando el acero como refuerzo permanece enterrado durante todo el periodo de vida útil de la estructura del suelo. Se presentan los resultados de los primeros 214 días de exposición en un suelo MH con un 30% de humedad natural, de acuerdo al análisis realizado se tiene que las barras de acero con primario tipo inhibidor (Minio de plomo) y tipo catódico (Cromato de Zinc) presentan un mayor eficiencia que las barras con primario tipo realcalinizante (Lechada de Cemento) y las barras que no se les aplico ningún primario.

Palabras Claves: Primarios, Acero AISI 1018, Corrosión, Suelo Fino, Potencial de Corrosión.

ABSTRACT

The next work examines the anticorrosive behavior of three kinds of coatings applied in steel bars AISI 1018 corrugated 3/8" diameter common used to soil reinforce. The three coatings were the kind limestone real, the cathode kind and inhibitor kind. The evaluation of rust was held monitoring of corrosion potentials and the rush of rust in the bars with or without coating, buried in fine soil overriding Xalapa's region called in USCS as MH, simulating the real conditions when the steel as reinforce held buried all his useful life in the soil structure. Here are shown the results of the first 214 days into the exposure with a MH soil and a 30% of natural humidity, according to the exam realized it has the steel bars with primary inhibitor type (Read Lead) and cathode kind (Zinc Chromate) showing a better efficiency that the steel bars with alkalinity and the bars that wasn't primary applied.

Key words: Primaries, Steel AISI 1018, Corrosion, Fine Soil, Corrosion Potential.

INTRODUCCIÓN

Se tiene que el problema de la corrosión de los refuerzos en suelos reforzados, podría causar una repentina y catastrófica falla de dichas estructuras de tierra armada generalmente a lo largo de un plano vertical de máximas tensiones en el refuerzo. Y es por lo que la corrosión acelerada de los refuerzos debido a las condiciones de servicio es considerada el mayor problema de largo plazo y el que merece atención inmediata. El uso actualmente de Tierra Estabilizada Mecánicamente (MSE) es una técnica que ha adaptado desde hace 20 años como la más emocionante e innovadora tecnología de ingeniería civil. El diseño de estructuras de tierra armada requiere que la combinación de una sección de tierra y el refuerzo sea tal que la interacción entre los dos materiales produzca un material compuesto estructural que combinen sus mejores características tanto mecánicas como físicas.

Lo comúnmente usado en tierra armada como refuerzo hasta la fecha es el acero y en poca medida el acero galvanizado. Las aleaciones de aluminio y el acero inoxidable han sido utilizadas para reforzar principalmente en Francia. En México es común el uso de geotextiles y acero AISI 1018. La corrosión del refuerzo metálico enterrado en un suelo fino ha sido poco estudiado en comparación con otros medios o usos como en las estructuras de concreto reforzado [1-4], el fenómeno de oxidación del refuerzo metálico afecta significativamente las características funcionales de los refuerzos en tierra armada.

El hecho constatado en países de primer mundo de que las estructuras de suelos reforzados presentan problemas en un periodo corto de su vida en servicio, nos permite plantear la necesidad de investigar sobre este tema en nuestro estado de Veracruz, ya que siendo un estado en plena modernización del sector carretero, se han llevado a cabo este tipo de obras, que pudieran tener problemas de esta índole en un tiempo no lejano, dado que se pudiera presentar una acelerada o imprevista corrosión de los refuerzos que podrían ser causa de una repentina y catastrófica falla de la estructura de tierra armada.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el comportamiento electroquímico mediante las técnicas de Potencial de Media Celda y Resistencia a la Polarización Lineal, del acero como refuerzo en un suelo tipo MH (Limo de alta plasticidad) de la región de Xalapa, Veracruz, así como la eficiencia del mismo al utilizar diferentes primarios para su protección.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Muestreo y preparación de la muestra de suelo.

Características físicas de los agregados. La muestra fue obtenida en la Cd. de Xalapa, Ver; en el predio de las instalaciones de la USBI, perteneciente a la Sala de Conciertos de la Universidad Veracruzana, obteniendo una muestra inalterada y alterada. La muestra se obtuvo de acuerdo a la norma NMX-C-416 ONNCCE-2003 [5]. Se etiquetó con todos los datos requeridos para un estudio de mecánica de suelos, con origen, ubicación, profundidad.

Contenido natural de agua. El contenido de agua en el suelo se determinó de acuerdo a la norma de la SCT: M.MMP.1.04/03 [6], en donde se pesa el suelo húmedo primero, para después secarlo en horno a una temperatura de ± 110 °C, durante 24 horas, para determinar la diferencia entre peso húmedo y peso seco, que es la cantidad de agua que se evaporó, para reportar finalmente dicha cantidad en porcentaje, al dividirla entre el peso seco y multiplicarla por 100.

Características de las barras de acero AISI 1018 de estudio. Para tener un control de las variables que intervienen en la presente investigación se les asignó una nomenclatura a las barras dependiendo el tipo de primario, la evaluación fue por triplicado, la tabla siguiente resume las características de las barras y dicha nomenclatura

Tabla I. Características de las barras de estudio

Nomenclatura asignada a las barras de estudio de acuerdo al tipo de imprimación			
Cromato de Zinc	Minio de Plomo	Lechada	Sin Recubrimiento
Z1	M1	L1	N1
Z2	M2	L2	N2
Z3	M3	L3	N3

Preparación de las barras de estudio. Todas las barras con y sin imprimación fueron de acero AISI 1018 corrugado de 3/8" de diámetro, cortadas en trozos de 15 cm de largo, cubiertas por cinta teflón en la parte inferior y por la parte superior baja de la misma varilla, para ser enterradas en el suelo de estudio sin aplicarles ninguna protección, dejando sin recubrimiento la parte media de la varilla o barra en una altura de 4 cm, siendo esto para determinar una área de ataque de la corrosión tal como lo reportan diferentes autores [7-8]. Como se indicó anteriormente se colocaron tres barras por cada tipo de primario a evaluar. Para las barras a las que se les aplicó los primarios, esto se llevó a cabo como lo indica cada fabricante.

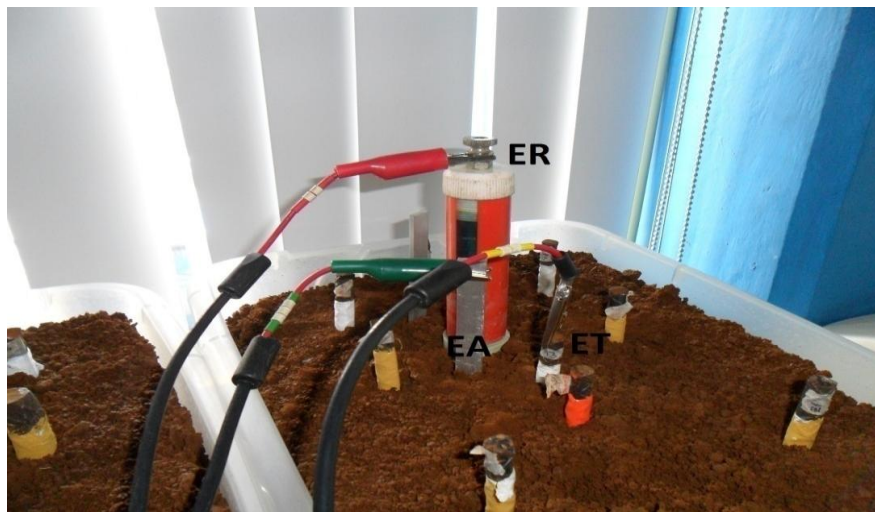


Figura 1. Celda electroquímica de experimentación.

EA = Electrodo auxiliar

ET = Electrodo de trabajo

ER = Electrodo de referencia Cu/CuSO₄

MH = Suelo de estudio

Evaluación electroquímica Para la evaluación electroquímica de las barras de acero con y sin recubrimiento, se llevó a cabo el monitoreo del potencial de corrosión E_{corr} de acuerdo a la norma ASTM C-876-09, además se evaluó también la velocidad de corrosión con la técnica de resistencia a la polarización lineal (LPR). Los datos se obtuvieron con un barrido \square 20 mV vs. E_{corr} y una velocidad de barrido de 10 mV/min, el equipo que se ocupó para realizar dichas pruebas fue un Gill AC Potenciostato/Galvanostato/ZRA ACM Instruments; con un electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre, Cu/CuSO₄; el arreglo experimental se observa en la Figura 1.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Potencial de Corrosión

El monitoreo de potencial de corrosión de los especímenes de prueba se realizó de acuerdo a la Norma ASTM C876-09 [9] así como su interpretación, solo agregando un rango más de acuerdo a la literatura [10], ver tabla II.

Tabla II Potenciales de corrosión en concreto reforzado

Potenciales de corrosión mV vs Cu/CuSO ₄	
< -500	Corrosión Severa
< -350	90 % de Probabilidad de Corrosión
-350 a -200	Incertidumbre
> -200	10 % de Probabilidad de Corrosión

E_{corr} barra de acero sin primario y con primario tipo realcalinizante.

Se puede observar en la figura 2, después de los primeros 25 días para tener constante la humedad del suelo, que se presenta para las barras de acero sin primario valores que indican incertidumbre de corrosión, con potenciales entre -200 mV y -350 mV, y teniendo para los especímenes con primario realcalinizante potenciales que indican un 90% de probabilidad de corrosión.

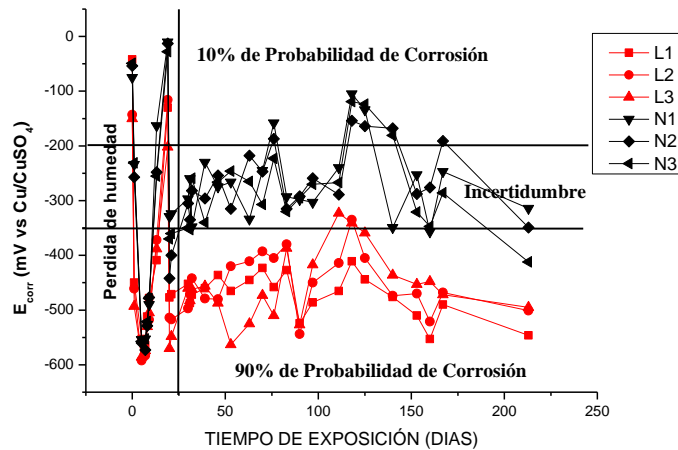


Figura 2. E_{corr} barras de acero con y sin imprimación tipo realcalinizante

E_{corr} barra de acero sin primario y con primario tipo catódico.

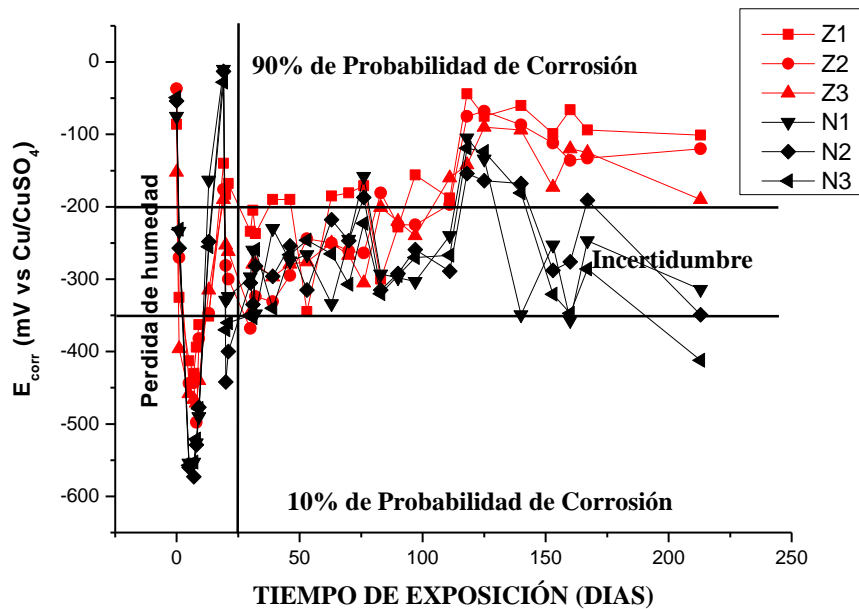


Figura 3. E_{corr} barras de acero con y sin imprimación tipo catódica.

Al realizar el análisis de la figura 3, se observa después de los primeros 25 días de control de la humedad, que las varillas con y sin primario catódico en general presentan un comportamiento homogéneo hasta los 120 días con potenciales que indican una pasivación del acero, pasando de valores de -350 mV a menores de -200 mV, se tiene que después del día 120 se evidencia la protección que ofrece el primario catódico dado que los valores de estas barras de acero son con el paso del tiempo más nobles que las de las varillas sin protección, presentando potenciales

valores que indican 10% de probabilidad de corrosión, mientras que las barras de acero sin protección presentan valores que indican un 50% de probabilidad de corrosión y de hasta de un 90% de probabilidad de corrosión para una de las tres varillas.

E_{corr} barra de acero sin primario y con primario tipo inhibidor.

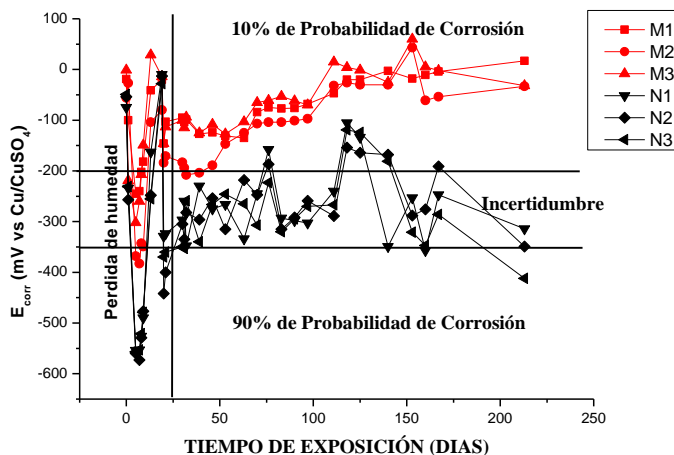


Figura 4. E_{corr} barras de acero con y sin imprimación tipo inhibidor

En la figura 4 se presenta que en todo el periodo de monitoreo, desde el día 1 hasta el 214 se tiene una mejor eficiencia anticorrosiva de las barras de acero con primario tipo inhibidor, presentando potenciales más positivos que -100 mV, que nos indican una probabilidad del 10 % de corrosión. Para las barras de acero sin protección como se observó en las anteriores figuras 2 y 3, sus valores de potenciales estuvieron siempre en la zona de incertidumbre, para al final del periodo ubicarse en la zona de 90% de probabilidad de corrosión.

Cinética de Corrosión.

Para evaluar los resultados de la cinética de corrosión de las barras de acero con sus diferentes recubrimientos se utilizó la técnica electroquímica de Resistencia a la Polarización Lineal (LPR), la interpretación de los resultados de i_{corr} y nivel de corrosión presente se utilizó el criterio del Manual de la red Durar y que se presentan en la tabla los cuales nos indican el nivel de corrosión de acuerdo a dicho valor, como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla III. Nivel de Corrosión de acuerdo a la I_{corr} . [13]

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

I_{corr} barra de acero sin primario y con primario tipo realcalinizante.

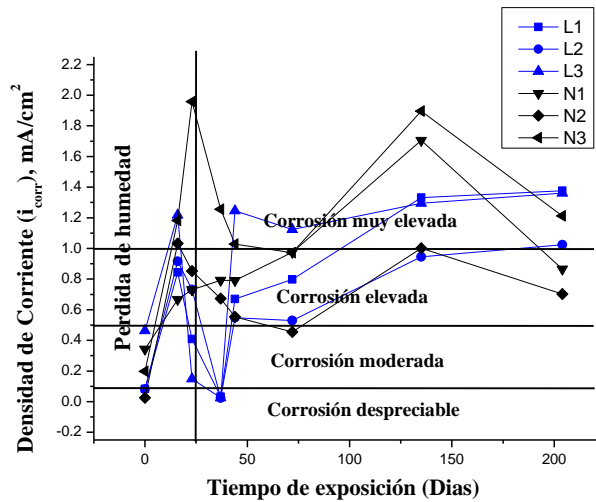


Figura 5. I_{corr} barras de acero con y sin imprimación tipo realcalinizante.

En los resultados de i_{corr} de la figura 5, se tiene que en los primeros 40 días de monitoreo el comportamiento es muy homogéneo entre los dos tipos de barras de acero analizadas, con niveles de corrosión al inicio que van de despreciable a moderada para llegar a niveles de elevada a muy elevada en el día 20, para después de estos 40 días presentar una tendencia de incremento de velocidad de corrosión para ambas condiciones de las barras de acero, con y sin primario realcalinizante lo que nos indican que la imprimación tipo realcalinizante no incrementa la eficiencia anticorrosiva de las barras de acero AISI 1018 en estudio.

I_{corr} barra de acero sin primario y con primario tipo catódico.

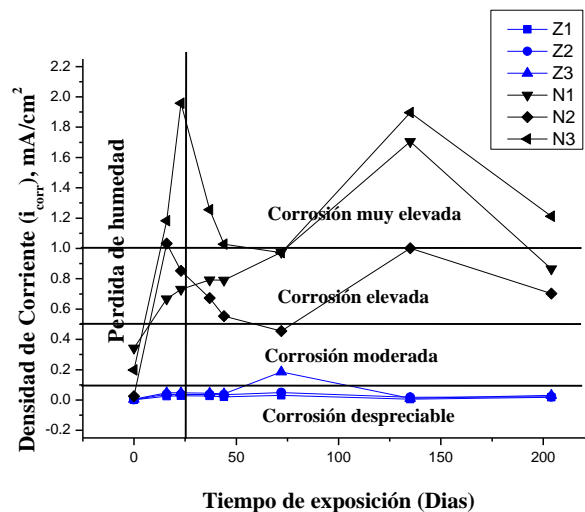


Figura 6. I_{corr} barras de acero con y sin imprimación tipo catódico

Al analizar los resultados de la figura 6, se observa la eficiencia anticorrosiva del primario tipo catódico en todo el periodo de exposición, presentando valores de velocidad de corrosión (I_{corr}) menores a 0.1 uA/cm^2 , desde el día 1 hasta el 214, que indica un nivel de corrosión despreciable, a diferencia de las barras de acero sin imprimación las cuales desde el inicio del monitoreo presentaron un nivel de corrosión moderado, para finalizar con un nivel de corrosión muy elevado.

I_{corr} barra de acero sin primario y con primario tipo inhibidor

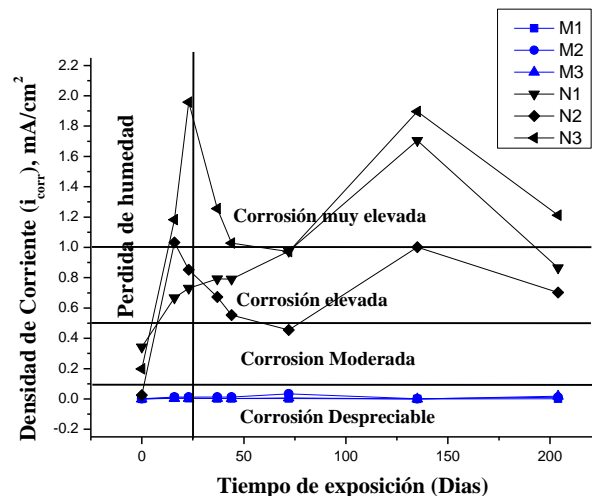


Figura 7. I_{corr} barras de acero con y sin imprimación tipo inhibidor

En la figura 7 se observa también el buen desempeño contra la corrosión que tienen las barras de acero con primario tipo inhibidor, presentando en todo el periodo de exposición valores de I_{corr} menores a 0.1 uA/cm^2 , que indican un nivel de corrosión despreciable.

CONCLUSIONES

Se demostró para estas condiciones la eficiencia anticorrosiva del primario tipo catódico (cromato de zinc) y el tipo barrera (minio de plomo) al ser aplicados en acero AISI 1018 corrugado enterrado en suelo tipo MH, con una resistencia a la corrosión de más de 10 veces en comparación con el acero AISI 1018 con primario realcalinizante y acero AISI 1018 sin ninguna protección.

Dos de los tres primarios evaluados, teniendo un mejor resistencia a la corrosión las barras de acero a las que se les aplico una imprimación tipo catódica (Cromato de Zinc) y de igual desempeño a las que se les coloco una imprimación tipo barrera (Minio de Plomo).

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a PROMEP por el segundo año de apoyo otorgado para la realización de este proyecto de investigación, autorizado por la SES mediante oficio no. PROMEP/103.5/07/2753.

Con cargo al “Proyecto de Apoyo a la Incorporación de Nuevos Profesores de Tiempo Completo PROMEP”.

REFERENCIAS

- [1] E.E. Maldonado-Bandala y et al. “Electrochemical Characterization of Modified Concretes with Sugar Cane Bagasse Ash” International Journal of Electrochemical Science, Vol. 6,, Pág. 4915-4926, Rep. de Serbia, 2011.
- [2] M.A. Baltazar-Zamora y et al. “Efficiency of Galvanized Steel Embedded in Concrete Previously Contaminated with 2, 3 and 4% of NaCl”, International Journal of Electrochemical Science, Vol.7, Pág. 2997-3007, Rep. de Serbia, 2011.
- [3] C.P. Barrios Durstewitz y et al. “Cement Based Anode in the Electrochemical Realkalisation of Carbonated Concrete”, International Journal of Electrochemical Science, Vol.7, Pág. 3178-3190, Rep. de Serbia, 2012
- [4] E.P. Reyes-Díaz y et al. “Corrosion Behavior of Steel Embedded in Ternary Concrete Mixtures” International Journal of Electrochemical Science, Vol. 6, Pág. 1892-1905, Rep. de Serbia, 2011.
- [5] NMX-C-416 ONNCCE-2003- Muestreo de estructuras terreas y métodos de prueba.
- [6] 6. M.MMP.1.04/03 Métodos de muestreo y prueba de materiales. Suelos y materiales para terracerías. Contenido de Agua.
- [7] C.M. Hernández-Dominguez y et al. Memorias del XXV Congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquímica y 3rd. Meeting of the Mexican Section of the Electrochemical Society, Pág. 233-244, Zacatecas, Zac., 2010.
- [8] G. Santiago-Hurtado y et al. Memorias del XXV Congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquímica y 3rd. Meeting of the Mexican Section of the Electrochemical Society, Pág. 245-256, Zacatecas, Zac., 2010.
- [9] Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing steel in Concrete, ASTM C 876-09, ASTM Volume 03.02, (2009).
- [10] H. Won-Song and V. Saraswathy, “Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures – A Review” International Journal of Electrochemical Science, Vol.2, Pág. 1-28, Rep. de Serbia, 2007.