



DETERMINACION DE LA VELOCIDAD DE CORROSION EN EL PUENTE “RIO FUERTE”

**F.H. Estupiñán López^{1*}, F. Almeraya Calderón ¹, J. Cabral Miramontes., H. Castorena
González ², A. Borunda Terrazas ¹, C. Gaona Tiburcio ¹, A. Martínez Villafañe ¹,
M. Terrazas Guzmán ¹.**

¹Centro de Investigación en Materiales Avanzados S.C. (CIMAV), Grupo Corrosión, Miguel de Cervantes 120, Complejo Industrial Chihuahua, Chihuahua, Chihuahua., México.

²Universidad Autónoma de Sinaloa, Los Mochis, Sinaloa, México

RESUMEN

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos del estudio de la corrosión en la subestructura del puente “Río Fuerte” ubicado en Los Mochis, Sinaloa. La técnica electroquímica empleada fue Resistencia a la Polarización Lineal (RPL) para la cinética de corrosión, así como medición de Resistividad del suelo en áreas próximas a la subestructura. El puente cuenta con 6 pilas, de las cuales las que presentaron mayor velocidad de corrosión fue la “pila 1” con $0.395\mu\text{A}$ y la “pila 3” con $0.305\mu\text{A}$ ambas encontrándose en un nivel de corrosión moderado. La baja resistividad del suelo (menores a $5000\ \Omega\text{-cm}$) en las áreas circundantes a las pilas 1-4 ocasionan que la velocidad de corrosión sea mayor en las pilas 1 y 3, lo cual indica mayor daño en la varilla de refuerzo. En términos de “durabilidad” el puente se encuentra en condiciones favorables para desempeñar las funciones para las que fue construido.

Palabras claves: Corrosión, técnica electroquímica, polarización lineal, resistividad, durabilidad.

ABSTRACT

In the present work they are to the obtained results of the study of the corrosion in the substructure of the bridge “Río Fuerte” located in the Mochis, Sinaloa. The electrochemistry technical used went Resistance to Polarization Lineal (RPL) for the kinetic of corrosion, as well as measurement of Resistivity of the ground in areas around the substructure. The bridge counts with 6 beams, of which those that presented greater speed of corrosion it was “beam 1” with $0.395\mu\text{A}$ and the “beam 2” with $0.305\mu\text{A}$ both in a moderate level of corrosion. The low resistivity of the ground (smaller $5000\ \Omega\text{-cm}$) in the surrounding areas to beams 1-4 cause that to the speed of corrosion is greater in the beams 1 and 3, which indicates major damage in the reinforcement rod. In terms of “durability” the bridge is in favorable conditions to perform the functions for which it was constructed.

Key words: Corrosion, electrochemical technique, linear polarization, resistivity, durability.



3er Congreso Nacional ALCONPAT 2008

Chihuahua; Chih. México
Del 12 al 14 de Noviembre



INTRODUCCIÓN

En la actualidad se reporta un número cada día creciente de estructuras prematuramente deterioradas por corrosión del acero de refuerzo. Esta corrosión, en general, se debe al ataque destructivo de iones cloruro que penetran desde el exterior o que fueron incorporados a la mezcla del concreto y/o a la carbonatación del recubrimiento de concreto, aunado a las condiciones ambientales favorables para su desencadenamiento¹. Este problema es uno de los más importantes para el mantenimiento de la integridad estructural de las obras civiles de un país.

El reporte *Hoar*² calculó pérdidas por corrosión en el Reino Unido de £ 250 millones de libras esterlinas en el sector de la construcción. En los últimos años se han encontrado gran número de puentes deteriorados totalmente, debido a la falta de mantenimiento, ocasionando pérdidas cuantiosas. En 1985 NACE³ (National Association of Corrosion Engineers), estimó que en los Estados Unidos de Norteamérica, existen 300,000 puentes que requieren protección catódica, y que se necesitan aproximadamente \$23.1 billones de dólares tanto para reparaciones como para protección catódica. En 2008 Según la Administración Federal de Carreteras⁴, la corrosión cuesta a la economía de los E.U.A \$276 billones de dólares por año, incluyendo \$8.3 billones de dólares en los costos asociados a la corrosión de puentes.

El propósito principal de esta investigación fue llevar a cabo un estudio acerca del estado que guarda un puente de la red carretera federal con respecto a la corrosión. Para el estudio se realizó la inspección, evaluación y monitoreo del puente, evaluando las condiciones de operación en las que esta trabajando desde el punto de vista del fenómeno de corrosión mediante las técnicas electroquímicas de Medición de Potenciales y Resistencia a la Polarización Lineal (RLP). A su vez se llevo a cabo la medición de la resistividad del suelo en las zonas circundantes a la subestructura.

El puente *Río Fuerte*, esta ubicado en el poblado de San Miguel Zapotitlan, municipio de Los Mochis, Sinaloa; fue construido en el año de 1999 por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), su longitud total es de 289m y cuenta con 7 claros; el material de construcción de la superestructura es de acero reforzado, al igual que la subestructura. Las condiciones climáticas son favorables para que se desarrolle el fenómeno de corrosión. Esta carretera es de vital importancia ya que es la única vía de comunicación entre el estado de Sinaloa con la parte Noroeste del país (hacia el estado de Baja California).

Con este tipo de investigación se ayudara a tener un conocimiento de la subestructura en lo que a corrosión se refiere y poder implementar acciones correctivas y/o preventivas con la finalidad de mantener el puente en las condiciones estructurales optimas para desempeñar las funciones para las cuales fue construido y así prevenir daños que causen perdidas económicas, corte de vías y en general daños catastróficos.



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



METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología a seguir para se realizó en tres etapas: *a) Inspección, b) Monitoreo de Corrosión y c) Evaluación.*

Inspección.

Para dictaminar las causas precisas y los factores contaminantes de una problemática, es decir, para conocer la naturaleza y extensión del problema es necesario realizar en primer lugar una inspección del puente⁵. La inspección se dividió en 2 etapas: *a) Inspección Preliminar e b) Inspección Detallada.*

Inspección Preliminar. Se realizó una inspección visual que caracterizo las condiciones en que labora el puente y se detectaron puntos críticos de la estructura propicios para desencadenar la corrosión. La inspección consistió en: *a) recorrido general del puente, b) elaboración y llenado de formatos para determinar el estado físico de la estructura y c) elaboración de una ficha de antecedentes de la estructura y del medio ambiente*⁶.

Inspección Detallada. La inspección detallada muestra mas a fondo el tipo de estructura, estudios que se han realizado, así como información del medio ambiente imperante en la zona donde se localiza la estructura. Los formatos utilizados son principalmente los que emplea la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Monitoreo de la Corrosión.

El monitoreo de la corrosión, consistió en: *medición de velocidad de corrosión y resistividad del suelo.* Las mediciones de velocidades de corrosión se realizaron en la subestructura del puente y la resistividad del suelo en las áreas circundantes a la subestructura. La estrategia a seguir para realizar las mediciones de velocidades de corrosión fueron:

- a) Localización de la varilla de refuerzo,*
- b) Identificación de las partes de las pilas de forma que permita obtener un registro claro y de fácil entendimiento para su posterior procesamiento en la obtención de resultados,*
- c) Perforación que permita descubrir la varilla de refuerzo para realizar la conexión del circuito,*
- d) Verificar continuidad eléctrica de la varilla seleccionada con el resto de la armadura,*
- e) Realizar el mallado para indicar los puntos donde se llevaran a cabo las mediciones,*
- f) Conexión del circuito y*
- g) Realizar las lecturas en los puntos establecidos.*

Las mediciones de velocidad de corrosión se realizaron hasta una altura de 5m con respecto del suelo, como se muestra en la figura 1. (los 5m. mencionados son referentes a la parte mas baja), ya que la inspección preliminar y detallada indican que es donde probablemente exista una mayor actividad del fenómeno de corrosión. Para facilitar la comprensión de los datos, cada pila se dividió en 4 caras como se puede ver en la figura 1.



Figura 1. Desnivel del suelo y caras de la pila

Velocidad de Corrosión. El monitoreo de la velocidad de corrosión se realizó bajo la norma ASTM G59⁷, la cual se basa en la técnica electroquímica de Resistencia a la Polarización Lineal y se realizó mediante el equipo GECOR 6. Los puntos de medición se realizaron en una cuadrícula con espaciamiento de 1.5m entre cada punto (figura 2.)

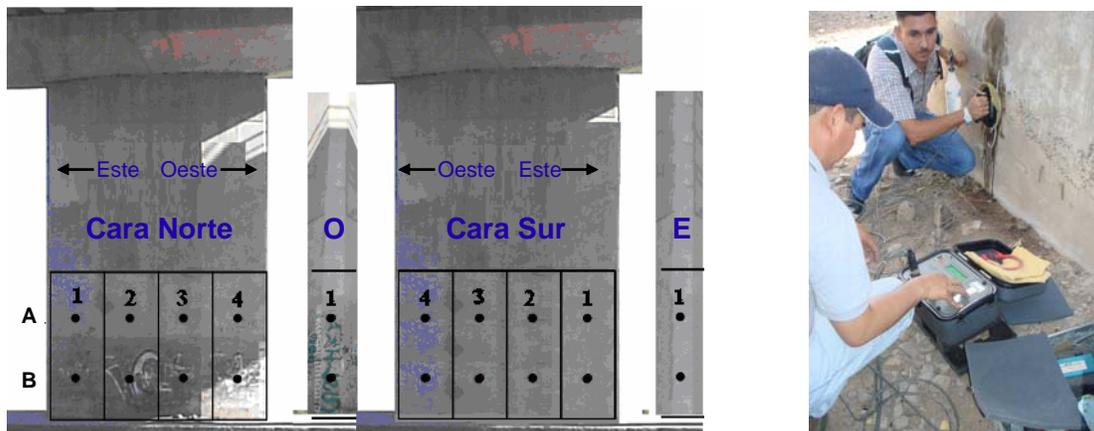


Figura 2. Mallado para velocidades de corrosión (1.5m aprox. de separación entre punto y punto)

Resistividad del Suelo. En general, los lugares con resistividad baja tienden a incrementar la corrosión. Para el estudio de la resistividad del suelo se empleó el método de *Wenner*⁸ en las áreas circundantes a la subestructura del puente, a una profundidad de 1 y 2m.. El perfil de la resistividad del suelo determinará el valor de la resistencia a tierra y la profundidad de nuestro sistema de puesta a tierra..

RESULTADOS

Inspección.

Los resultados obtenidos de las inspecciones tanto preeliminar como detallada dieron como resultado la presencia de manchas de humedad en la parte inferior de la subestructura debido a la fluencia del “Río Fuerte”, así como una actividad vehicular elevada la cual provoca contaminación por CO₂; un ambiente rural-urbano con humedad relativa de 65 a 75%, temperaturas de 33° C y vientos con dirección suroeste de velocidad aprox. de 1 m/s. (Las pilas están enumeradas de sur a norte, figura 3)



Figura 3. Se observan las manchas de humedad provocadas por la creciente del río

Monitoreo de Velocidades de Corrosión.

Para el análisis de las graficas de la velocidad de corrosión (i_{corr}) de las pilas se utilizaron los criterios que se muestran a continuación:

Tabla 1. Clasificación de I_{corr} en términos de vida útil¹.

I_{corr} ($\mu A / cm^2$)	<i>Nivel de Corrosión</i>
< 0.1	Despreciable
0.1 – 0.5	Moderada
0.5 – 1.0	Elevada
> 1.0	Muy elevada

Las pilas que presentaron mayor velocidad de corrosión ($\mu A / cm^2$) fueron la 1 (0.395 μA) y 3 (0.305 μA).

En la grafica correspondiente a la pila 1 (figura 4), se observa que las velocidades mayores se dieron en la cara sur y en la parte más cercana al suelo. Según los criterios ya mencionados en la tabla 1, esta pila se encuentra en dos niveles de corrosión, 4 puntos evaluados están en el rango de *corrosión moderada*, mientras el resto esta en el nivel mas bajo, el cual es un nivel de *corrosión despreciable*.

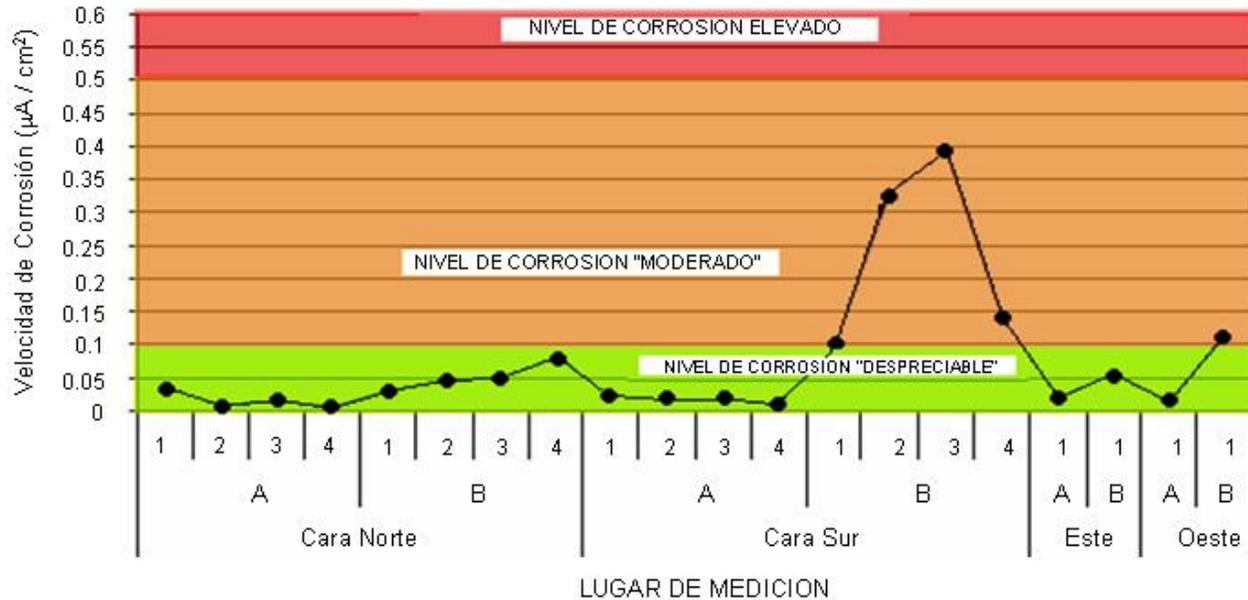


Figura 4. Velocidad de corrosión para la pila 1.

La figura 5, es la relacionada con el estado de velocidad de corrosión de la pila 3. En comparación con la pila 1, ésta muestra solo dos puntos en un nivel de *corrosión moderado* y las mediciones restantes se ubican en un nivel de *corrosión despreciable*. Ahora las velocidades mayores se localizan en la cara norte, y la mayor en la parte inferior de la pila.

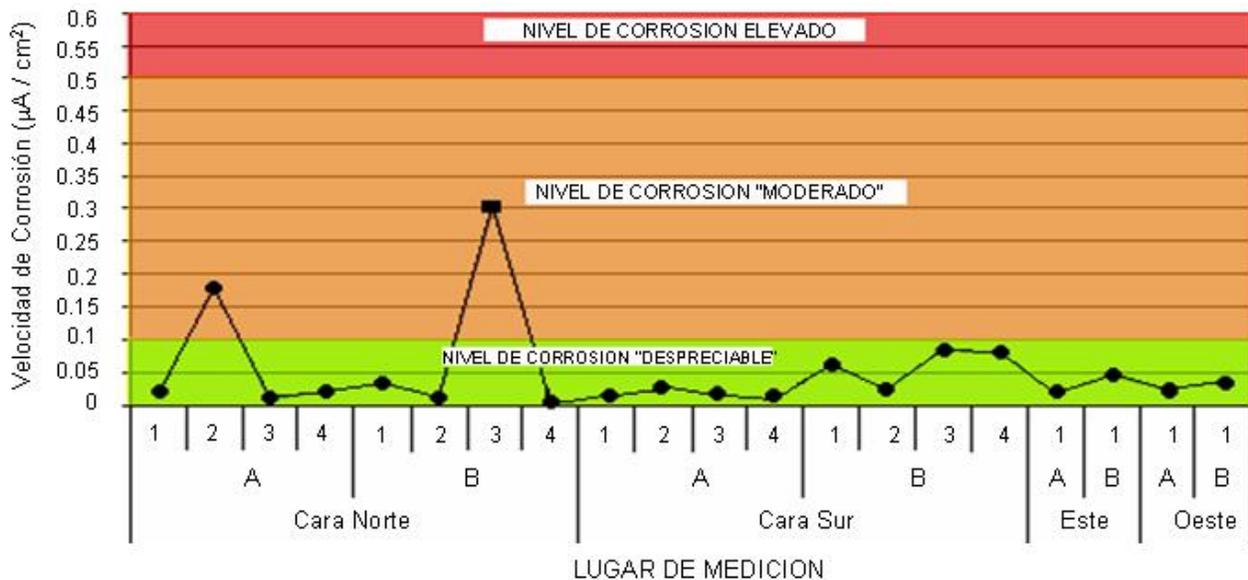


Figura 5. Velocidad de corrosión para la pila 3.

Las pilas restantes 2,4,5 y 6 presentan velocidades de corrosión despreciable.

Medición de Resistividad del Suelo.

La tabla 2 ilustra la relación entre la resistividad y la velocidad de corrosión para el acero embebido en el concreto.

Tabla 2. Relación entre la resistividad del suelo y el nivel de corrosión para acero embebido en concreto.

<i>Valores usualmente admitidos Resistividad (Ohm-cm)</i>	<i>Nivel de corrosión</i>
<5000	Muy alto
5000 – 10000	Alto
10000 – 20000	Bajo / moderado
> 20000	Bajo

La grafica 6 muestra el mapeo de la resistividad del suelo a una profundidad de 1m medidos en Ω -cm.

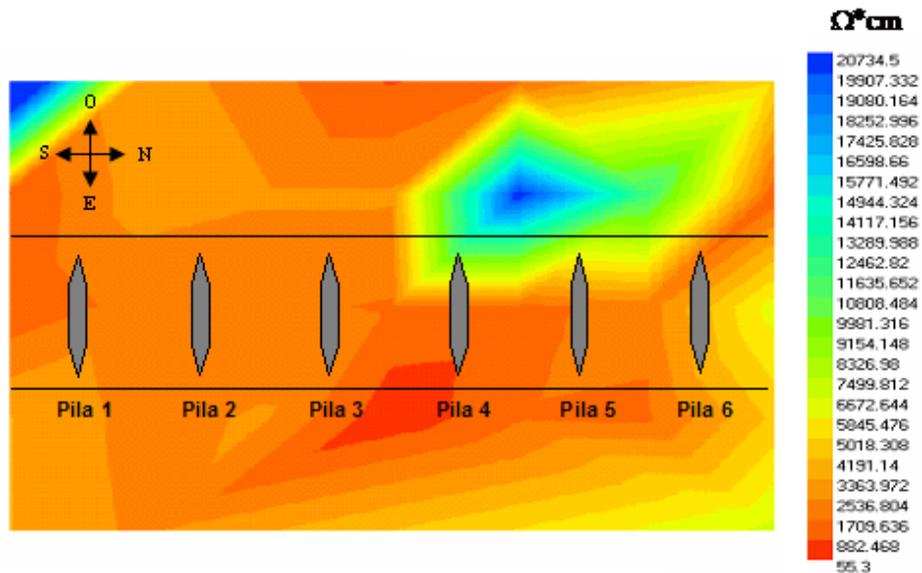


Figura 6. Mapeo de resistividades en suelo a 1m de profundidad en el puente “Río Fuerte”

Según los parámetros que se indican en la tabla 2, se puede concluir que el suelo en su mayoría y principalmente cercano a las pilas, presenta un alto nivel de corrosión. Las resistividades menores para 1m de profundidad se encuentran entre las pilas 3 y 4.

La figura 7 muestra el mapeo de potenciales a 2m de profundidad. En esta medición se observa que la resistividad menor se da entre las pilas 2 y 3, que corresponde al paso del río. Las pilas 4, 5 y 6 se encuentran en un nivel de corrosión alto.

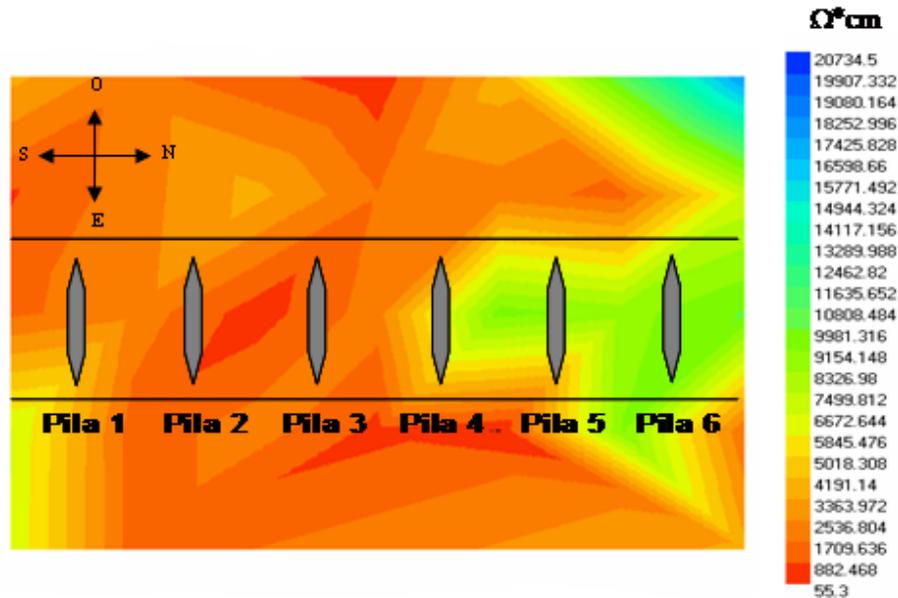


Figura 7. Mapeo de resistividades en suelo a 2m de profundidad en el puente “Río Fuerte”

CONCLUSIONES

La velocidad de corrosión que se tuvo fue $0.395 \mu\text{A}$ (pila 1) y $0.305 \mu\text{A}$ (pila 3) ambas se encuentran en un nivel de Corrosión Moderado. El nivel de las pilas 2, 4, 5 y 6 es despreciable.

Con respecto a la Resistividad del suelo, existe una tendencia por parte de éste a efectuar un alto grado de corrosión en la varilla de refuerzo y mayormente en la parte cercana a las pilas 2 y 3, con una resistividad menor a los $5000 \Omega\text{-cm}$.

La baja resistividad del suelo en las áreas circundantes a las pilas 1,2,3 y 4 debido a la humedad por el cauce del río provoca que se obtengan potenciales activos principalmente para la pila 4; así mismo estas bajas resistividades ocasionan que la velocidad de corrosión sea mayor en las pilas 1 y 3, lo cual indica que es donde se presenta mayor daño en la varilla de refuerzo.

En términos de durabilidad, las condiciones en la que opera el puente “Río Fuerte” con respecto a la corrosión, éste encuentra dentro de los parámetros aceptables para su desempeñar las funciones para las cuales fue construido.



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



AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Secretaria de Comunicaciones y Transportes de Sinaloa (SCT), a la Universidad Autónoma de Sinaloa campus Los Mochis y a las personas que colaboraron en la realización de este trabajo de investigación, ya que sin su apoyo no hubiese sido posible la realización del mismo.

BIBLIOGRAFIA

1. DURAR “*Manual de Inspección, Evaluación y Diagnostico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*”. Río de Janeiro. *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED)*. Abril de 1997.
2. T.P. Hoar, “Report of The Committee on Corrosion and Protection,” Dept. of Trade and Industry, HMSO, London, 1971.
3. B. Graves, S. Walker, “AST Combats Corrosion” Process Performance, USA 1998.
4. <http://www.reuters.com/article/pressrelease/idus267464+30-jul-2008+mw20080730>, “NACE international spurs bridge life extension legislation”, Stephanie Garner.
5. Andrade C.; Feliu S.; “*Manual, inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras*”, Programa temático del consejo Superior de Investigaciones Científicas “*Corrosión y Protección de materiales*”, Editorial ACOR (1989).
6. Secretaria de Comunicaciones y Transportes “*Formato para Inspección de Puentes y Pasos a Densivel*”. Primera edición. México, D.F. Subsecretaría de Infraestructura. Dirección General de Servicios Técnicos, 1995, 47 págs.
7. *ASTM G59-92: Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete*. ASTM, Philadelphia, USA, 1992.
8. *ASTM G57-06: Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method*, ASTM, Pennsylvania, USA.