

## Implementación de un Equipo de Campo para Análisis Cinético y Electroquímico en Hormigón Armado

Wesley Badith Olaya Núñez <sup>(1)</sup> Julián Peña Estrella <sup>(2)</sup>  
Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción <sup>(1)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador  
wesbolay@espol.edu.ec <sup>(1)</sup>  
Ing. Mecánico, Profesor FIMCP-ESPOL, jpena@espol.edu.ec <sup>(2)</sup>

### Resumen

*El estudio presente tiene por objeto la puesta en marcha del Gecor 8, que es un equipo medidor de tasa de corrosión, con la finalidad de conocer las fortalezas del equipo por la importancia de analizar el estado, en términos de corrosión, de estructuras. Se realiza una revisión de los principios de la corrosión del acero en el hormigón, y sus causas y efectos. Se describe los equipos disponibles de monitoreo en el mercado, la tecnología implementada en su técnicas y las aplicaciones consecuentes. Después, se aprovecha el equipo para evaluar el estado de conservación o deterioro estructural de las pilas del puente Portete de la ciudad de Guayaquil; se realizó: inspección visual, determinación de la profundidad de carbonatación, y mediciones de la resistividad del hormigón, potencial y corriente de la corrosión. Los resultados obtenidos indican un deterioro, en su mayoría, por un defecto durante la construcción del puente corroborado en las mediciones por parte del equipo Gecor 8. Se concluye el grado alto de confiabilidad y aportación del equipo, al incorporar las variables diversas de medición, en estudios de corrosión; así mismo, se manifiesta las limitaciones al necesitar información estructural para el análisis cinético.*

**Palabras Claves:** Gecor 8, potencial de corrosión, velocidad de corrosión, monitoreo en campo, hormigón armado.

### Abstract

*The objective of this project is the implementation of the equipment Gecor 8, which is a corrosion rate meter, in order to know the strengths of the equipment due to the importance of analyzing the state, in terms of corrosion, of structures. It is described a review of the principles of corrosion of steel in concrete, and its causes and effects. The monitoring equipment available in the market, the technology implemented in their techniques and applications is also described. Then the equipment is taken to evaluate the condition of the bridge Portete from the city of Guayaquil; were performed: visual inspection, depth of carbonation, and measurements of resistivity of concrete, the corrosion potential and current. The results showed deterioration, mostly due to a defect in the bridge construction corroborated by the equipment Gecor 8. The conclusion is the high degree of reliability and equipment contribution by incorporating various measurement variables in corrosion studies, although, the kinetic analysis require structural information which might be limitation.*

**Keywords:** Gecor 8, corrosion potential, corrosion rate, field monitoring, reinforced concrete.

## 1. Introducción

En la actualidad, existen edificaciones con hormigón armado construidas hace más de 30 años condición que genera la necesidad de realizar estudios de corrosión para evaluar el estado de conservación o deterioro de dichas estructuras con acero en el hormigón para corroborar sus durabilidades y prevenir cualquier daño futuro que se produzca.

El *Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales* (LEMAT), de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, FIMCP, de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL, consciente de que es necesario el empleo de equipos de última tecnología para la evaluación de las estructuras de acero, adquirió el equipo GECOR 8 que emplea un método moderno para la inspección de las estructuras en servicio.

Por tal razón, el aprendizaje del manejo de este equipo es un objetivo importante a cumplirlo en vista de que fue adquirido recientemente por el LEMAT. Adicionalmente, se aprovecha la utilización del equipo para diagnosticar el grado de corrosión de las armaduras de acero en las pilas del puente Portete mediante el uso de ensayos no destructivos con la finalidad de conocer las fortalezas del equipo al momento de realizar un monitoreo en campo.

## 2. Corrosión de las armaduras de acero en el hormigón [1, 2, 3, 4, 5]

La corrosión es el resultado destructivo de una reacción química entre un metal o aleación y su ambiente. Existen dos tipos de corrosión: seca o a altas temperaturas y húmeda o electroquímica.

La corrosión del acero en el hormigón es un proceso electroquímico. Con lo cual, se forman potenciales electroquímicos que de acuerdo al diagrama de Pourbaix, y conociendo el pH del medio, se determina el equilibrio que existe entre el acero y el medio. En este diagrama se diferencian tres zonas: corrosiva, pasiva e inmune.

El acero en el hormigón se encuentra en la zona pasiva mientras se mantenga una alcalinidad alta del medio. La pasividad se mantendrá en el acero debido a que posee dos protecciones, una física por el espesor del recubrimiento y otra química por el valor del pH del hormigón (alrededor de 13).

La corrosión del acero, al intervenir una reacción de oxidación y otra de reducción, produce o consume electrones; por ende, el flujo de los electrones es una medida de la velocidad de la reacción.

$$V_{corr} = 0.0116 i_{corr} \left[ \frac{mm}{año} \right]$$

Donde  $i_{corr}$  está en  $\mu A/cm^2$ .

## 2.1. Factores que influyen en la corrosión del acero en el hormigón

### Características del hormigón

Entre los factores que intervienen durante la elaboración del hormigón que producirán, posteriormente, la corrosión del acero están:

- Contenido de cemento
- Tipo de cemento

Los factores que influyen después de la fabricación del hormigón son:

- Espesor de recubrimiento
- Fisuras en el hormigón

### Presencia de los cloruros

Los iones cloruros tienen la capacidad de destruir puntualmente la capa pasiva del óxido y propicia la corrosión por picaduras, por lo cual, se considera una corrosión de tipo localizada. Estos defectos, se comportan como ánodos de la pila de corrosión y pueden avanzar, en profundidad, hasta lograr la rotura de la varilla.

Los mecanismos de transporte mediante el cual el ión cloruro penetra el hormigón son por absorción capilar, presión hidrostática y difusión.

### Carbonatación

Es el proceso de penetración del  $CO_2$  en el hormigón. La protección del acero se pierde debido a una reducción del pH al consumir el hidróxido de calcio,  $Ca(OH)_2$ , por reaccionar con el  $CO_2$  y producir carbonato de calcio,  $CaCO_3$ , que puede reducir el pH a valores inferiores que 9.

La carbonatación avanza creando un frente en que se diferencian dos zonas, una en la cual el pH es menor que 9 y otra el pH se mantiene por encima de 13.

### Contenido en humedad

El hormigón tiene la propiedad de ser un material que absorbe fácilmente la humedad; aunque, por el otro lado, se seca lentamente. En los casos, en los cuales, la humedad ambiental varía frecuentemente, el hormigón no alcanza a secarse por completo; esto es un aspecto fundamental al evaluar los potenciales de la corrosión tal como lo indica la Norma ASTM C876.

La resistividad es una medida de la humedad en el hormigón que describe la resistencia al flujo de la corriente; se evidencia en la presencia de los poros que permitirán almacenar la humedad ambiental y dependerá de la relación agua/cemento usada en la elaboración del concreto.

## 2.2. Efectos de la corrosión

Los efectos que produce la corrosión en el acero incide en tres aspectos: disminución de la capacidad mecánica del mismo, presentación de fisuras en el hormigón y pérdida de la adherencia con el hormigón.

La pérdida de las propiedades mecánicas, se debe a la reducción de la sección transversal de la varilla, disminuyendo su resistencia mecánica y propiedad de elongación.

El proceso que ocurre en el acero genera la formación de productos que dependiendo de su composición química causarán daño en la estructura. Tal es el caso del óxido de hierro, que puede expandirse cuando hay oxígeno suficiente disponible, causando fisuras o desprendimientos del hormigón. Este fenómeno, se produce debido a la aparición de tensiones radiales ejercidas sobre el hormigón en forma de tracción.

## 3. Técnicas experimentales de monitoreo en campo para mediciones electroquímicas [1, 5, 6, 7]

Existen equipos que permiten realizar la inspección de las varillas de acero en el hormigón sin la necesidad de realizar los procedimientos tradicionales de rotura exploratoria y aleatoria del hormigón. A continuación, se describirán los equipos diferentes que existen en el mercado para luego proceder con la descripción del equipo adquirido por el LEMAT.

### Equipos de monitoreo

Las tecnologías actuales han permitido, a diferentes empresas, desarrollar equipos de monitoreo a base de sus estudios, investigaciones y experiencias adquiridas durante sus años en el mercado. Las técnicas pueden variar de acuerdo al fabricante así como sus componentes.

Entre los equipos disponibles de monitoreo en campo en el mercado se encuentran: Gecor, GalvaPulse, Hormicor 400, entre otros.



Figura 1. Gecor 8

El Gecor 8 es desarrollado por la compañía GEOCISA con la colaboración del Instituto Eduardo Torroja.

El Galvapulse es desarrollado por FORCE Technology y permite determinar la velocidad de corrosión, el potencial de corrosión y la resistividad del hormigón.

El Hormicor 400 mide el potencial de corrosión, densidad de corriente de corrosión de las armaduras, resistividad eléctrica del hormigón, disponibilidad de oxígeno, contenido de cloruro y temperatura en el interior de la estructura.

### Técnicas empleadas

El funcionamiento del equipo se basa en principios electroquímicos entre los cuales constan los métodos siguientes: polarización lineal, pulso potencioestático, pulso galvanostático, media celda y disco para resistividad.

La polarización lineal es un método electroquímico que permite obtener la tasa de corrosión. El procedimiento consiste en aplicar, a la muestra, una señal de voltaje muy cercano al potencial de corrosión. A partir de la pendiente de una gráfica de corriente versus potencial, se obtiene la resistencia de polarización lineal ( $R_d$ ). Donde la corriente de corrosión ( $i_{corr}$ ) es inversamente proporcional al valor de la pendiente ( $R_p$ ) y B es la constante de Tafel.

Existen dos maneras de llevar a cabo el ensayo, como:

- Galvanostato: se aplica una variación de corriente y mide la variación de potencial.
- Potencioestato: se aplica una variación de potencial y mide la variación de corriente.

El método de media celda implica la medición de un potencial de una varilla de acero, en el hormigón, con respecto a una media celda colocada por encima de la varilla, en la superficie del hormigón, con el propósito de determinar la actividad de la corrosión en el acero. La media celda es usualmente de cobre/sulfato de cobre o plata/cloruro de plata. El método, se limita a un circuito eléctrico por lo cual un extremo debe estar conectado a una varilla descubierta.

El método de disco consiste en formar un circuito, en el cual, se coloca un disco metálico sobre la superficie del hormigón y por el otro extremo, se conecta a una varilla de acero. Luego, se aplica un pulso de corriente o un incremento de potencial para medir la resistencia (R) que existe, dando como resultado la resistividad ( $\rho$ ).

### Componentes y aplicaciones del equipo

El Gecor 8, adquirido por el LEMAT, consta de un dispositivo medidor de la tasa de corrosión al cual se

le puede incorporar tres diferentes tipos de sensores (con electrodos de cobre/sulfato de cobre).

**Tabla 1.** Resumen de métodos de medición

| Sensor | Aplicación   | Técnica                                | Mediciones   |
|--------|--|--|--|
| A      | Mediciones en estructuras aéreas.                  | Técnica de confinamiento modulado      | Tasa de corrosión<br>Potencial de corrosión<br>Resistencia eléctrica del hormigón                |
|        | Medición en estructura con protección catódica.    | Técnica de verificación por pasividad. | Potencial de corrosión<br>Eficiencia de protección   |
|        |  | Técnica de apagado instantáneo         | Potencial instantáneo<br>Potencial inicial<br>Potencial final                                    |
| B      | Mapeo  | Mapeo                                  | Potencial de corrosión<br>Resistividad<br>Nivel de riesgo  |
| C      | Mediciones en estructuras sumergidas o muy húmedas | Técnica de atenuación del potencial    | Tasa de corrosión<br>Potencial de corrosión<br>Resistencia eléctrica de hormigón<br>Resistividad |

### Fortalezas del equipo

El equipo posee la ventaja de que se pueden programar las mediciones, reduciendo el tiempo de operación del equipo en campo. Esto es de ayuda en los casos para los cuales el horario de trabajo es limitado como en el estudio de las pilas de un puente, pues las horas disponibles son pocas debido a que se trabaja durante la marea baja para tener acceso a todas las zonas de la pila.

Posee un cable doble 8 m de extensión; un extremo se conecta a la varilla y el otro al sensor, lo que permite trabajar cómodamente en un radio de 14 m, distancia pertinente porque las estructuras pueden presentar una discontinuidad en las conexiones entre las varillas.

La batería interna tiene una duración de 8 horas que es tiempo suficiente para un día laborable; el equipo permanece prendido durante las mediciones y apagado durante el traslado de un lugar a otro.

El mantenimiento del equipo es sencillo, se debe tener la precaución de cargar los electrodos con sulfato de cobre antes de cada trabajo y descargarlos cuando sea usado por un periodo mayor a una semana.

### Guía del usuario

Para proceder con el uso del equipo, se realizó la traducción del manual de instrucción provisto por el fabricante de manera que esté al acceso de cualquier persona sin importar su nivel de inglés. Este documento contiene la descripción detallada de los componentes, la manera de proceder para iniciar una medición, los pasos a seguir en el equipo para cada aplicación, los detalles del mantenimiento, el control del equipo y las soluciones a los errores que pueden presentar, el equipo, al momento de tomar una

medición. Otro aporte que se realizó fue la creación de los procedimientos de ensayo y equipo para el LEMAT con el formato que indica su estándar de calidad.

## 4. Procedimientos y ensayos no destructivos [2, 8]

A continuación, se detallarán los procedimientos que hacen posible la detección de la corrosión. Para ello, una inspección integral, que tenga un grado alto de confianza y afectación mínima a la estructura, es de suma importancia; debido a que la evaluación obtenida de la inspección de la estructura, servirá para plantear una solución al problema que presente.

### 4.1. Inspección visual

La evaluación visual, previa a los ensayos, consiste en describir todos los síntomas que indiquen un deterioro de la estructura y, que a su vez, faciliten el desarrollo de un plan minucioso para proceder con los ensayos y realizar una evaluación total de la estructura.

Para describir las ubicaciones de las mediciones, se plantean, como puntos de referencia, dos lugares: el extremo del puente ubicado hacia la Policía Judicial (PJ) y el otro extremo hacia el Mercado de Mariscos.



**Figura 2.** Vista superior del puente Portete

El puente tiene cuatro pilas y dos estribos (norte y sur). Los pilares son enumerados, para hacer una distinción de cada uno, empezando con la pila 1 (P1) cercana a la PJ y la pila 4 (P4) cercana al mercado.

Las condiciones, a las cuales, se encuentran expuestas los elementos del estudio presente, el cual es una estructura parcialmente sumergida, serán las siguientes zonas: sumergida, marea, salpicadura y aérea.

Las pilas 1, 2 y 3 tienen el cero de referencia en la cota 1.58 m y la pila 4 en la cota 0.86 m. De acuerdo a la información proporcionada, el nivel mínimo de marea, se encuentra en la cota 0.47 m que implicaría que las pilas se encuentran en su totalidad por encima de este nivel.

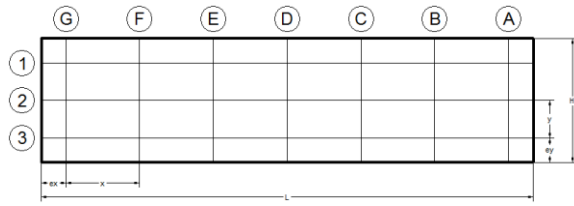


Figura 3. Vista lateral izquierda de la pila lado PJ

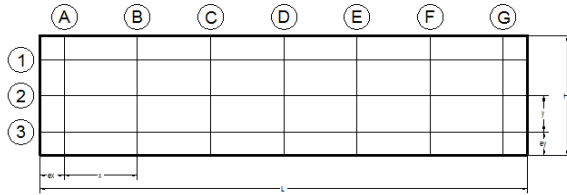


Figura 4. Vista lateral izquierda de la pila lado mercado

La marea máxima alcanza la cota 4.24 m. Para las pilas 1, 2 y 3 la marea máxima ocurre a una altura de 2.20 m; sin embargo se observa que las incrustaciones de los moluscos y musgos en las pilas alcanzan una altura máxima de 1.80 m. Para la pila 4, la marea máxima ocurre a una altura de 2.92 m y las incrustaciones de los moluscos y musgos en las pilas alcanzan una altura máxima de 2.60 m con respecto a la zapata.

En las pilas 1, 2, 3 y 4 se observa desprendimiento de hormigón y exposición de varillas en las zonas de salpicadura y aérea.

#### 4.2 Profundidad de carbonatación

Para determinar la profundidad de la carbonatación, se utiliza una solución de fenolftaleína que es incolora para pH inferiores a 8 y se torna color rojo púrpura para pH superiores a 10. La solución se la prepara con 1 g de fenolftaleína disuelta en 50 mL de alcohol y diluida hasta los 100 mL con agua desionizada.

Se realiza un orificio pequeño y se remueve el polvo, que queda en la superficie, usando un cepillo o soplándolo con aire. Inmediatamente, se procede a rociar la solución de fenolftaleína sobre la superficie. Este procedimiento, se repite hasta observar el color rojo púrpura en el hormigón; con el medidor de profundidad del calibrador Vernier, se registra con una precisión, mm, la profundidad de la capa incolora.

Tabla 2. Resultados de profundidad de carbonatación

| Pila | Lado    | Coordenada | Profundidad (mm) |
|------|---------|------------|------------------|
| P1   | PJ      | B2         | 2.0              |
|      |         | F2         | 3.0              |
|      | Mercado | B2         | 2.0              |
|      |         | F2         | 2.0              |
| P2   | PJ      | B2         | 2.0              |
|      |         | F2         | 2.0              |
|      | Mercado | B2         | 3.0              |

|    |         |    |     |
|----|---------|----|-----|
| P3 | PJ      | F2 | 3.0 |
|    |         | B2 | 2.0 |
|    | Mercado | F2 | 2.0 |
|    |         | B2 | 2.0 |
| P4 | PJ      | B1 | 1.0 |
|    |         | F1 | 2.0 |
|    | Mercado | B1 | 2.0 |
|    |         | F1 | 2.0 |

#### 4.3 Mapeo

El método de mapeo consiste en utilizar el equipo del Gecor 8 con el sensor B para obtener resultados de resistividad del hormigón y potencial de corrosión. Encontrada la varilla y removida cualquier impureza como el óxido sobre la misma, se conecta un extremo del cable (que posee la pinza) a la varilla y el otro se conecta al sensor B.

Los pasos del procedimiento se detallan en el manual de instrucción del equipo.



Figura 5. Colocación del sensor B en el punto de medición

#### Resistividad del hormigón

En las pilas 1, 2 y 3, se observan, en la zona de marea, que la resistividad del hormigón, se encuentra en el rango de 20 a 50 kΩ.cm que representa que el hormigón posee una humedad alta; sin embargo, esto representa un riesgo medio de corrosión debido a que los poros del hormigón se encuentran con una saturación tal, que el acceso del oxígeno es limitado en los periodos en los cuales, la marea se encuentra baja. Para alturas más elevadas que la coordenada 2, se evidencia una resistividad alta que indicaría un riesgo menor de corrosión

En la pila 4, se obtiene, que en la coordenada 3, las resistividades son inferiores a 20 kΩ.cm, por lo cual, se creería que el riesgo es más elevado aunque se lo considera con un nivel de riesgo medio debido, a que, en estas zonas el acceso del oxígeno, se encuentra más limitado por ser la parte más baja de la pila. Sin embargo, en la coordenada 1, se tienen resistividades

en el rango de 20 a 30 kΩ.cm y al ser esta zona de salpicadura, a unos cuantos centímetros por encima del nivel de marea, se encuentra en contacto constante con el oxígeno de la atmósfera, considerándose una zona de riesgo alto de la corrosión.

### Potenciales de corrosión

Los resultados, obtenidos usando el sensor B conectado al equipo Gecor 8, del potencial de corrosión se procesan para reportar el porcentaje de mediciones cuyo potencial es mayor a -200 mV CSE y menores a -350 mV CSE.

**Tabla 3.** Resultados de potencial de corrosión

| Pila | Lado    | Porcentaje del potencial (%) |         |
|------|---------|------------------------------|---------|
|      |         | >-200mV                      | <-350mV |
| P1   | PJ      | 0                            | 42      |
|      | Mercado | 0                            | 38      |
| P2   | PJ      | 5                            | 71      |
|      | Mercado | 0                            | 42      |
| P3   | PJ      | 0                            | 42      |
|      | Mercado | 10                           | 71      |
| P4   | PJ      | 0                            | 71      |
|      | Mercado | 0                            | 81      |

### 4.4 Velocidad de corrosión

Debido a que el ensayo requiere de un tiempo mayor y como se puede trabajar durante cierto nivel de marea, se propuso la toma de la medición en la zona crítica revelada por la corriente de corrosión e inspección visual, cercana a la coordenada 2. Otro motivo por el cual no se realiza el estudio en más zonas, es que para el método presente, se necesita conocer la distribución de las varillas en un área preferencial de 1 m<sup>2</sup> por debajo del sensor y, sólo, se tiene esa información para esa zona.

Para reportar los valores de la densidad de corriente de corrosión ( $i_{corr}$ ) es necesario indicar el lugar donde se lo realizó. Adicionalmente, se calcula la velocidad de corrosión a partir de  $i_{corr}$ .

**Tabla 4.** Resultados de velocidad de corrosión

| Pila | Lado    | Coordenada | $i_{corr}$<br>( $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ) | $V_{corr}$<br>(mm/año) |
|------|---------|------------|---|------------------------|
| P1   | PJ      | B2         | 7.502                                       | 0.09                   |
|      |         | F2         | 8.512                                       | 0.10                   |
|      | Mercado | B2         | 5.311                                       | 0.06                   |
|      |         | F2         | 6.258                                       | 0.07                   |
| P2   | PJ      | B2         | 4.936                                       | 0.06                   |
|      |         | F2         | 5.597                                       | 0.06                   |
|      | Mercado | B2         | 6.211                                       | 0.07                   |
|      |         | F2         | 5.384                                       | 0.06                   |
| P3   | PJ      | B2         | 8.251                                       | 0.10                   |
|      |         | F2         | 6.753                                       | 0.08                   |
|      | Mercado | B2         | 8.021                                       | 0.09                   |
|      |         | F2         | 7.184                                       | 0.08                   |

## 5. Análisis de resultados

Para el análisis del puente Portete, se deben integrar las diferentes variables que afectan la tasa de corrosión de las armaduras de acero. La inspección visual revela en gran medida la situación de la estructura al obtener registros de las fallas por la corrosión. Sin embargo, la falta de información referente a la construcción del puente dificulta el seguimiento de la evolución de la corrosión durante su periodo de trabajo.

En la inspección visual, se observa que la expansión de los productos de la corrosión ha ocasionado el desprendimiento de la capa de revestimiento. En la mayoría de los casos encontrados de corrosión, se evidencia que el desprendimiento del hormigón se presenta en las líneas formadas en las etapas de fundición durante la construcción. En estas interfaces, la carbonatación y difusión de los cloruros avanza de manera más rápida, creando una zona activa de corrosión.



**Figura 6.** Líneas de etapa de fundición en la pila 2

La velocidad presente de corrosión, se encuentra dentro de los rangos comúnmente hallados para estos puntos, en los cuales, se han tomado las mediciones. Esto, se debe básicamente a varias causas, entre las cuales, es la cercanía a la zona de marea (es decir, en la zona de salpicadura) y la exposición de una sección circular de las varillas que soportan la carga de flexión.

La velocidad de corrosión tiene una media de 0.08 mm/año, con un máximo de 0.10 mm/año. Estas velocidades de corrosión se encuentran dentro de los rangos esperados para las zonas de exposición a las cuales se encuentra sometida la estructura.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

Se concluye lo siguiente:

1. El equipo Gecor presenta un fácil manejo al mostrar una interfaz gráfica amigable al usuario aunque requiere de experiencia en el

área de inspección de la corrosión debido a que se necesita evaluar las condiciones actuales del caso de estudio para determinar las mediciones que se realizarán y evaluar de una manera integral los resultados que se obtienen con el equipo.

2. El uso de ensayos no destructivos “*in situ*”, realizados por el equipo, reducen los costos de operación al no necesitar la extracción de testigos y el uso de equipos de laboratorio. Además de que evalúa lo que sucede en tiempo real y reduce el riesgo de obtener mediciones que no revelarían la condición actual de la estructura.
3. La resistividad que se obtiene en estos ensayos permite detectar, con mayor facilidad, la humedad causante de una corrosión activa y determinar el tipo de zona al cual se encuentra sometido el hormigón.
4. El potencial de corrosión, el cual revela la posibilidad de corrosión en las varillas de acero, se complementa con las mediciones de resistividad del hormigón al permitir establecer con mayor acierto las zonas activas de corrosión y así tomar la decisión del lugar a realizar los ensayos de tasa de corrosión.
5. Para determinar la corriente de la corrosión, se requiere de la información estructural (ubicación y dimensiones de las varillas) para realizar el análisis cinético de la corrosión. El inconveniente con obtener los datos para este procedimiento es que, en la actualidad, se busca inspeccionar edificaciones antiguas, de las cuales se suele carecer de información de los planos con los detalles estructurales requeridos. Sin embargo, una vez obtenido los resultados, se conoce el deterioro de los refuerzos de acero.
6. El estado de deterioro del puente fue definido con la ayuda del equipo, permitiendo recomendar una restauración inmediata en las zonas de exposición de las varillas y en las líneas formadas en las etapas de fundición del hormigón durante la construcción.
7. Finalmente, el equipo Gecor 8 tiene una aplicación tecnológica y demanda elevada debido a que existen muchas estructuras de hormigón armado en el Ecuador, como puentes y edificios, cercanas a las terminaciones de sus vidas útiles que requieren diagnósticos de la situación actual de los refuerzos del acero en el hormigón.

Se recomienda lo siguiente:

1. Adquirir un equipo detector de varillas que no sólo permite conocer la ubicación de las varillas sino que también indica la profundidad y dimensión de la misma.
2. Incorporar el equipo Gecor 8 para futuras prácticas de la materia de corrosión, en la cual, se desarrolle una guía cuyo objetivo sea la comparación con el método tradicional de un potencióstato.
3. Utilizar el equipo para las investigaciones, la industria y las obras civiles con el objeto de evaluar la efectividad de aditivos empleados en el hormigón con el fin de proteger las varillas de la corrosión.

## 7. Referencias

- [1] Jones Denny A. *Principles and prevention of corrosion*, Upper Saddle River, NJ, USA, Pearson-Prentice Hall, 1992.
- [2] C. Andrade, *Manual de inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras*, Madrid, España, CSIC, 1989.
- [3] K.D. Stanish, R.D. Hooton and M.D.A. Thomas, “Testing the Chloride Penetration Resistance of Concrete: A Literature Review”, FHWA Contract DTFH61-97-R-00022, Toronto, Canada, 2000.
- [4] Francisco Ripoll, “Methods and Equipment for Non Destructive Testing of Reinforced Concrete in Harbour Docks”, Chalmers University Of Technology, Göteborg, Suecia, 2010.
- [5] ASTM C876 Standard Test Method for Half-Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete
- [6] Feliu, S., Andrade, C., Gonzalez, J. A. and Alonso, C., “A new method for in situ measurement of electrical resistivity of reinforced concrete”, *Materials and Structure*, 1996.
- [7] NDT James Instruments, *Corrosion rate meter Gecor8 Instruction Manual*, Second Edition, 2002.
- [8] DURAR, *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*, CYTED, Red Temática XV.B – Durabilidad de la armadura, España, 1997.