

Recomendaciones sobre
Potenciales de Corrosión

Recomendaciones Técnicas

Pedro Garcés Terradillos
Oladis Troconis de Rincón
Miguel Angel Baltazar Zamora
Pedro Castro Borges
Carmen Andrade Perdrix

<https://doi.org/10.21041/AlconpatInternacional/RecTec/2020-02-potencialdecorrosion>



ALCONPAT Internacional

Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y
Recuperación de la Construcción



RECOMENDACIÓN TÉCNICA

2

2020

Editores

Pedro Garcés Terradillos

Director de Recomendaciones Técnicas
Universidad de Alicante, España

Jorge Alberto Briceño Mena

Subdirector de Recomendaciones Técnicas
Cinvestav del IPN, Unidad Mérida, México

Recomendaciones sobre potenciales de corrosión

DOI: <https://doi.org/10.21041/AlconpatInternacional/RecTec/2020-02-potencialdecorrosion>

Recomendações sobre potenciais de corrosão

Recommendations on Corrosion Potentials

Pedro Garcés Terradillos

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Alicante,
Alacant, España

Oladis Troconis de Rincón

Universidad del Zulia,
Maracaibo, Venezuela

Miguel Angel Baltazar Zamora

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana,
Xalapa, Veracruz, México

Pedro Castro Borges

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, Unidad Mérida
Mérida, Yucatán, México

Carmen Andrade Perdrix

Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería,
Madrid, España

Recomendación Técnica No. 2

POTENCIALES DE CORROSIÓN

OBJETIVO

Esta Recomendación Técnica tiene por objeto describir el método de ensayo del potencial de corrosión, E_{corr} , de la armadura de acero embebida en hormigón endurecido, en campo y en laboratorio.

1. RESUMEN Y PRINCIPIOS DEL METODO

Cuando la armadura se corroe su potencial y su velocidad de corrosión cambian, por lo que la medida de los valores de estos parámetros sirve para evaluar el nivel de riesgo de corrosión tanto en el laboratorio como en la estructura real.

La corrosión de un metal en medio acuoso, como es el caso de la armadura dentro del hormigón, es un fenómeno que engloba dos semirreacciones de oxidación-reducción, por un lado, la oxidación del Fe a Fe^{+2} y por otro lado la reducción del oxígeno. En el equilibrio cinético, la intensidad del proceso anódico y del proceso catódico son iguales, y es identificada como la intensidad de corrosión del proceso, I_{corr} , que es la magnitud eléctrica utilizada como medida de la velocidad de corrosión. Dentro de este equilibrio, el metal se corroe a un potencial característico de su naturaleza y de la del medio al cual se encuentre expuesto. A este potencial de equilibrio al que se encuentra el metal se le denomina potencial mixto o de corrosión, E_{corr} .

Debido a la falta de accesibilidad directa a la armadura, la medida de la corrosión en las EHA necesita hacer uso de técnicas que informen del estado de la armadura sin necesidad de tener acceso visual a ella. La medida del potencial eléctrico de la armadura tiene carácter semi-destructivo porque no hace falta descubrir toda la barra, pero si es necesario acceder a hacer contacto mediante un pequeño orificio.

La medida de potencial de corrosión consiste en determinar la diferencia de potencial eléctrico entre el acero de la armadura y un electrodo de referencia que se coloca en la superficie del hormigón, Figura 1.

La medida de E_{corr} es el método más sencillo, y en consecuencia el más utilizado en las inspecciones de las estructuras afectadas por corrosión. Ahora bien, los valores obtenidos de este parámetro son cualitativos, pues no cuantifican la superficie de la armadura afectada por la corrosión; de tal manera que solo informan sobre la potencialidad que tiene la armadura de corroerse, pasivarse o permanecer inmune; ya que no es un parámetro cinético, sino termodinámico. Además, distintas circunstancias como la temperatura o el grado de humedad hacen variar los valores del potencial de tal manera que no debe establecerse de forma general una relación entre la cinética del proceso corrosivo y los valores de E_{corr} registrados. Además, resulta conveniente, si es posible, obtener simultáneamente medidas de la velocidad de corrosión y contrastarlas con los mismos a fin de optimizar el nivel de confiabilidad y determinar la probabilidad real de corrosión de la armadura.

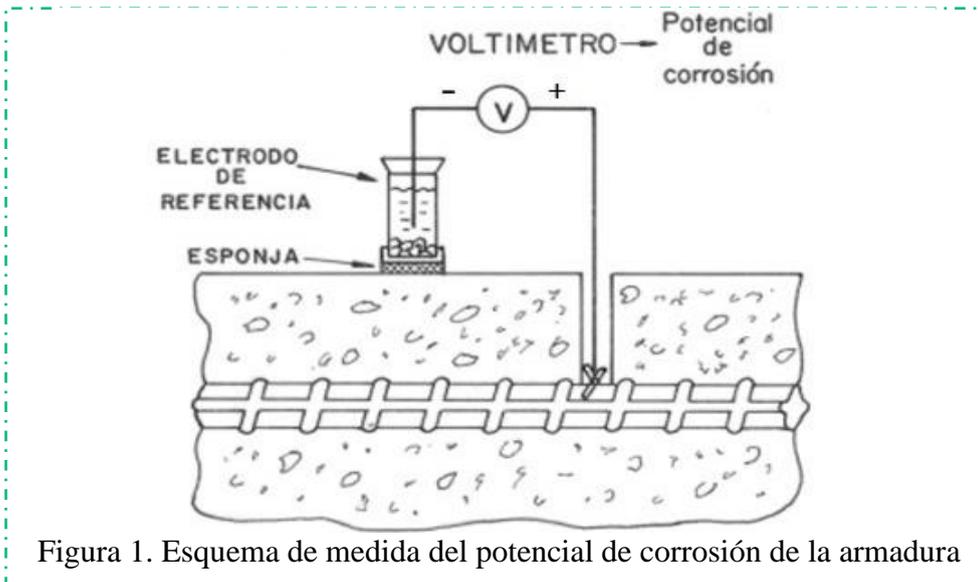


Figura 1. Esquema de medida del potencial de corrosión de la armadura

2. ALCANCE

Es aplicable a la armadura de acero sin revestimiento, embebida en cualquier tipo de hormigón de una estructura puesta en servicio o en probetas de laboratorio.

El método es aplicable tanto en estructuras o probetas en contacto con el aire como sumergidas, teniendo en este último caso la precaución de aislar la unión cable/electrodo.

El método, aun cuando puede aplicarse en el caso de armadura recubierta por pinturas anticorrosivas, de armadura galvanizada o en presencia de inhibidores, su interpretación es diferente ya que los rangos de pasividad y corrosión pueden cambiar y exige de evaluadores con experiencia en el área, por lo cual no es considerado en esta norma.

Para el caso de estructuras sometidas a protección catódica, o estructuras afectadas con corrientes erráticas, aun cuando uno de los métodos de evaluación es la medida de potencial, utilizando el mismo procedimiento aquí indicado, existen particularidades y criterios que no se encuentran definidos en esta norma.

Salvo estas excepciones, la realidad es que la medida de la Ecorr supone un ensayo no destructivo que permite llevar a cabo un control sistemático de la evolución del estado de corrosión de la estructura; permitiendo, además, localizar las zonas activas y pasivas mediante la obtención de mapas de potencial.

3. DEFINICIONES

Potencial de corrosión

Potencial de equilibrio, en donde la intensidad del proceso anódico y del proceso catódico son iguales, al que se encuentra el metal que se corroe en un medio específico, relativo a un electrodo de referencia.

Mapa de potencial

Representación de líneas isopotenciales en dos dimensiones de los valores de potenciales de corrosión obtenidos siguiendo una cuadrícula regular imaginaria o real, trazada sobre la estructura. La cuadrícula se dibuja sobre la superficie sometida a evaluación y se registran

los valores individuales que luego permiten trazar las líneas isopotenciales a fin de estimar las diferentes áreas activas o pasivas con sus correspondientes potenciales.

Electrodo de referencia

Electrodo que posee un potencial constante en cualquier medio, que permanece estable y reproducible y que se puede utilizar para la medida de otros potenciales de electrodo. Electrodo de referencia típicos son el de cobre/sulfato de cobre y el de plata/cloruro de plata.

4. APARATOS NECESARIOS

Electrodo de referencia

En medidas de campo, se utiliza habitualmente un electrodo de referencia de Cu/CuSO₄ saturado. Este electrodo tiene una diferencia de potencial de +316 mV con respecto al electrodo normal de hidrógeno. En caso de emplearse otro tipo de electrodo de referencia, debe tenerse en cuenta la diferencia de potencial entre el electrodo utilizado y el de Cu/CuSO₄ para la interpretación de los resultados. El electrodo de referencia utilizado debe ser periódicamente calibrado, siendo su funcionamiento y mantenimiento responsabilidad del usuario. En medidas de laboratorio es habitual utilizar el electrodo de referencia de plata/cloruro de plata/.

Voltímetro

Dispositivo utilizado para medir la diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito

eléctrico. Se debe emplear un voltímetro de alta impedancia de entrada ($> 10 \text{ M}\Omega$), con una precisión de $\pm 1 \text{ mV}$.

Cables

Los cables utilizados en el montaje no deben alterar el circuito de medida por encima de 0,1 mV. Para ello su longitud no debe exceder los 150 metros, y estar debidamente revestido con un aislamiento.

Dispositivo de contacto con el hormigón

Se requiere de una pequeña esponja húmeda (agua potable) para asegurar el buen contacto y la continuidad electrolítica, entre el electrodo de referencia (punta porosa) y el hormigón (Figura 1). También sirve para evitar daño en el electrodo en contacto con la superficie de hormigón.

5. DESCRIPCION DEL METODO OPERATORIO

La realización de la medida debe tener en cuenta los siguientes pasos:

Localización de los puntos de medida

Previamente a la realización de las medidas se debe localizar la armadura con un detector magnético, en las zonas de interés, para luego proceder a la selección de puntos:

- Si se realizan medidas discretas (distribución no regular), éstas se efectuarán sobre la superficie de hormigón perpendicular a la armadura.

- Si se realizan mapas de potencial se debe trazar la retícula. El espaciado de la retícula de medida depende del tipo y condiciones de la estructura, dispositivo de medida, etc. En general cuando las lecturas se hacen de forma puntual el espaciamiento variará entre 0,5 y 2 m, siendo bastante menor (entre 15–20 cm) en el caso de utilizar electrodos múltiples y un sistema automático de adquisición de datos.

Contactos eléctricos

Si la armadura no está accesible es necesario efectuar una perforación en el recubrimiento de hormigón para hacer contacto directo entre el terminal del voltímetro y a la armadura.

Se debe conectar el electrodo de referencia al polo negativo (-) del voltímetro y la armadura se conectará al polo positivo (+); de esta manera el potencial registrado en la pantalla del equipo mostrará su polaridad (negativo o positivo) de forma acorde a la interpretación generalizada de los valores.

Es muy importante garantizar el contacto eléctrico entre la armadura y el polo positivo (+) del voltímetro, bien sea con una pinza de contacto o con una abrazadera. Debe procederse a la limpieza previa de la superficie de la armadura con un cepillo de púas metálicas, hasta conseguir el brillo metálico característico. Si la lectura del potencial presenta oscilaciones superiores a $\pm 10 \text{ mV}$, las medidas no deben considerarse válidas, pues

reflejan que el contacto es defectuoso. Cuando se realicen medidas del potencial de corrosión en estructuras sumergidas debe buscarse la forma de hacer el contacto con la armadura en la zona no sumergida del elemento analizado; ya que, si el contacto eléctrico con la armadura queda sumergido, la medida de potencial estará afectada por el par galvánico entre acero/Cu. Debe garantizarse que ninguna parte, que no sea la punta porosa del electrodo de referencia, entre en contacto con el agua de mar; por lo cual se debe asegurar que el contacto electrodo/cable eléctrico al voltímetro, esté bien aislado.

Humectación de la esponja y de la superficie del hormigón

Previamente a la realización de la medida, se

debe humedecer generosamente, con agua potable, la superficie del hormigón sobre la que se va a medir, para asegurar un buen contacto electrolítico. Un criterio para saber que el contacto es adecuado es que la lectura del potencial sea estable y no oscile ± 10 mV. La esponja debe permanecer saturada durante el tiempo de realización de las medidas.

Ejecución de la medida de potencial

Se colocará el electrodo de referencia sobre la superficie del hormigón a estudiar, siguiendo la selección previa de puntos de medida previamente identificados, sean puntos aislados o en cuadrícula.

6. EVALUACION Y REPRESENTACION DE RESULTADOS

La evaluación del riesgo de corrosión se refleja de forma resumida en las Tablas 1 y 2:

Tabla 1. Criterio de potencial para estructuras en ambientes con cloruros (ASTM C 876)

Potencial de corrosión E_{corr} (mV vs Cu/CuSO ₄)	Riesgo de corrosión
< -350	Elevado
-350 a -200	Incierto
> -200	Bajo

Tabla 2. Criterios de evaluación de potenciales (DURAR)

CONDICIÓN	POTENCIAL (V) (ESC)	OBSERVACIONES	RIESGO DE DAÑO
ESTADO PASIVO	+0,200 a -0,200	Ausencia de Cl ⁻ pH > 12,5 H ₂ O (HR↑)	Despreciable
CORROSIÓN LOCALIZADA	-0,200 a -0,600	Cl ⁻ , O ₂ , H ₂ O (HR↑)	Alto
CORROSIÓN UNIFORME	-0,150 a -0,600	Carbonatado O ₂ , H ₂ O, (HR↑)	Moderado
	+0,200 a -0,150 -0,400 a -0,600	Carbonatado O ₂ , Seco, (HR↓) Cl ⁻ Elevado ó Carbonatado H ₂ O, (HR↑)	Alto Bajo Alto
CORROSIÓN UNIFORME	< -0,600	↑Cl ⁻ , ↑H ₂ O (Sin O ₂)	Despreciable

Una vez obtenidos los datos del potencial de corrosión de la armadura en diferentes puntos de la estructura, estos se pueden presentar de las siguientes formas:

a) Mediante valores aislados colocados sobre un plano de la estructura y/o sobre una foto a fin de que el lector identifique visualmente donde y que valores han sido obtenidos.

b) Dibujando sobre un plano y/o foto las líneas isopotenciales a fin de caracterizar las diferentes áreas activas o pasivas con sus correspondientes potenciales. Es un método rápido y útil para identificar áreas de mayor o menor riesgo de corrosión.

Cuando los datos se obtienen en forma de mapa, con cuadrícula regular, pueden ser representados estadísticamente en forma de histograma o de gráfico de distribución de frecuencia o de probabilidad acumulada. La representación en forma de histograma o distribución de frecuencia consiste en contar el número de puntos con el mismo potencial, agrupando en intervalo de potenciales. Cuando el intervalo es grande, por ejemplo, mayor de 50 mV, es mejor la representación en histograma. La gráfica continua es más apropiada si el intervalo seleccionado es pequeño, por ejemplo 10-50 mV, ver Figura 2.

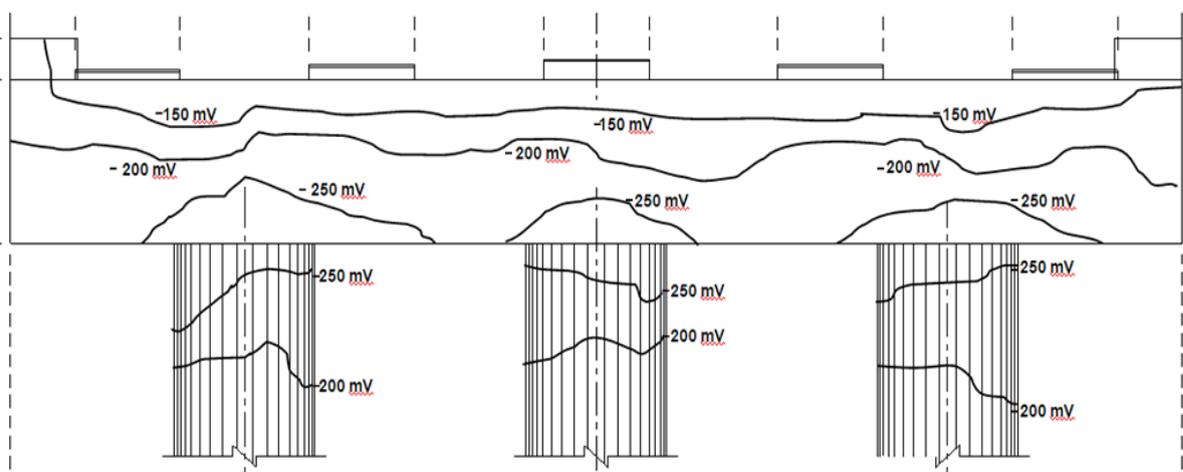


Figura 2. Croquis y mapa de isopotenciales de la subestructura de un muelle

Representando los valores de E_{corr} vs tiempo. Esta gráfica permite visualizar de forma cualitativa la evolución del estado de la armadura.

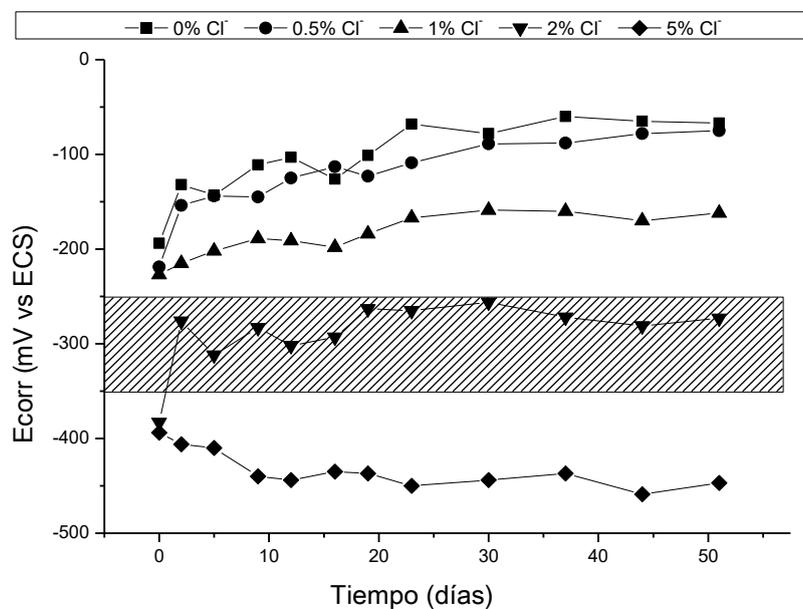


Figura 3. Representación de valores de E_{corr} vs tiempo

Tal y como se ha establecido la medida del potencial de corrosión no aporta información cuantitativa sobre la velocidad de corrosión. Por lo tanto, si se quiere tener un conocimiento real del nivel de corrosión de la armadura, o hasta qué punto está amenazada su pasividad, resulta necesario complementar su conocimiento con el relativo a otros ensayos como contenido de cloruros, avance del frente carbonatado, velocidad de corrosión y, particularmente, la resistividad. La resistividad eléctrica del hormigón viene

determinada principalmente por su contenido en agua líquida y por la existencia de carbonatación y cloruros. En el caso de hormigones con baja resistividad (húmedos y/o con cloruros) la polarización que inducen las zonas corroídas puede alcanzar zonas más lejanas, por lo que las isolíneas de potencial son menos patentes. Cuando la resistividad es elevada (hormigones secos y/o carbonatados) la zona polarizada es menor, lo que dificulta la localización de áreas de corrosión muy localizadas.

7. BIBLIOGRAFIA

1. ASTM C 876-9. "Standard Test Method for Half Cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete"
2. B. Elsener, C. Andrade, J. Gulikers, R. Polder, M. Raupach, Half-cell potential measurements – potential mapping on reinforced concrete structures. RILEM TC 154 EMC. Materials and Structures 36 (2003) 461 – 471
3. NMX-C-495-NNCCE. "Medición de potenciales de corrosión del acero de refuerzo sin revestir, embebido en concreto".
4. UNE 112070. "Medida del potencial de corrosión libre en estructuras de hormigón armado".
5. Oladis Troconis del Rincón, et al. Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado. Segunda Edición CYTED, Maracaibo, Venezuela (1998) pp. 129-135
6. H. Won-Song and V. Saraswathy, "Corrosion Monitoring of Reinforced Concrete Structures – A Review" International Journal of Electrochemical Science, Vol.2, No. 1, (2007), p.p. 1-28.
7. C. Andrade y S. Feliu - Manual de inspección de obras dañadas por corrosión de armaduras. Editorial CSIC 1990.
8. UNE 112083:2010 Medición del potencial de corrosión libre en estructuras de hormigón armado