

Recomendaciones sobre
Velocidad de Corrosión

Recomendaciones Técnicas

Pedro Garcés Terradillos
Oladis Troconis de Rincón
Erick Edgar Maldonado Bandala
Pedro Castro Borges
Carmen Andrade Perdrix

<https://doi.org/10.21041/AlconpatInternacional/RecTec/2020-03-velocidaddecorrosion>



ALCONPAT Internacional

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



RECOMENDACIÓN TÉCNICA

3

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 velocidad de corrosión

DOI: <https://doi.org/10.21041/AlconpatInternacional/RecTec/2020-03-velocidaddecorrosion>

Recomendações sobre velocidade de corrosão

Recommendations on corrosion rate

Pedro Garcés Terradillos

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

Oladis Troconis de Rincón

Universidad del Zulia,
Maracaibo, Venezuela

Erick Edgar Maldonado Bandala

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. 3

VELOCIDAD DE CORROSIÓN

OBJETIVO

Esta Recomendación Técnica tiene por objeto plantear un método de ensayo que permita la determinación de la velocidad de corrosión de la armadura, en campo, mediante la aplicación de la técnica de Resistencia a la Polarización Lineal (Rp).

1. RESUMEN Y PRINCIPIOS DEL METODO

Es sobradamente conocido que el principal problema patológico que presentan las estructuras de hormigón armado (EHA) es la corrosión, que se produce bajo ciertas condiciones, de la armadura de refuerzo.

Debido a la falta de accesibilidad directa a la armadura y a la necesidad de extraer y romper probetas con armadura las probetas para obtener un solo dato utilizando técnicas gravimétricas, los estudios sobre la durabilidad de las EHA han tenido siempre grandes limitaciones. 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+} (reacción anódica) y por otro lado la reducción del oxígeno (reacción catódica). 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 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} . E_{corr} está relacionado con los aspectos termodinámicos de la reacción, o sea, solo informa sobre la potencialidad que tiene el refuerzo de acero a corroerse, mientras el i_{corr} representa la cinética de un proceso corrosivo en progreso.

La velocidad de corrosión del acero, i_{corr} , admitida bajo una corrosión generalizada, también se puede expresar como la velocidad de reducción del espesor del acero convertido en óxido por unidad de tiempo) y se mide en $\mu\text{m}/\text{año}$. También se puede expresar en unidades electroquímicas, como mA/m^2 ó $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. La Tabla 1, expresa el riesgo de corrosión en función de la densidad de corriente de corrosión en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$.

Tabla 1

Densidad de corriente de corrosión i_{corr} ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Riesgo de corrosión
< 0,1	Despreciable
0,1 a 0,5	Moderado
0,5 a 1	Elevado
> 1	Muy elevado

Tal y como se ha planteado la velocidad de corrosión informa sobre la cantidad de metal que pasa a óxido por unidad de tiempo y de superficie de armadura expuesta. Por lo tanto, debe denominarse como i_{corr} , densidad de corriente de corrosión. Ahora bien, en los casos de corrosión localizada la distribución uniforme de la corrosión no se produce y por ello, algunos autores la denominan I_{corr} para indicar la posible no distribución homogénea del área corroída. La cantidad de óxido generada por la corrosión incide directamente en la fisuración del recubrimiento y la pérdida de adherencia armadura/hormigón, mientras que la disminución del área transversal de la armadura afecta además significativamente a la pérdida de capacidad portante de la estructura.

La velocidad de corrosión es utilizada, no solo para el cálculo de la pérdida de sección del acero sino también para los siguientes fines:

- a) Identificación de las zonas con corrosión. Se pueden realizar mapas de velocidad de corrosión de la misma manera que los mapas de potencial de corrosión, siempre que exista continuidad eléctrica. No obstante, estos sí permiten la localización de las zonas donde la armadura se está corroyendo; lo cual no sucede con las medidas de potenciales, los cuales solo informan de la potencialidad del acero a corroerse en un medio.
- b) Evaluación de la eficacia de las reparaciones. Tal es el caso de la reparación por parcheo, mediante inhibidores, extracción de iones cloruro, realcalinización, entre otros.

La velocidad instantánea de corrosión, i_{corr} , se obtiene a partir de la aplicación de la técnica de la resistencia de polarización, R_p . Dicha variable, junto con el potencial de corrosión (E_{corr}), permite valorar el nivel de corrosión de los aceros embebidos en el hormigón, y su

evolución.

La técnica se basa en la aplicación de un barrido de potencial a la armadura y proporciona un valor aproximado de la corriente de corrosión. El aparato de medida se conecta por un lado a la armadura y por otro a un sensor que se apoya sobre la superficie del hormigón. El sensor se puede desplazar para tomar medidas en distintos puntos de la armadura, siempre que exista continuidad eléctrica”.

Antes de efectuar medidas de velocidad de corrosión, mediante esta técnica, es necesario identificar el tipo de corrosión que se está presentando; ya que, si su valor es utilizado para evaluar la pérdida de sección del material, la velocidad de corrosión real puede ser de 2 a 10 veces el valor medido. Es decir, si es corrosión generalizada o uniforme el valor real de pérdida de diámetro del acero puede ser hasta el doble al considerar todo el diámetro y por tanto la parte inferior de la barra; pero si es por picaduras, la penetración local del ataque podría llegar a ser hasta 10 veces mayor (profundidad máxima de ataque local = unas 10 veces la pérdida homogénea).

Por otra parte, las medidas de la corriente de corrosión realizadas en un solo momento pueden no ser significativas en la evaluación de un elemento/estructura; ya que se trata de una medida instantánea y su valor puede variar con el tiempo. Es más significativo un valor promediado a lo largo del tiempo para lo que habría que tomar varias medidas a lo largo del año. No obstante, normalmente en campo solo se va una vez; por lo cual la interpretación, tanto del potencial como de las velocidades de corrosión medidas, dependerá de la experiencia/experticia del evaluador.

En épocas de lluvias, si ya la armadura se encuentra activa, la velocidad de corrosión puede ser muy alta; mientras que en épocas de sequía puede llegar a ser despreciable.

2. ALCANCE

La R_p proporciona información cuantitativa sobre la intensidad de corriente de corrosión de la armadura por unidad de superficie. Al ser el valor de la R_p instantáneo, informa del proceso en el momento de la medida

3. DEFINICIONES Y APARATOS NECESARIOS

Área de Ataque (AA)

Es el área metálica expuesta al electrolito, mortero u hormigón, en medidas de la velocidad de corrosión realizadas en laboratorio. En el laboratorio normalmente se delimita mediante recubrimientos aislantes aplicados sobre la

superficie que no se quiere exponer al ataque. En caso de medidas en campo, es fundamental que el equipo utilizado indique cuál es el área afectada por la corriente que aplica.

Armadura

Conjunto de barras de acero que se colocan dentro de los elementos del hormigón y hacen que los mismos sean aptos para resistir

esfuerzos de tensión originados por flexión, cortante, torsión o carga axial, y para incrementar su resistencia mecánica.

Caída óhmica (IR)

La caída óhmica del sistema (IR) corresponde a la diferencia de potencial que se produce entre el electrodo de trabajo (ET) y el electrodo de

referencia (ER) debido a la circulación de corriente de polarización en mortero u hormigón.

Capa pasivante

El acero al carbono embebido en el concreto alcalino forma espontáneamente una fina capa, de sólo unos nanómetros de espesor y que está compuesta de óxidos de hierro más o menos hidratados con un grado variable de Fe^{+2} y Fe^{+3} . Son películas invisibles de óxidos, oxígeno

adsorbido o muchas veces, de naturaleza desconocida, que al formarse reducen la velocidad de corrosión en varios órdenes de magnitud, al impedir el contacto directo del material metálico con el medio agresivo.

Carbonatación

Reacción del dióxido de carbono de la atmósfera con las sustancias alcalinas de la solución de poros y con los componentes hidratados del hormigón, produciéndose la

disminución del pH del hormigón por debajo de un valor crítico, no bien definido, que se sitúa en torno a 9- 9.5.

Contraelectrodo o electrodo auxiliar

Es el electrodo utilizado con el propósito de cerrar el circuito y transferir corriente hacia el electrodo de trabajo (acero de la probeta

estudiada), o desde el electrodo de trabajo. También se conoce como electrodo auxiliar.

Corriente

Magnitud física que indica el flujo de carga eléctrica que circula por un conductor, por unidad de tiempo.

Corrosímetro

Instrumento que permite medir la velocidad de corrosión por métodos potencioestáticos.

Generalmente se trata de un Potenciostato-Galvanostato.

Corrosión

Oxidación destructiva de un metal por interacción con el medio ambiente que lo rodea,

produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas.

Densidad de Corriente de corrosión, (i_{corr})

Intensidad de corriente referida a la unidad de superficie del electrodo donde ocurre la corrosión. Se expresa en A/m^2 , $\mu A/cm^2$, etc.

Pasivación

Transición del estado activo al pasivo de muchos metales o aleaciones en ciertos medios. Puede ser natural o forzada por una polarización anódica. Constituye una excepción de gran

importancia práctica a la ley general en electroquímica, que establece velocidades de corrosión crecientes para polarizaciones anódicas también crecientes.

Pasividad

Se dice que un metal se encuentra en estado pasivo cuando permanece prácticamente inalterado, por largos periodos, en medios en los

que debiera reaccionar, si se tiene en cuenta su tendencia termodinámica.

Pasivo

Estado que implica una reactividad muy pequeña, es decir, velocidades insignificantes de corrosión del metal/aleación.

Despasivación

Aumento de la velocidad de corrosión de un metal inicialmente pasivo debido a la eliminación total o parcial de su capa de pasivante.

Durabilidad

Es la capacidad de un material de construcción, elemento o estructura de resistir las acciones físicas, químicas, biológicas, ambientales y cambio climático en su entorno durante un

tiempo determinado previsto desde el proyecto, conservando su forma original, propiedades mecánicas y condiciones de servicio

Electrodo

Conductor electrónico, normalmente metálico, por medio del cual se proporcionan los electrones necesarios a una reacción, o se

consumen los electrones resultantes de la misma.

Electrodo de trabajo (ET)

Es la armadura embebida en el hormigón, mortero o sumergida en la disolución.

Electrodo de referencia

Electrodo que posee un potencial estable y reproducible y que puede utilizarse para la medida de otros potenciales de electrodo.

En medidas de campo, se utiliza habitualmente un electrodo de referencia de Cu/CuSO₄. Este electrodo tiene una diferencia de potencial de +316 mV con respecto al electrodo normal de hidrógeno (ENH). En caso de emplearse otro tipo de electrodos 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 de la medida. El electrodo de referencia utilizado debe ser periódicamente calibrado, siendo su funcionamiento y mantenimiento responsabilidad del técnico operador del equipo.

Electrolito o conductor iónico

Sustancia química, usualmente en solución acuosa, que contiene iones que migran en un campo eléctrico.

Estructura

Conjunto de elementos de una construcción cuya función es la de resistir las cargas y/o acciones para las que fue diseñada, incluyendo

los efectos del medio ambiente al que esté sometido.

Faraday, constante de

Cantidad de electricidad requerida para oxidar o reducir un equivalente químico (peso

atómico/valencia) de un metal. Equivale a 96500 Culombios, aproximadamente.

Galvanostato

Instrumento capaz de imponer o mantener una corriente constante a un electrodo de trabajo, o bien hacer variar la intensidad que circula por él

de acuerdo con una secuencia prefijada del tiempo.

Localizador de barra (Pachómetro)

Dispositivo o instrumento, de base electromagnética, empleado para localizar y estimar el diámetro del acero de refuerzo embebido en el concreto. Hoy en día hay

pachómetros como un escáner digital que permite el almacenamiento de datos y comunicación a una computadora.

pH

Medida de la acidez o alcalinidad de una solución. En sentido estricto, es el logaritmo del inverso de la actividad de iones hidrógeno en la solución: $\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$. El valor 7 de pH

corresponde a una solución neutra; los valores inferiores, a medios ácidos y los superiores, a medios alcalinos.

Polarización

Es la diferencia matemática entre el potencial del electrodo para unas condiciones dadas de

densidad de corriente y el potencial de corrosión o potencial en circuito abierto: $\eta = E - E_{\text{corr}}$.

Potencial de corrosión

en un medio dado, sin flujo de corriente externa que lo genere. Para el mismo concepto se emplean también los siguientes términos: potencial de circuito abierto; potencial de corrosión libre; potencial de reposo; potencial de media celda y potencial estacionario. El

potencial de corrosión no es un potencial de equilibrio, pues, aunque se da en él un equilibrio cinético hay transformación neta de sustancia, con la única condición de que exista equivalencia entre las velocidades globales de oxidación y reducción.

Potenciostato

Dispositivo o instrumento electrónico que mantiene a un electrodo a potencial constante y es capaz de variarlo también, según una secuencia de tiempo, dentro de un margen

amplísimo de velocidades de barrido. Actualmente, los potenciostatos comerciales incluyen también la posibilidad de funcionar como galvanostatos.

Resistencia de polarización

Es la pendiente, dE/di , de las curvas de polarización en el potencial de corrosión. La resistencia de polarización, R_p , es inversamente proporcional a la densidad de corriente de

corrosión $i_{\text{corr}} = B/R_p$, cuando la técnica de polarización lineal es aplicable (B es la constante de Stern).

4. DESCRIPCION DEL METODO OPERATORIO

Técnica de Resistencia de Polarización Lineal R_p

La técnica, no destructiva, más utilizada para medir la intensidad de corrosión es la denominada Resistencia de Polarización, R_p , que está basada en imponer polarizaciones muy pequeñas al metal (≤ 20 mV), a partir de su potencial de corrosión.

$$R_p = [\Delta E / \Delta I]_{\Delta E \leq 20 \text{ mV}}$$

La intensidad de corrosión se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$i_{\text{corr}} = B/R_p$$

Donde B es una constante, que toma un valor de 26 mV para el sistema acero-concreto en

ensayos in-situ. Esta medición tiene un carácter no destructivo; debido a esto, se puede realizar indefinidamente, además de que el tiempo de realización solo toma pocos minutos.

Los valores obtenidos en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$, para la armadura de acero, se pueden transformar en pérdida de espesor/tiempo mediante la Ley de Faraday

$$\mu\text{m/año} = M/\delta \cdot n \cdot F \times i_{\text{corr}} = 11,6 i_{\text{corr}}$$

donde:

M = Masa atómica del metal

n = Número de electrones transferidos

F = Constante de Faraday (96500 coulombios)

δ = Densidad del metal

La medida se puede efectuar en probetas de pequeño tamaño y área de acero conocida. Su aplicación a pie de obra exige conocer la longitud de barra sobre la que actúa la corriente. Para ello existen corrosímetros comerciales

para medidas in situ. Sus resultados deben ser calibrados con ensayos en laboratorio si no se tiene la garantía de su correcto funcionamiento. Algunos de estos corrosímetros, además de medir el E_{corr} y la i_{corr} , miden la resistividad.

Descripción básica de un corrosímetro comercial.

La medida de la intensidad de corrosión (i_{corr}), se efectúa mediante un electrodo de referencia, que indica el potencial eléctrico de la armadura, y un electrodo auxiliar que sirve para medir la corriente circulante en el ensayo. En las medidas que se efectúan in-situ, se pueden usar dos métodos:

Confinamiento de la corriente mediante anillo de guarda: usa además del electrodo auxiliar standard (circular en este caso) un segundo electrodo que en forma de anillo rodea al

anterior (anillo de guarda) tal y como indica la Figura 1. Este anillo de guarda se utiliza para producir un campo de sentido contrario al producido por el electrodo auxiliar con el fin de confinar la corriente aplicada por éste en un área determinada por el círculo que pasa entre los dos electrodos tal y como indica la línea de trazos en la Figura 1. El área expuesta de armadura polarizada será la comprendida debajo de ese círculo.

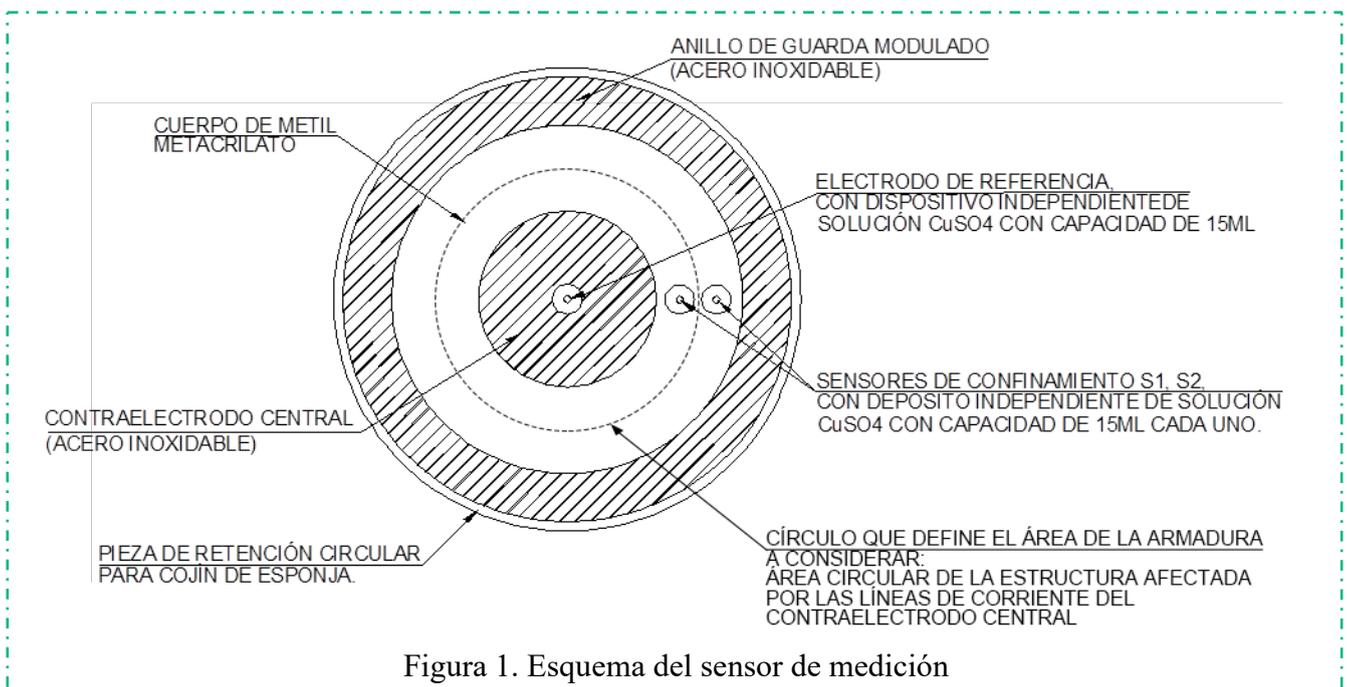
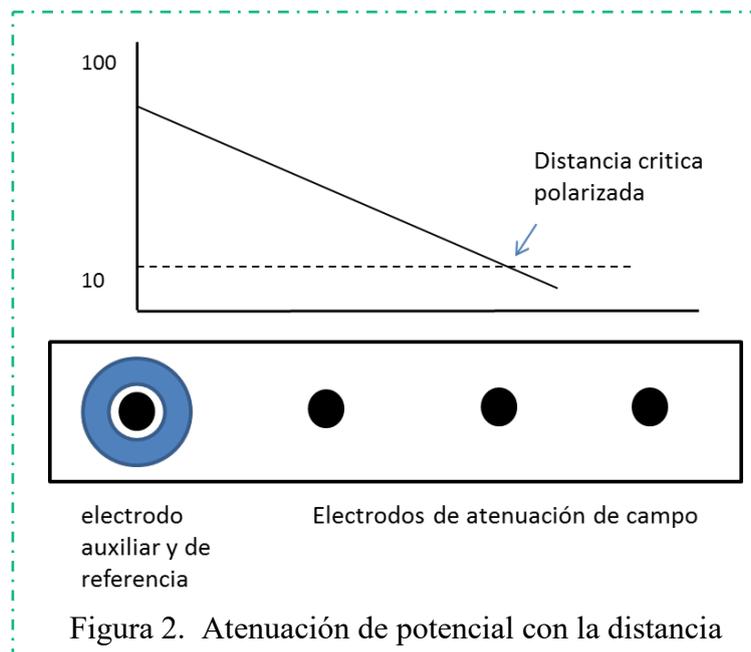


Figura 1. Esquema del sensor de medición

Atenuación de potencial: normalmente se utiliza cuando el hormigón está muy húmedo y el anillo no es capaz de confinar la corriente por la baja resistividad. El electrodo consiste como indica la Figura 2 en un disco con un electrodo central y tres electrodos situados a diferente distancia del anillo. El método aplica un

potencial en vez de una corriente y mide la corriente en el anillo y el potencial en los tres electrodos laterales. El área polarizada será aquella en la que el potencial ya solo es el 10% del aplicado desde el anillo. Es decir, la atenuación con la distancia permite delimitar el área que alcanza la polarización.



Procedimiento de operación

En primer lugar, se debe llevar a cabo una inspección visual detallada y rigurosa de la estructura, que permita establecer un diagnóstico previo de la causa que ha generado el desarrollo de la pila de corrosión.

A continuación, es muy importante seleccionar bien los puntos/zona de medida, de tal forma que resulten significativos para el estudio que se persigue del comportamiento estructural. Para ello en primer lugar se realizará una localización del refuerzo mediante el pachómetro, marcando su posición sobre la superficie del hormigón, de forma que permita dibujar una cuadrícula con un espaciamiento uniforme de los nodos, no menores a 50 cm para elementos pequeños, como trabes o columnas, y no mayores a 200 cm en elementos de mayor tamaño como losas, muros o pilas; la cuadrícula forzosamente deberá coincidir con el alineamiento de las barras de refuerzo. Cuando la corrosión de la armadura es por picadura (caso de ambientes marinos/ingreso de cloruros por otros medios) no se deben hacer medidas puntuales porque podría no detectarse las picaduras. Para ello sería necesario, inclusive, tomar un espaciamiento menor a 50 cm, dependiendo del tamaño de la probeta del medidor de i_{corr} . Es decir, poder evaluar las barras en toda su extensión, en la zona afectada. En todo caso, es mejor tener personal con experticia en estos ambientes, para la toma de decisión en las zonas de medidas.

Después se seleccionarán las zonas más y

menos afectadas por la corrosión de la armadura, de tal forma que se pueda realizar una comparación. Para seleccionar estos puntos de medida se deben utilizar otras técnicas complementarias de la I_{corr} , como son la medida del potencial (E_{corr}) o de la resistividad. Estas son medidas más rápidas que pueden identificar, en principio, las zonas donde la armadura tiene una alta o baja potencialidad de corroerse; para luego con las medidas de velocidad de corrosión definir las zonas donde realmente la armadura se está o no corroyendo. Generalmente los lugares donde una estructura es más propensa a presentar problemas de corrosión son:

- Zonas con presencia de concreto con baja resistividad eléctrica.
- Zonas con alta presencia de humedad
- Zonas con grietas o desprendimientos superficiales
- Zonas húmedas con aireación diferencial (habitualmente por presencia de coqueas debido a una vibración defectuosa, que implica zonas de diferente nivel de acceso del aire a la superficie de una misma barra de acero.)

Al igual que en la medida de potencial de corrosión, previo a las medidas de i_{corr} , se debe localizar la armadura para efectuar el contacto eléctrico con el equipo de medida. Para ello, si no hay zonas con acero ya expuesto se realiza una perforación para hacer contacto con la armadura. Es importante eliminar todo resto de

óxidos sobre la superficie del acero donde se va a realizar la conexión, a fin de asegurar la continuidad eléctrica que permite establecer un circuito eléctrico, como se muestra en la Figura

3. Es conveniente tener en cuenta que en caso de que exista continuidad eléctrica en toda la armadura no es necesario hacer nuevas perforaciones, manteniendo el contacto inicial.

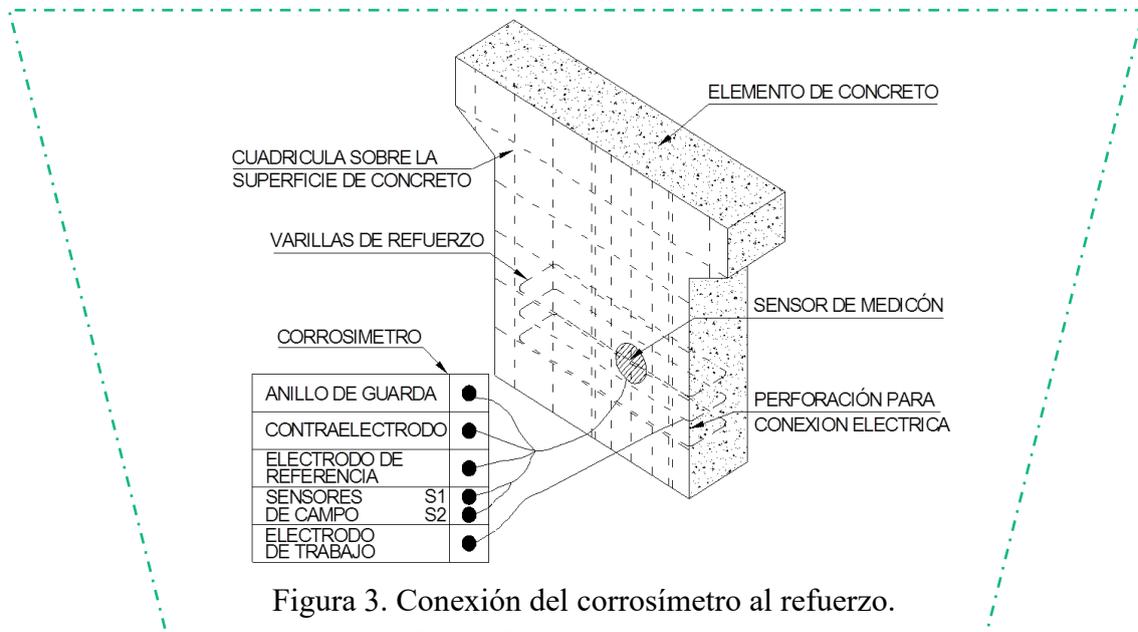


Figura 3. Conexión del corrosímetro al refuerzo.

También, en las zonas seleccionadas se debe limpiar la superficie de revestimientos, tales como pinturas, antes de iniciar el proceso de medida de velocidad de corrosión. Posteriormente la zona a evaluar debe rociarse con agua potable hasta lograr una semi-saturación, para así disminuir la resistividad

superficial del concreto y facilitar la medida. Después se debe situar el sensor sobre la superficie del hormigón, directamente sobre la armadura de diámetro conocido, a través de una esponja húmeda que asegure un buen contacto iónico con el concreto (Figura 4).

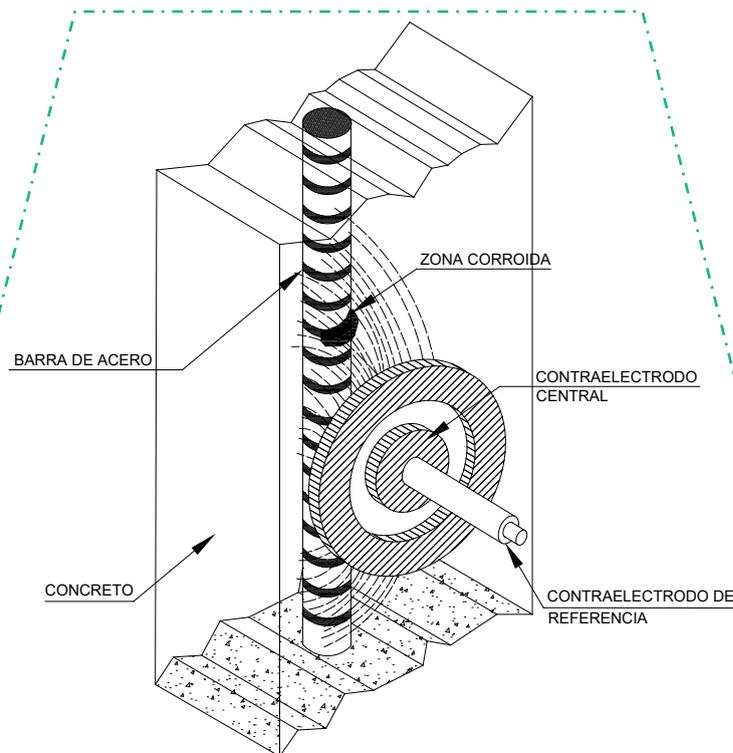


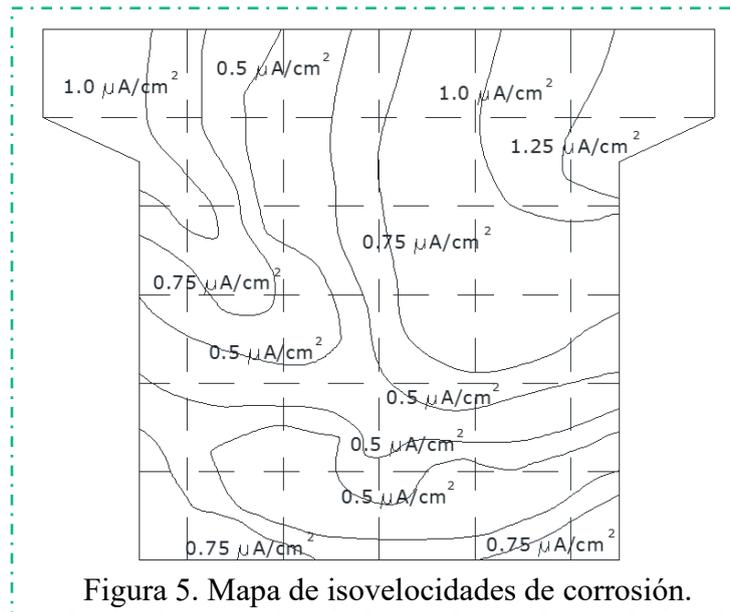
Figura 4. Principio del confinamiento modulado de la corriente (control del anillo de guarda) que permite la medición correcta de la R_p .

5. CÁLCULOS Y TIPOS DE RESULTADOS

Mapa de isovelocidades

Elaborar un plano de la superficie para ubicar los resultados de las mediciones de i_{corr} . Realizar interpolación de los resultados y crear

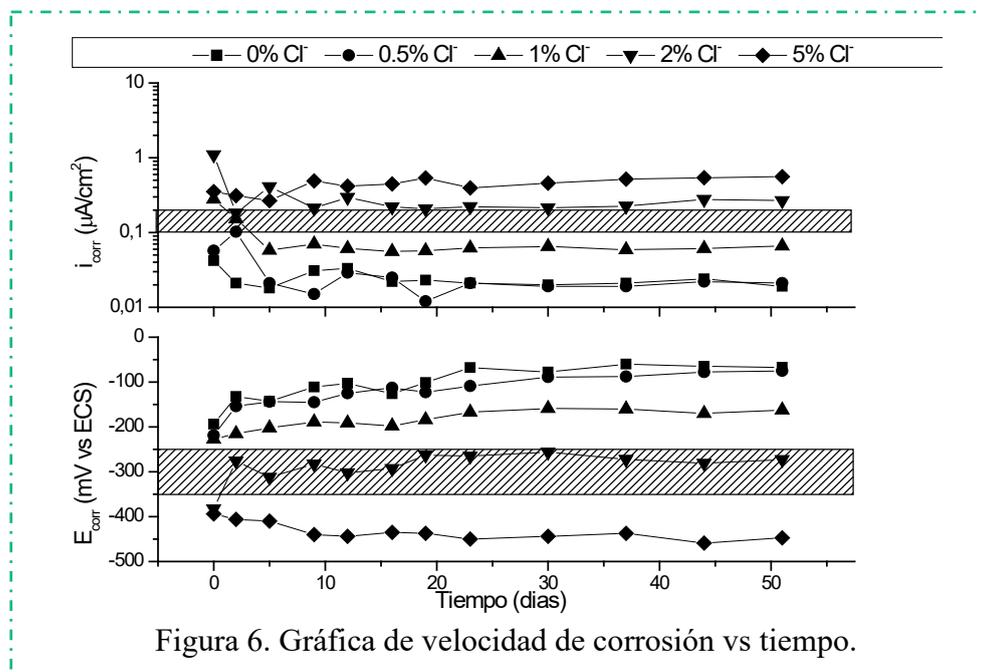
un mapa de isovelocidades de corrosión como se ilustra en la Figura 5.



Velocidad de corrosión vs tiempo

Si las mediciones se realizan de manera periódica, hacer una gráfica la cual tenga en las ordenadas la velocidad de corrosión ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$) y en las abscisas el tiempo (días, semanas, meses, etc.). La grafica debe hacerse logarítmica base

10 en el eje de las ordenadas debido al intervalo de valores que puede arrojar. Se deben establecer los límites (umbrales) de la velocidad de corrosión entre $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ y $0,2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, como por ejemplo se indica en la Figura 6.



Debido a la variabilidad propia de las medidas de corrosión, se deben adoptar criterios estadísticos de muestreo para tener un valor medio o, al menos detectar las zonas de mayor corrosión. Los criterios de muestreo se adoptan de forma similar a otros tipos de ensayo, después de haber efectuado el levantamiento de daños de la estructura y la localización correspondiente de la armadura. Como además

la i_{corr} varía con el grado de humedad del hormigón y la temperatura, es conveniente realizar al menos tres medidas a lo largo de un año, con el fin de caracterizar la influencia de las distintas variaciones estacionales. A efectos de predicción se utilizará el valor medio de los datos obtenidos, a no ser que se tengan datos suficientes para efectuar la simple integración a lo largo del tiempo.

Corrosión acumulada o pérdida de diámetro

Dada la variabilidad de la corrosión, cuando se haya medido a lo largo de un periodo se debe representar también la corrosión acumulada P_{corr} que resulta de integrar el área debajo de la

curva I_{corr} -tiempo. La representación indicará normalmente una tendencia lineal si la corrosión es más o menos constante o se repite periódicamente como se muestra en la Figura 7.

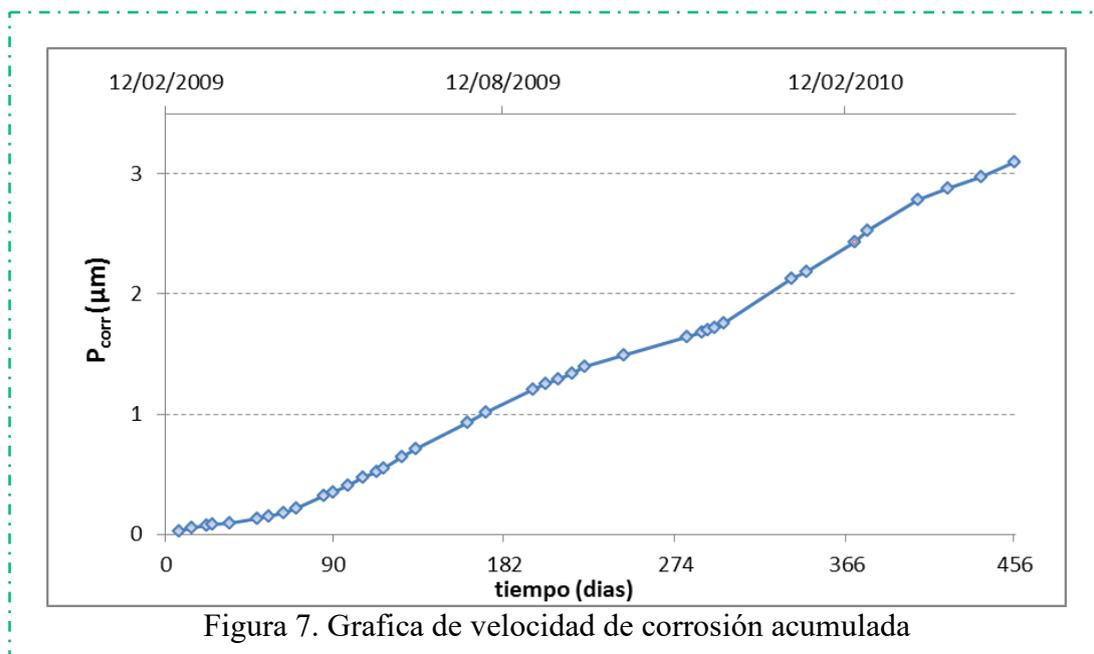


Figura 7. Grafica de velocidad de corrosión acumulada

Informe del ensayo

El informe del ensayo de velocidad de corrosión por lo general incluye un análisis por escrito de la distribución de los valores de las mediciones y su significado. De igual forma debe incluir todo el material que respalde el análisis mencionado, como por ejemplo tablas, mapa de velocidades de corrosión y gráficas de velocidad de corrosión vs tiempo (cuando las mediciones se hagan frecuentemente).

- Esquema y fotografía del elemento analizado. De ser varios a analizar colocar su nomenclatura.
- Modelo del corrosímetro comercial

utilizado.

- Precisión del equipo utilizado.
- La temperatura y humedad relativa media estimada y del ambiente. También es importante indicar el tipo de ambiente (urbano, rural, marino, industrial). Una tabla en la que dependiendo del tipo de prueba (puntual o periódica) se ordenaran los resultados. Es indispensable colocar el área del refuerzo medido en cada punto.
- Un mapa de velocidades (Figura 5), mostrando en una cuadrícula la

- ubicación del refuerzo de acero medido, la gráfica del comportamiento de la velocidad de corrosión con respecto al tiempo (Figura 6), o ambos.
- El porcentaje total de las velocidades que son menores a $0,1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (despreciable).
 - El porcentaje total de las velocidades que están entre $0,1 - 0,5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (bajo).
 - El porcentaje total de las velocidades que están entre $0,5 - 1,0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (moderado).
 - El porcentaje total de las velocidades que son mayores a $1,0 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ (alto).

6. BIBLIOGRAFIA

1. C. Andrade and C. Alonso, J. Gulikers, R. Polder, R. Cigna, O. Vennesland, M. Salta, A. Raharinaivo and B. Elsener. Test methods for on-site corrosion rate measurement of steel reinforcement in concrete by means of the polarization resistance method. *Materials and Structures' / Materiaux et Constructions*, Vol. 37, November (2004) pp 623-6
2. NMX-C-501-ONNCCE-2015. Industria de la Construcción - Durabilidad de estructuras de concreto reforzado - Medición de velocidad de corrosión en campo - Especificaciones y método de ensayo
3. 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
4. J. Rodriguez, J. Aragoncillo, C. Andrade y D. Izquierdo. Manual de evaluación de estructuras afectadas por corrosión de armaduras. Manual CONTECVET. Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja y GEOCISA
5. 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.
6. Paulo Helene. Contribuição ao Estudo da Corrosão em Armaduras de Concreto Armado. 1993. 248 p. Tese de Livre Docência – Universidade de São Paulo. (<http://www.phd.eng.br/biblioteca-phd/publicacoes/teses>).
7. Corrosión de Armaduras en estructuras de Hormigón Armado, Garcés, P., Climent, M.A., Zornoza, E. - ED. ECU [2008]
8. UNE 112072:2011 Determinación de la velocidad de corrosión de armaduras en laboratorio mediante la medida de la resistencia de polarización