

Actualidad de las técnicas de análisis de corrosión en estructuras de concreto reforzado.

Update on corrosion analysis techniques in reinforced concrete structures.

Ing. Raúl Andrés Villao Vera ^{1*}

1.* Master Universitario en Gestión de la Edificación y Construcción. Construction Management MBA. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Santa Elena, Ecuador.

Email: rvillao@upse.edu.ec ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9125-6535>

Destinatario: rvillao@upse.edu.ec

Recibido: 03/Agosto/2021

Aceptado: 05/Septiembre/2021

Publicado: 30/Octubre/2021

Como citar: Villao Vera, R. A., (2021). Actualidad de las técnicas de análisis de corrosión en estructuras de concreto reforzado. E-IDEA Journal of Engineering Science, 3 (8), 1-10. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.53734/esci.vol3.id210>

Resumen: La corrosión es uno de los problemas más recurrente en las estructuras de concreto reforzado. Evaluar la resistencia a la corrosión y la velocidad de corrosión del acero de refuerzo, se ha convertido en un objetivo primordial para predecir la vida útil de la estructura y a su vez para adoptar las medidas adecuadas para el mantenimiento y reparación necesarias. Es por ello que este trabajo de investigación tiene como propósito explicar las diversas técnicas de campo y de laboratorio disponibles para evaluar la resistencia a la corrosión y la velocidad de corrosión del acero de refuerzo del concreto reforzado, por lo que esta investigación es de tipo documental y descriptiva, basándose en datos e información teóricos respecto a la corrosión es estructura fabricada con concreto reforzado.

Palabras claves: Corrosión, concreto reforzado, técnicas de medición.

Abstract: Corrosion is one of the most recurrent problems in reinforced concrete structures. Evaluating the corrosion resistance and corrosion rate of reinforcing steel has become a primary objective to predict the useful life of the structure and in turn to adopt the appropriate measures for the necessary maintenance and repair. That is why this research work aims to explain the various field and laboratory techniques available to evaluate the corrosion resistance and corrosion rate of reinforcing steel in reinforced concrete, so this research is documentary. and descriptive, based on theoretical data and information regarding corrosion is a structure made of reinforced concrete.

Keywords: Corrosion, reinforced concrete, measurement techniques.

INTRODUCCIÓN

Parte del desarrollo económico y productividad de los países está relacionada con las infraestructuras, como autopistas, carreteras, puertos, aeropuertos, almacenes, por nombrar algunos, tal como explica (Gharehbaghia y Rahmanib, 2018). Es por ello que el hormigón armado, también conocido como concreto reforzado, gracias a su versatilidad y relativo coste de producción bajo lo hacen unos de los materiales más empleados en la construcción de infraestructuras y estructuras a nivel global (Benítez et al., 2020).

Cabe considerar que, el concreto es una mezcla de dos compuestos o elementos principales más el agua, es decir, el cemento, agregado natural con diferentes granulometrías y el agua, aunque actualmente, se puede considerar como una mezcla multicomponentes puesto que se pueden utilizar además de la arena natural como el agregado natural, la grava triturada, roca, arcillas, escoria de alto horno, concretos reciclados, entre otros Torres (2020), junto con el cemento y el agua.

Asimismo, el concreto es versátil, puesto que la mezcla que lo forma presenta fluides, por lo que puede adquirir cualquier forma del molde (encofrado) donde este se vierta y se deje fraguar. Además, preparado de manera adecuada, controlando las proporciones de sus componentes y la calidad de los mismos, se puede obtener excelentes propiedades y durabilidad. (Torres, 2020).

En este mismo orden de idea, plantea (Rollano, 2019) que el concreto reforzado, siendo unos de los materiales con mayor aplicabilidad en la construcción, está constituido por el concreto y un soporte de acero, el cual permite soportar cargas a tracción, debido a que el concreto por sí solo no resiste este tipo de cargas, logrando de esta forma que las estructuras resistan cuando estén sometidas a diferentes esfuerzos.

Además, concuerdan (Zhang y Su, 2019) y (Rollano, 2019) en que los esfuerzos son transmitidos del concreto a soporte de acero por la unión íntima de estos, gracias a la adherencia química, el rozamiento entre las partes y la interacción mecánica entre el concreto y el acero.

De igual manera, el concreto a pesar de ser muy resistente a la interacción con el medio que lo rodea, con el tiempo puede comenzar a deteriorarse, disminuyendo la vida útil de las edificaciones. Es por ello, que existe planes de mantenimiento, monitoreo e inspección para mantener la durabilidad de las infraestructuras (Benítez et al., 2020).

Conjuntamente, plantea Torres (2020) en su investigación que las edificaciones e infraestructuras puede lograr ser perdurables en el tiempo si se tiene presente todos los factores que afecten la integridad del concreto, es decir, los factores que disminuyan las propiedades físicas y estructurales de este. Entre los factores a tener presentes se pueden mencionar: calidad del concreto, agresividad del ambiente y la corrosión en el acero de refuerzo.

Adicionalmente, expone Zhang y Su (2019), que lograr que el concreto presente excelente resistencia a efectos perjudiciales del medio que lo rodea y además proteger de la corrosión al acero de refuerzo, y por lo tanto mejorar la durabilidad del concreto reforzado, es necesario hacer una adecuada selección de la materiales que la constituyen (cemento, agregados, agua), usar proporciones de los constituyentes adecuados, y realizar un correcto proceso de elaboración de la mezcla, así como, los tiempos de fraguado.

A su vez, existe la posibilidad de realizar otras acciones como utilizar de aditivos, emplear espesores de recubrimiento adecuado, aplicar revestimientos o recubrimientos especiales, adicionar inhibidores de corrosión o protección catódica, para mejorar la durabilidad del concreto reforzado (Torres, 2020).

Debido a que, el deterioro de las infraestructuras elaboradas de concreto reforzado es multifactorial, es decir se puede deber desde la deficiencia estructural hasta la corrosión del refuerzo, así como, la expansión térmica hasta el daño por fuego. La corrosión es la causa más común del deterioro de las infraestructuras del concreto reforzado alrededor del mundo. Generalmente, el acero de refuerzo embebido en estructuras de concreto no se corroe. Sin embargo, debido a una cobertura insuficiente, puede ocurrir la presencia de una gran cantidad de oxidación. (Gharehbaghia y Rahmanib, 2018)

De la misma manera expresa Fahim et al. (2018), la corrosión del acero de refuerzo es una de las causas más destacadas del deterioro prematuro del concreto reforzado. Aun y cuando el concreto al poseer un alto pH gracias a los constituyentes del cemento, estos promueven la formación de una capa pasiva de óxido que puede limitar la tasa de corrosión a valores despreciables.

No obstante, explican Gomez et al. (2022) y Torres (2020), que cualquier interacción con agentes ambientales que produzca cambios en el pH, o modifique/destruya la capa pasiva puede iniciarse la corrosión activa. Por lo que, puede transcurrir años para que los agentes difundan en el concreto, alcancen el acero de refuerzo, de manera que, las condiciones ambientales y la concentración de agentes agresivos en el ambiente exterior, como los factores a considerar en la disminución de la durabilidad del concreto reforzado.

Debe señalarse que, después del inicio de la corrosión, es necesaria una determinación precisa de la tasa de corrosión para evaluar la seguridad estructural, predecir la vida útil o programar las operaciones de mantenimiento, tal como lo expresan (Fahim et al., 2018; Ramón, 2018)

Asimismo, la corrosión de las armaduras de refuerzo en las estructuras de hormigón armado es una afección que se produce en la mayoría de las construcciones de este tipo a lo largo de su vida útil. La probabilidad de que este fenómeno se produzca aumenta cuando las estructuras se encuentran expuestas a ambientes agresivos como el medio marino, donde el ion cloro puede

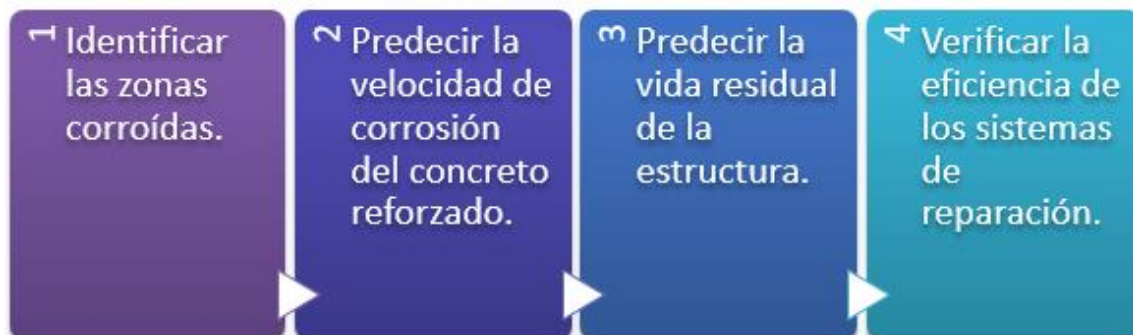
difundir hasta las armaduras y desencadenar la aparición de estos procesos. El fenómeno de la corrosión también está condicionado por los componentes utilizados para la fabricación del hormigón, la dosificación utilizada, y factores externos como la temperatura o la humedad. (Pacheco, 2020)

En la Figura 1 se enumera que utilidad tiene medir la tasa o velocidad de corrosión en el concreto reforzado.

En consecuencia, este trabajo de investigación tiene como propósito a través de una extensa revisión teórica, mostrar los métodos de detección directa basados en principios físicos y electroquímicos que se están empleando y desarrollando para evaluar la corrosión del acero de refuerzo en el concreto reforzado, y los métodos indirectos basados en la medición de los daños inducidos por la corrosión en el hormigón armado, y se proporciona el mecanismo de trabajo básico y el estado del arte de cada método su importancia y marcos conceptuales para su utilización.

Figura 1

Utilidad de medir la tasa o velocidad de corrosión en el concreto reforzado



Fuente: Elaboración propia a partir de lo expresado por (Zhang y Su, 2019)

METODOLOGÍA

Partiendo de lo expresado por Hernández et al. (2014) como el alcance de la investigación, este trabajo se enmarca como una investigación descriptiva, puesto que busca recabar información sobre los procesos de medición de corrosión en concretos reforzados. Así como una investigación no experimental ya que no se realiza manipulación de variables. A su vez, este trabajo de investigación es de tipo documental al centrarse en realizar un análisis de los métodos de medición de la corrosión en concreto reforzado, tal como lo explica (Bernal, 2010). Al mismo tiempo, por lo expresado por Mejías (2005) es una investigación de tipo teórica básica al proporcionar fundamentos generales y teóricos sobre la corrosión en concreto reforzado.

Para garantizar que el contenido de esta investigación sea de la mayor calidad y confiabilidad, solo se tomó en consideración los artículos, tesis y documentos bibliográficos de base de datos como los de Google Scholar, Springer, repositorios de universidades y centros de investigación, así como revistas indexadas de gran trayectoria científica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existe varios trabajos de investigación como los presentado por Benítez et al., (2020) además de Daniyal y Akhtar (2019), así como Hu et al. (2022) por citar algunos que coincide en que es importarte para aumentar la vida útil de las estructuras, disminuir los costes de mantenimiento, así como evitar fallas catastróficas de estas, detectar lo antes posible la corrosión del acero de refuerzo. Asimismo, se debe tener en consideración que un gran numero fallos de la infraestructura de concreto reforzado está más relacionada con la corrosión del acero de refuerzo que por sobrecargas mecánicas a las que está sometida los elementos de las estructuras (Ramón, 2018).

En este sentido, como se ha indicado en párrafos anteriores la corrosión del acero de refuerzo disminuye rápidamente la vida útil de las estructuras fabricadas con concreto reforzado. Es por ello que, es imprescindible para la toma decisiones sobre qué acciones tomar para extender la vida útil de las infraestructuras, realizar un monitoreo de la naturaleza, condiciones, velocidad del proceso de corrosión (Chandru et al., 2021).

En el mismo orden de idea, el mantenimiento y reparación de estructuras de concreto reforzado con acero se hace necesario como se ha mencionado anteriormente, de métodos efectivos de monitoreo e inspección para evaluar la corrosión del acero de refuerzo. Estos métodos deben ser capaces de identificar cualquier inconveniente que disminuya la durabilidad de las estructuras antes de que se vuelvan severos (Daniyal y Akhtar, 2019). Entre los parámetros que generan mayor interés son la resistividad del hormigón, el potencial electroquímico y la velocidad de corrosión en el acero de refuerzo entre otros, (Ramón, 2018).

Se puede mencionar que, como unas de las técnicas para evaluar la corrosión, la inspección visual, de manera general y como su nombre lo indica, lo que busca es identificar si la estructura presenta grietas, deterioro, es decir defectos, (Gharehbaghia y Rahmanib, 2018). Sin embargo, identificar estos defectos significa que la corrosión se ha producido y avanzado (Zhang y Su, 2019).

Unas de las técnicas que se emplean para monitorear la velocidad de corrosión es el pulso galvanostático el cual se basa en obtener la resistencia de polarización mediante el análisis de la respuesta potencial generada después de la aplicación de un pulso de corriente continua conocido. Esta emplea un electrodo auxiliar (anillo protector) para limitar el área polarizada. (Torres, 2020; Daniyal y Akhtar, 2019; Fahim et al., 2018).

El dispositivo de pulso galvanostático consta de un electrodo de referencia de Ag/AgCl y contraelectrodos anulares de zinc colocados concéntricamente y de anillo protector. El dispositivo controlaba automáticamente la corriente del anillo de protección para mantener las diferencias de potencial iniciales entre el contraelectrodo y el refuerzo, así como entre el electrodo del anillo de protección y el refuerzo (Daniyal y Akhtar, 2019; Fahim et al., 2018; Torres, 2020).

Otra técnica para monitorear la corrosión se le conoce como la medida del potencial de corrosión, se considera un ensayo o técnica no destructiva, puesto que no afecta la integridad del acero de refuerzo, así como cualitativa, puesto que luego de analizar los resultados de la medición, muestra si la reacción química, es decir, la oxidación del acero es termodinámicamente espontánea, en otras palabras, si el acero de refuerzo se encuentra en condiciones activa o pasiva (Pacheco, 2020; Torres, 2020; Sohail et al., 2021).

Asimismo, este método consiste determinar el potencial de corrosión, mediante la medición de la diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo de referencia y el acero de refuerzo, sin que circule corriente eléctrica entre los dos electrodos (Pacheco, 2020; Chandru et al., 2021; Torres, 2020). En este caso, el electrolito lo constituiría el concreto y el electrodo de trabajo el acero de refuerzo, por lo tanto, el potencial está relacionado con la espontaneidad con la que se da la reacción de oxidación del hierro (Torres, 2020).

El ensayo consiste en conectar el electrodo de referencia (electrodo de calomelanos saturado, de Ag/AgCl o de Cu/CuSO₄), al polo negativo y el acero de refuerzo al polo positivo, del equipo de medición, el cual es un voltímetro de alta impedancia. El electrodo de referencia se pone en contacto con la superficie de concreto, para mejorar la unión y mejorar la continuidad eléctrica entre el electrodo de referencia y el concreto se coloca una esponja humedada (Sohail et al., 2021; Daniyal y Akhtar, 2019; Pacheco, 2020; Torres, 2020).

Una de las aplicaciones de este tipo de ensayo permite obtener mapas de potencial de corrosión, el cual permite identificar las zonas con mayor probabilidad de ser afectadas por el proceso de corrosión (Pacheco, 2020) y (Torres, 2020).

Para que este ensayo aporte mayor confiabilidad en el análisis de sus resultados, es importante tener en cuenta la humedad relativa, resistividad, espesor de recubrimiento que presenta el concreto. En la norma ASTM C-876 se establece ciertas consideraciones y valores de referencia que ayudan a interpretar los datos obtenidos en este ensayo (Torres, 2020).

En el mismo orden de idea, existe un ensayo llamado medición de potencial en superficie, el cual permite identificar el estado del acero de refuerzo en el concreto (Daniyal y Akhtar, 2019). Este método consiste en recorrer la estructura entre puntos nodales, usando 2 electrodos de referencia, uno se mantendrá fijo, es decir en una misma posición, mientras que el otro se moverá a lo largo de la estructura. Cuando el electrodo móvil se coloca en los puntos nodales, se mide el

potencial entre este y el electrodo fijo por medio de un voltímetro de alta impedancia. (Daniyal y Akhtar, 2019).

Los valores obtenidos de potencial entre los electrodos, permite detectar áreas anódicas y catódicas en el concreto reforzado, un valor positivo indica una región anódica, y al presentar mayor diferencia de potencial entre zonas anódicas y catódicas mayor será la probabilidad de que se produzca los procesos de corrosión (Daniyal y Akhtar, 2019) y (Chandru et al., 2021).

Otros de los ensayos para indicar el comportamiento de los procesos de corrosión, es la medición de la resistencia a la polarización lineal, la cual se puede aplicar tanto en mediciones de campo como de laboratorio. La técnica utiliza corriente continua (CC), empleando un potencióstato, lo que permite aplica una pequeña perturbación de polarización (entre 10 y 30 mV) sobre el (ΔE) del acero de refuerzo (Pacheco, 2020; Daniyal y Akhtar, 2019). Si bien, la corrosión es un proceso electroquímico, de ninguna manera debe cumplir con la ley de Ohm, es decir, existencia de una relación lineal entre corriente y potencial. No obstante, si el potencial de polarización es muy pequeño, se ha determinado que presenta cierta aproximación la ley de Ohm (Sohail et al., 2021).

La medición de la resistencia a la polarización lineal, se puede conseguir de dos formas, de manera potencióstática, el cual se realiza efectuando un barrido de potencial (ΔE) y se registra la variación de corriente (ΔI), la segunda forma es de manera galvanostática, en este caso se realiza el barrido de corriente (ΔI) y se registra la variación de potencial (ΔE) (Daniyal y Akhtar, 2019).

Una de las técnicas de medición que permite evaluar la durabilidad del concreto reforzado es mediante la determinación de la resistividad eléctrica del concreto Ramón (2018), a través de diferentes investigaciones, se ha logrado conseguir la correlación entre la resistividad eléctrica del hormigón y la corrosión del acero de refuerzo (Sohail et al., 2021).

En el mismo orden de idea, la resistividad eléctrica del concreto se mide mediante el método Wenner o de cuatro sondas o puntas. El método, como se ha comentado antes, se emplean cuatro electrodos (sondas) alineado e igualmente espaciados sobre la superficie del concreto. Ramón (2018) y Daniyal y Akhtar (2019), una vez colocado los electrodos, se hace pasar corriente alterna CA (I) entre las sondas más externas, mientras que se registra la diferencia de potencial (V) entre las sondas internas o centrales. Con frecuencia la corriente alterna que se aplica para la medición es de tipo sinusoidal con una frecuencia que va entre los 50 y 1000 Hz. (Ramón, 2018).

Actualmente se ha desarrollado sistema inteligentes de monitoreo y de evaluación no destructiva de la integridad estructural de concreto reforzado, empleando fibra óptica, cerámicas piezoeléctricas y sensores específicos, (Gomez et al., 2022; Pérez et al., 2020), estos últimos están formado por electrodos conectados de tal manera que permita efectuar análisis electroquímicos, posibilitando el registro del estado en la que se encuentra el acero de refuerzo embebido en el

concreto, así como, los parámetros que permitan describir las condiciones del proceso de corrosión (Gomez et al., 2022).

Estos sistemas de monitoreo por sensores, permite idear estrategias de mantenimiento más eficientes y de reparaciones focalizadas, que eviten que el deterioro de la estructura comprometa su durabilidad, es decir, disminuya su vida útil (Ramón, 2018). La ventaja de esta clase de sistemas, es que permite minimizar las operaciones de inspección, reducir los costes de mantenimiento y mejorar la toma de los datos.

En el mismo orden de idea, también se puede considerar de manera general, que en función del fundamento fisicoquímico con la que permite tomar la medición, así como los parámetros que son capaces de medir, se presentan distintas clases de sensores. Se pueden clasificar o identificar dos clases de sensores, químicos y físicos (Ramón, 2018; Gomez et al., 2022). Los sensores químicos permiten obtener datos en función de las transformaciones producto de las reacciones químicas y los sensores físicos, en base a la medición de modificación de las características físicas que de ningún modo sea producto de reacciones químicas (Gomez et al., 2022).

El progreso de los materiales inteligentes, como los materiales de fibra óptica y la cerámica piezoeléctrica, han logrado obtener con mejor precisión y en tiempo real información acerca del desarrollo de los fenómenos de corrosión a través del monitoreo online, puesto que estos tipos de materiales presenta características adecuadas para el diagnóstico de los daños. (Daniyal y Akhtar, 2019), se ha realizado estudios de sensores basados en los cerámicos piezoeléctricos y de fibras ópticas para la evaluación de la corrosión en estructuras de concreto reforzado con acero.

Se ha desarrollado recientemente, por ejemplo, un sensor de fibra óptica constituido por un sensor de rejilla de Bragg, utilizado para identificar la corrosión del acero de refuerzo. Donde se ha encontrado una correlación entre la velocidad de pérdida de peso del acero de refuerzo, este parámetro obtenido mediante el método de pérdida gravimétrica y el cambio de longitud de onda reflejada por la rejilla de Bragg, través de una serie de pruebas de corrosión acelerada (Chandru et al., 2021; Daniyal y Akhtar, 2019).

Mediante estos estudios se ha logrado analizar a través de esta relación, que, a mayor cambio de la longitud de onda registrada por el sensor, mayor es la velocidad de pérdida de peso en el acero (Gomez et al., 2022).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benítez, P., Rocha, E., & Rodrigues, M. (2020). Estrategias para la inspección óptima de estructuras de hormigón armado sujetas a corrosión. + Ingenio Revista Ciencia Tecnología e Innovación, 2(2), 46 - 58. doi:10.36995/j.masingenio.2021.02.02.004
- Bernal, C. (2010). Metodología de la Investigación (Tercera ed.). Colombia: Prentice Hall.
- Cedeño de Sánchez, A., Hernández, C., Ortiz de Vergara, F., & Villar, J. (2022). Acción del microambiente sobre el concreto reforzado. Revista Prisma Tecnológico, 13(1), 10 - 16. doi:10.33412/pri.v13.1.2545
- Chandru, P., Karthikeyan, J., & Natarajan, C. (2021). Techniques to Assess the Corrosion Resistance and Corrosion Rate of the Steel Embedded in Concrete. Building Pathologies and Acoustic Performance. Building Pathology and Rehabilitation, 18. doi:10.1007/978-3-030-71233-4_3
- Daniyal, M., & Akhtar, S. (2019). Corrosion assessment and control techniques for reinforced concrete structures: a review. Journal of Building Pathology and Rehabilitation volume, 5(1). doi:10.1007/s41024-019-0067-3
- Fahim, A., Ghods, P., Isgor, O., & Thomas, M. (2018). A critical examination of corrosion rate measurement techniques applied to reinforcing steel in concrete. Materials and Corrosion, 69(12), 1784 - 1799. doi:10.1002/maco.201810263
- Gharehbaghia, K., & Rahmanib, F. (2018). Deterioration of Transportation Infrastructures: Corrosion of Reinforcements in Concrete Structures. Materials Science Forum, 940, 160 - 166. doi:10.4028/www.scientific.net/MSF.940.160
- Gomez, E., Carricondo, J., Torres, J., Vazquez, D., Farina, S., & Duffó, G. (2022). Sensores para el monitoreo de corrosión en hormigón armado: desarrollo y aplicabilidad. Revista Hormigón, 61, 24 - 33. Obtenido de <http://id.caicyt.gov.ar/ark:/s27189058/cbr98vfvz>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación. Mexico: McGraw Hill.
- Hu, J., Zhang, S., Chen, E., & Li, W. (2022). A review on corrosion detection and protection of existing reinforced concrete (RC) structures. Construction and Building Materials, 325. doi:10.1016/j.conbuildmat.2022.126718.
- Mejías, E. (2005). Metodología de la Investigación Científica (Primera ed.). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Unidad de Potgrado. Obtenido de

https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/53345945/Metodologia_de_la_Investigacion_Cientifica-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1654391855&Signature=KaltWUjqwylxg-1WIKfpWRDkVzWs2xTVNM210rSYRvkwLudU6EFnIFRj22fAnnZ4ERmoZfx15M-CFNEfS64u6yBwBIRtjrfhVBOJ76u~f1PX3LBoM

- Pacheco, E. (2020). Análisis de la influencia de las corrientes de macrocelda en la corrosión de losas de hormigón armado. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Valencia: Universitat Politècnica de València. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/172034>
- Pérez, J., Godínez, E., Mundo, M., & Hernández, D. (2020). Inspección por corrosión y estructural de un elemento de concreto reforzado interno, que atraviesa el embovedado de San Roque en el cadenamiento 0+145, en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Espacio I+D, Innovación más Desarrollo, 9(22). doi:10.31644/IMASD.22.2020.a08
- Ramón, J. (2018). Sistema de Sensores Embebidos para Monitorizar la Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado. Fundamentos, Metodología y Aplicaciones. Departamento de construcciones arquitectónicas. Valencia: Universitat Politècnica de València. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/111823>
- Rollano, M. (2019). Influencia de corrosión del acero bajo los elementos de hormigón armado con adiciones anticongelantes. Ingeniería y sus alcances, Revista de Investigación, 3(6), 127 - 148. doi:10.33996/revistaingenieria.v3i6.38
- Sohail, M., Laurens, S., Deby, F., Balayssac, J., & Nuaimi, N. (2021). Electrochemical corrosion parameters for active and passive reinforcing steel in carbonated and sound concrete. Materials and Corrosion, 72(12), 1854 - 1871. doi:10.1002/maco.202112569
- Torres, J. (2020). Desarrollo de sensores de corrosión de estructuras de hormigón armado, basados en el principio de par galvánico. Instituto de Tecnología "Prof. Jorge A. Sabato". Universidad Nacional San Martín. Obtenido de <https://www.cnea.gob.ar/nuclea/handle/10665/1588>
- Zhang, Y., & Su, R. (2019). Concrete cover delamination model for non-uniform corrosion of reinforcements. Construction and Building Materials, 223, 329 – 340. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.06.199