

Literature review for the analysis and comparison of shear connectors in composite structures.

Influencia de la corrosión en varillas de acero de refuerzo, y sus efectos en la resistencia estructural de edificaciones.

Autores:

Chiriboga Chiriboga, Cristian
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras Sismorresistentes
Cuenca - Ecuador



cristian.chiriboga.18@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-7826-6309>

Maldonado Noboa, Juan
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras Sismorresistentes
Cuenca - Ecuador



jmaldonadon@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-5329-2201>

Chiriboga Zuñiga, Brayan
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras Sismorresistentes
Cuenca - Ecuador



bachiribogaz37@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-9801-3528>

Citación/como citar este artículo: Chiriboga, C., Maldonado, J. y Chiriboga, B. (2022). Influencia de la corrosión en varillas de acero de refuerzo, y sus efectos en la resistencia estructural de edificaciones. MQRInvestigar, 6(4), 396-419.
<https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.4.2022.396-419>

Fechas de recepción: 15-OCT-2022 aceptación: 23-OCT-2022 publicación: 15-DIC-2022



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

El acero es un material de alta importancia en la construcción en los últimos dos siglos, ya que el avance en la fabricación del acero es de alta calidad y de bajo costo de producción; sin embargo, este metal presenta una alta susceptibilidad a la corrosión. En las varillas la corrosión provoca que la sección geométrica se reduzca, ocasionando una pérdida de las propiedades mecánicas; habitualmente la corrosión se produce por la acción de agentes externos como las lluvias, cloruros sales, las emisiones provenientes del tráfico vehicular y la industria. En Ecuador, se observa que habitualmente las obras civiles son suspendidas o paralizadas debido a diferentes circunstancias, generando que el acero quede expuesto a la corrosión. En tal virtud, el presente estudio se ha planteado como objetivo general determinar cómo actúan las varillas de refuerzo que presentan corrosión, por medio de ensayos de tracción de diferentes probetas; además, se ejecutó un análisis de los criterios de los profesionales de la ciudad respecto a los métodos de protección y prevención de la corrosión del acero. Se encontró que todas las muestras presentarían problemas de cumplimiento con el marco regulatorio de las construcciones en el Ecuador, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-HM, en este sentido, se identificó que las muestras A, B, E y F presentan una deformación unitaria por debajo del 6% y el límite de fluencia en 5 de las 6 muestras obtenidas presentan valores de límite de fluencia por debajo de 400 MPa. Entonces, pese a que, no se encontró un vínculo directo entre los tiempos de paralización y resistencia del acero; la menor resistencia fué la muestra de construcciones paralizadas por un tiempo superior a los 5 años. Finalmente, se reportó que más de la mitad de los encuestados no tenía conocimiento de tratamientos de prevención y control de la corrosión en varillas de acero.

Palabras Clave: Acero, Corrosión, Varillas, Peligros en la construcción.

Abstract

Steel is a material of high importance in construction, in the last two centuries, advances in the manufacture of high-quality and low-cost steel; however, this metal has a high susceptibility to corrosion. In the rods, corrosion causes the geometric section to be reduced, causing a loss of mechanical properties; Corrosion is usually produced by the action of external agents such as rain, chlorides, salts, emissions from vehicular traffic and industry. In Ecuador, it is observed that civil works are usually suspended or paralyzed due to different circumstances, causing the steel to be exposed to corrosion. In this virtue, the present study has set as a general objective to determine how the reinforcing rods that present corrosion act, by means of tensile tests of different specimens; In addition, an analysis of the criteria of the city's professionals regarding the methods of protection and prevention of steel corrosion was carried out. It was found that all the samples would present compliance problems with the regulatory framework of constructions in Ecuador, such as the Ecuadorian Construction Standard NEC-SE-HM, in this sense, it was identified that samples A, B, E and F present a unit deformation below 6% and the yield strength in 5 of the 6 samples obtained present yield strength values below 400 MPa. Therefore, although no direct link was found between stoppage times and steel strength, the lowest strength was found in the sample of constructions stopped for more than 5 years. Finally, it was reported that more than half of the respondents had no knowledge of corrosion prevention and control treatments on steel rods.

Keywords: Steel, Corrosion, Rods, Construction Hazards.

Introducción

El acero es un material que ha generado un gran impacto a nivel de la industria y en la construcción, este comenzó a elaborarse en el siglo XIX, como producto de la creación de los procesos de fusión, mediante los hornos de crisol; entonces, Bessemer en 1855 invento el horno Convertidor, el cual era un horno de arco eléctrico (Fuentes & Torralbo, 2017).

El acero se comprende como una mezcla de diferentes componentes como el hierro y el carbono en rangos menores que van desde el 0.03% hasta el 1,4%; en esta línea, existen diferentes mecanismos para clasificar al acero; aunque los principales se dan de acuerdo con la composición química que esté presente (Aguiar et al., 2016).

Dentro de diferentes normativas como la española, en la UNEEN 10020:2001, se brindan las definiciones y categorizaciones de las clases de acero, este se clasifica dentro de tres grupos que son los aceros no aleados o aceros al carbono, los aceros aleados y los aceros inoxidables; en el primer grupo de acuerdo al contenido de carbono, estos se pueden subdividir en tres nuevos grupos como aceros bajos en carbono, con un contenido menor al 0.25%, aceros medios en carbono cuya concentración se encuentra entre el 0.25 y el 0.60% y los aceros altos en carbono cuyas concentraciones pueden alcanzar hasta el 1,14% (Fuentes & Torralbo, 2017).

Los procesos de producción del acero se pueden dividir de acuerdo en las materias primas que utilizan como el arrabio y los procesos de extracción desde chatarra reciclada que contiene dicho elemento; en la obtención del acero desde la chatarra se debe llevar un proceso cuidadoso que controle los lugares de origen del acero y los procesos de recepción, con la finalidad de garantizar la calidad de acero y regular que los procesos de fundición durante la elaboración se realicen de forma adecuada (Borrero & Morales, 2004).

Dentro de la fabricación de acero a partir del arrabio, el proceso de elaboración depende de la obtención inicial de los minerales como la caliza, el hierro y el coque, y la disponibilidad de un horno que alcance altas temperaturas, en donde el coque habitualmente es empleado como combustible y la caliza como un elemento que participa en la fundición. Por otra parte, el hierro, también es concebido bajo la denominación de menas, los cuales son integrados en los hornos cuando estos alcanzan temperaturas elevadas con el objetivo de proceder a la refinación y alcanzar el hierro requerido para generar el acero; dentro de los tipos de hierro que se utilizan de forma habitual se destacan: la pirita (FeS_2), la siderita (FeCO_3), la ilmenita (FeTiO_3), la

magnetita (Fe_3O_4), la hematita (Fe_2O_3) y la limonita ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$). En la industria en los últimos dos siglos, los avances respecto a los metales han sido de gran importancia dando paso a la fabricación de acero de alta calidad, con menores costos de producción y en menores tiempos de fabricación (Fuentes & Torralbo, 2017).

No obstante, en la construcción los materiales de mayor susceptibilidad a la corrosión son los metales como el acero, el cual es considerado la columna vertebral de las edificaciones (Gómez, 2019). La corrosión se genera por una reacción electroquímica que tienden a afectar las propiedades del metal (Zornoza-Gómez, 2008). De igual forma, la corrosión puede ser comprendida como la transformación que presentan los metales, por la acción de fenómenos naturales o antrópicos, que se refleja en: superficie picada, oxidación, aparición de escamas que se desprenden fácilmente, color rojo oscuro, entre otros; por ende, se genera disminución del espesor del acero, afectando a su resistencia. En las varillas de acero, la corrosión provoca que la sección geométrica se reduzca, lo que ocasiona una pérdida de las propiedades mecánicas que lo componen, poniendo en riesgos a dichos elementos estructurales (Jelpo & Padilla, 2009; Mendoza et al., 2008).

Dentro de las aleaciones metálicas como el acero, la corrosión debe ser descrita con precisión partiendo del análisis estructural a nivel atómico de los elementos; es así como, el átomo se encuentra compuesto por el equilibrio entre las cargas positivas denominadas protones y las cargas negativas denominadas electrones, cuando se produce la corrosión los materiales pierden electrones, dando paso a la formación de un ion positivo que se traduce en la pérdida de masa. Dicho proceso ocurre habitualmente cuando el acero se encuentra expuesto a electrolitos que conducen a reacciones electroquímicas de oxidorreducción. Por lo tanto, generalmente los procesos de corrosión incrementan en medios húmedos que presentan circulación simultánea de corriente eléctrica definida como pila galvánica; que deriva en un proceso de desgaste electroquímica del metal que se genera por la reacción del mismo en medio en el que se encuentra (Preciado & Lozada, 2008).

Dentro de la industria y la construcción los problemas de la corrosión se encuentran vinculados con el agua y ésta se intensifica con la cantidad en la que el líquido se encuentre; en tal virtud, los procesos de corrosión derivados del agua se definen como procesos electroquímicos que se entienden como el flujo de corriente eléctrica durante la corrosión. En este proceso la corrosión depende de una fuerza que actué como una fuente que brindé la potencia para lograr finalizar el circuito eléctrico; la magnitud de dicha fuerza en presencia de una solución acuosa se define

como potencial del metal, dicho valor se vincula con la energía liberada durante la corrosión (Dueñas, 2020).

El circuito eléctrico de la corrosión es el conglomerado de fuentes de voltaje requeridas para completar el circuito y se conforma por tres factores que son: el ánodo, comprendido como la región de la superficie del acero que presenta la corrosión, en dicha zona, el metal se desgasta dando paso a la disolución, que ocurre por la pérdida de electrones que se transforman en iones. Además, se encuentra el cátodo comprendido como la proporción del metal que no presenta disolución, en esta área ocurre otra reacción química elemental para completar la corrosión; entonces, dentro del ánodo se liberan los electrones y son conducidos hasta la zona catódica en la cual se desintegran por la acción del agente oxidante que se encuentra en el agua, dicha reacción se denomina reducción (Chica et al., 2019).

Asimismo, se encuentra el electrolito, elemento indispensable para completar el circuito en la superficie del acero; en este hilo, tanto el ánodo como el cátodo deben encontrarse en presencia de la solución acuosa que actúa como conductora de electricidad o del electrolito. En congruencia, el electrolito transporta la corriente desde el ánodo al cátodo para completar el circuito; la mezcla de los elementos que participan en el proceso de corrosión se define como celdas (del Olmo, 1970).

La corrosión puede encontrarse clasificada de diferentes formas, en general cuando esta da lugar a la disminución del grosor del metal, producto de la pérdida regular del material a nivel superficial; dicha corrosión se subclasifica en corrosión atmosférica que es la que genera una mayor afección al acero, provocando ascendentes proporciones de desgaste; dentro de los principales agentes corrosivos que actúan en este tipo de corrosión se encuentra el oxígeno y el agua; además, esta puede agravarse en presencia de sales sulfuros y contaminantes ambientales en la atmósfera (Schmiedl & Audelo, 2017).

En esta idea, la corrosión general además puede producirse dentro de ambientes rurales, que se caracteriza como el menor rango de contaminación atmosférica; en este proceso, se distinguen ínfimos niveles de ácidos de patógenos corrosivos; aunque, existen otros procesos que producen la corrosión atmosférica como la humedad, la temperatura, la presión y la existencia de contaminantes atmosféricos. La acción de la temperatura incide en la velocidad de las reacciones químicas vinculadas con la corrosión; mientras que, la presión influye la velocidad de la reacción especialmente cuando los agentes corrosivos son gases, como evidencia de lo

mencionado, se encuentra la velocidad a la que se produce la corrosión del acero a nivel del mar, comparado a regiones de mayor altitud en donde la presión es menor (Preciado & Lozada, 2008).

De esta manera, en los tipos de corrosión se encuentra la corrosión galvánica, la cual es una de las formas más habituales de corrosión que se puede distinguir en los metales, los procesos en este tipo de corrosión se dan de forma acelerada y esto se produce gracias que dos elementos de distinto potencial eléctrico, se unen por la acción de un electrolito como el agua. El ataque galvánico se puede manifestar localmente, uniformemente, en las uniones de las aleaciones o en diferentes zonas de acuerdo con las condiciones en las que se produzca la corrosión; en esta se generan las celdas galvánicas que actúan liberando electrones durante la reacción de oxidorreducción dando paso al desprendimiento continuo del material a nivel superficial (Preciado & Lozada, 2008).

En este sentido, habitualmente los procesos de corrosión se presentan a través de agentes externos, como la acción directa de las lluvias, cloruros sales, las emisiones provenientes del tráfico vehicular y la industria (óxidos de nitrógeno NO_x y azufre SO_x) (Sharma & Sharma, 2011; Téllez et al., 2006). Por lo tanto, la corrosión de los metales se puede intensificar en el contexto de la problemática climática y ambiental actual que atraviesa el planeta, como ejemplo se encuentra la lluvia acida compuesta por NO_x y SO_x que acelera el proceso de corrosión del acero (Castillo & Lucar, 2021; Rocca & Mirambet, 2007; Zornoza-Gómez, 2008).

Entre las principales repercusiones que se producen por la corrosión del acero se encuentran el establecimiento de microgrietas a nivel del hormigón y una agrupación de las tensiones de las fuerzas de tracción entre el esqueleto de acero y el hormigón, esto se genera por el incremento de los volúmenes de óxido ocasionados por la carbonatación y los cloruros derivados de la corrosión (Aperador et al., 2013; Morales, 2020). En tal virtud, se desencadenan diferentes alteraciones en la infraestructura como el desgaste en el revestimiento de hormigón, la disminución de la resistencia a las fuerzas de compresión y de la eficiencia de reclusión de las armaduras transversales y la flexión de las barras longitudinales (Guanoluisa & Tenempaguay, 2021; Di Sarno & Pugliese, 2020).

Es clave mencionar que el deterioro de infraestructuras inducido por la corrosión del acero es un problema a escala global que produce afecciones económicas considerables, que bordean los 16.000.000.000 de dólares anuales (Kenny & Katz, 2020). Aunque, en estudios anteriores

llegaron a considerar que las pérdidas económicas por la corrosión del acero a nivel general ascienden a 1.100.000.000.000 de dólares únicamente en el 2016 (Gómez, 2019). Consecuentemente, en diferentes investigaciones se aborda la problemática del diagnóstico, evaluación, prevención y regeneración de las afecciones a las propiedades de acero ocasionadas por la corrosión (Gómez, 2019; Guanoluisa & Tenempaguay, 2021; Guerrero et al., 2014).

El acero grado 60 presenta un esfuerzo a fluencia de 4200kg/cm², por lo que, si aumentamos el área de acero, la fuerza de tracción será mayor, pero si disminuye, esta también disminuirá, por lo que es evidente que, al tener cierto grado de corrosión se afectará en su resistencia (Torres & Novegil, 2019). En este tenor, dentro de los principales análisis para evaluar la resistencia del acero, se encuentra el ensayo de tracción, de extensa aplicación en las pruebas mecánicas de tensión-deformación; dicha prueba es realizada para obtener las propiedades tanto la ductilidad como la resistencia de diferentes materiales metálicos (aluminio y probetas de acero) (Ospino & Martínez, 2021).

En la mayoría de las situaciones, se observa que la corrosión del acero puede empezar mucho tiempo antes de que las estructuras alcancen periodos críticos, observándose afecciones en estructuras menores a 10 años, en donde se disminuye el periodo de servicio que puedan prestar las mismas debido al inadecuado manejo de materiales, las inoportunas prácticas de construcción y ausencia de normativa de durabilidad (Guanoluisa & Tenempaguay, 2021; Torres et al., 2010; Torres-Acosta & Martínez-Madrid, 2006).

En el caso ecuatoriano se evidencia que, generalmente las obras civiles son suspendidas o paralizadas debido a diferentes circunstancias como: situaciones concursales, impago al contratista, deficiencias técnicas del proceso constructivo, falta de presupuesto, etc. En este hilo, se producen largos periodos de tiempo en los que, los elementos estructurales quedan expuestos a la intemperie, produciendo afecciones a las propiedades del acero por la acción de agentes externos que fueron descritos en párrafos anteriores (Guanoliquín-Anasi, 2018).

En la ciudad de Cuenca existen varias edificaciones que han sido suspendidas y nuevamente retoman sus actividades de construcción después de un periodo de tiempo, sin ejecutar ningún análisis respecto a la variación de las propiedades mecánicas que pudo haber sufrido el acero por efecto de la intemperie, representando un riesgo, que puede tener desenlaces fatales, al considerar que el Ecuador se encuentra ubicado en una zona sísmica, por lo que el peligro de colapso estructural se intensifica (Guanoluisa & Tenempaguay, 2021; Pazmiño & Calle, 2021).

De acuerdo con el análisis normativo global, es necesario destacar a las normas: ACI 318-14/318-19 y ASTM A615, en donde se menciona que, en diferentes investigaciones se ha reportado que una cantidad limitada de óxido, dentro de los rangos normales, permite aumentar la adherencia al concreto; por lo que, la presencia de óxido o irregularidades de corrugación no serán motivo de rechazo. En este argumento, si se denota la presencia de corrosión en las varillas, estas deberán ser analizadas mediante la extracción de probetas de varillas de acero en donde se debe verificar si se conserva por lo menos el 94% de su masa nominal; en tal sentido, cuando se encuentren varillas que han sufrido la acción de la intemperie, el óxido presente en estas no debe ser retirado hasta que se aplique el análisis correspondiente (ACI Committee 318, 2019; Standard, 2004).

Respecto a la normativa regional, es pertinente destacar a la norma brasileña NBR7480 acápite 4.3, en donde se sostiene que las barras y alambres de acero destinados para el reforzamiento de las estructuras, deberán estar libres de defectos perjudiciales como: escamas, corrosión, aceite, reducción de sección transversal, entre otros. Por lo que, en caso de existir dudas, el material deberá ser sometido a ensayos de laboratorio y determinar sus respectivas propiedades mecánicas (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007). Entrando en el marco nacional, se encuentra a la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-HM, que hace referencia a las estructuras de hormigón armado; en esta se menciona que los elementos estructurales como columnas muros y vigas, deberán tener un traslape mayor a 30 veces el diámetro de la varilla de refuerzo, por lo que durante ese periodo de tiempo de suspensión de la obra civil los elementos estructurales quedan expuestos a la intemperie adquiriendo los procesos corrosión (INEN, 2015).

Por otra parte, entre los tratamientos que existen para la prevención y el control corrosión del acero se encuentra Mapefer 1k. el cual es un mortero mono componente, combinado por: polímeros en polvo, inhibidores de la corrosión y conglomerantes cementosos; este se coloca sobre las estructuras de acero para prevenir el surgimiento de óxido que conduce a la corrosión. La acción de dicho producto se da en el resguardo anticorrosivo del acero y facilitar la adherencia a morteros utilizados en la reparación del hormigón; por ello es empleado en la limpieza de armaduras con la ayuda de agua y arena, previo a la aplicación del producto, este debe ejecutarse mediante una brocha con dos manos de pintura las cuales deben ser aplicados con una diferencia mínima de dos horas (Mapefer 1K, 2020).

Asimismo, existen otro tipo de soluciones para la corrosión que afecta a las estructuras como el empleo de acero inoxidable, el cual es un acero normal combinado con otros metales como el cromo o el níquel; aunque, los costos del acero inoxidable hacen que este no sea útil en la práctica con excepción de pequeñas piezas como pernos; por otra parte, se destaca el recubrimiento del acero con el zinc, el cual es un metal que generalmente se presenta galvanizado y se muestra como la forma más eficaz de proteger pequeñas estructuras de acero como varillas, cadenas, tuberías, mordazas, etc. En el caso de las varillas, estas son sumergidas en baños de zinc que se ejecutan únicamente por talleres especializados (Miró, 2016; Sciortino et al., 1996).

En este tenor, es clave tener presente que, para la protección del acero se genere los ánodos de zinc ya que actúan prologando la vida útil de la estructura del acero frente a la acción de la intemperie; no obstante, los componentes del aluminio en presencia de acero afectado por la humedad, son susceptibles a la corrosión galvánica (M & C Ingeniería y Construcción, 2020; Sciortino et al., 1996).

Dentro de las soluciones de alto costo también se encuentra el recubrimiento de las varillas con plásticos especializados los cuales presentan la propiedad de resistencia a las afecciones atmosféricas dando protección al acero frente a la corrosión; en estos es necesario tener presente el tiempo de aplicación, pues suelen desgastarse con la acción del sol (M & C Ingeniería y Construcción, 2020; Sciortino et al., 1996).

En contra parte, entre las soluciones más prácticas de menor costo, se encuentran pintar el acero con pinturas especiales; durante este proceso se requiere que las superficies a pintar presenten una limpieza y cepillado previo, este proceso también puede ejecutarse con la ayuda de arena; habitualmente se utiliza pintura hepoxica (M & C Ingeniería y Construcción, 2020; Sciortino et al., 1996).

Dentro del tratamiento de pintar el acero, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos: las pinturas caseras normales no son útiles para ambientes de alta humedad; aditivos como el queroseno, el diésel y la gasolina habitualmente, presentan incompatibilidad química con las pinturas resistentes a la humedad como las pinturas marinas por lo que se vuelve indispensable consultar respecto a los diluyentes correctos (M & C Ingeniería y Construcción, 2020; Sciortino et al., 1996).

Por tal motivo, el presente estudio se ha planteado como objetivo general determinar cómo actúan las varillas de refuerzo que presentan corrosión, por medio de ensayos de tracción de diferentes probetas, para establecer la seguridad de construcción en edificaciones suspendidas en un periodo de tiempo. Entonces, se procedió con la identificación de edificaciones suspendidas de al menos 2 años dentro de la ciudad de Cuenca para la recolección de probetas de varillas de acero, en donde se recogieron las muestras para posteriormente realizar los ensayos de tracción; finalmente, se establecieron las diferencias de las propiedades mecánicas entre las muestras y se infirió en la afección que puede darse por la corrosión, comparando varillas en estado natural y desgastadas. Además, se ejecutó un análisis de los criterios de los profesionales de la ciudad respecto a los tratamientos para la protección y prevención de la corrosión del acero.

Desarrollo

La presente investigación se define como exploratoria descriptiva, debido a que intenta explicar el fenómeno de la corrosión, y su variación en el tiempo; es así como, se partió de la recolección de muestras de varillas sin tratamiento que se encontraban expuestas a la intemperie de infraestructuras suspendidas en periodos de 2 a 5 años, con la ayuda de guantes y sierras metálicas. En consecuencia, se tomaron seis muestras de longitudes comprendidas entre los 30 a 45 cm, y una variación de diámetro de 8 a 12mm. Ver Figura 1.

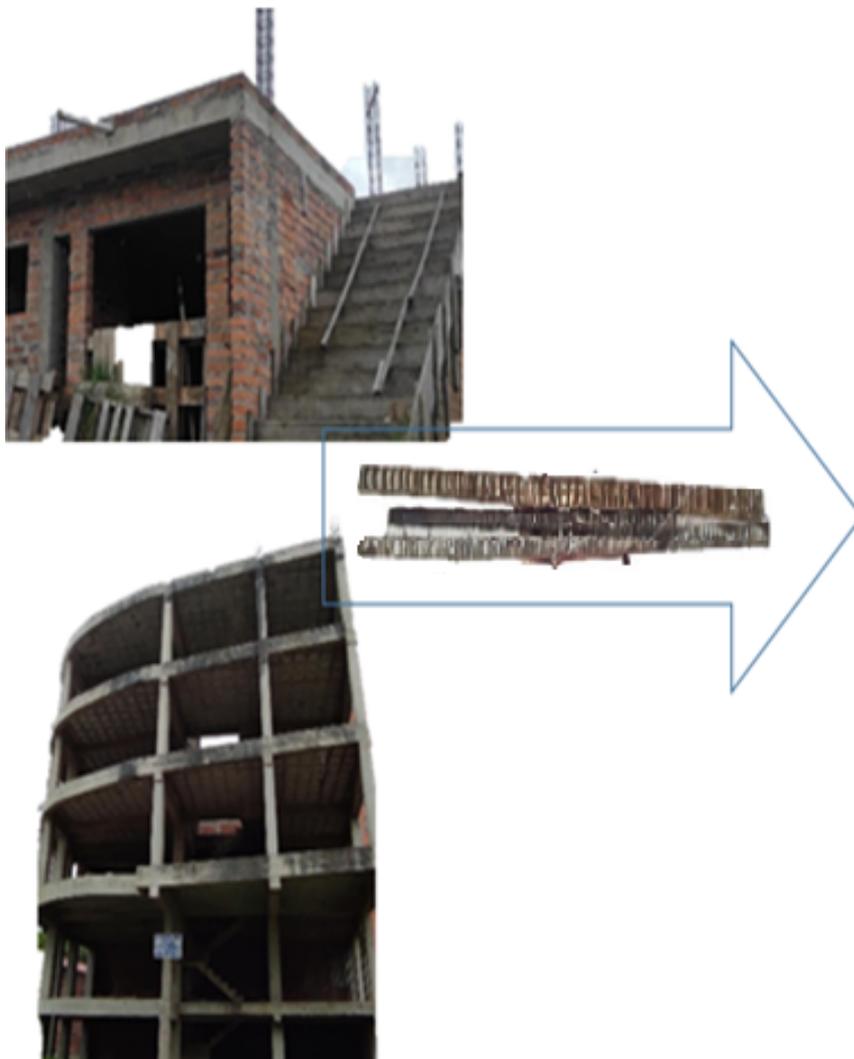


Figura 1. Infraestructuras seleccionadas y muestras colectadas.

Por otra parte, se adquirió 4 varillas corrugadas en estado normal, dos de ellas corresponden a diámetros de 10 mm y las restantes de 12mm. La finalidad de la recolección de estas muestras

de varillas es realizar el mismo análisis que las varillas con presencia de corrosión, y evaluar el comportamiento de las mismas con las corroídas.

Ensayo de Tracción

Dicho análisis es regulado por las normativas DIN 53455, ISO/DP 527, ASTM y se ejecuta para estudiar las propiedades mecánicas de los metales, como la ductilidad y la resistencia; asimismo, esta prueba es válida para el establecimiento de los límites de deformación hasta el punto de rotura que se genera por acción de una carga de tracción a lo largo del eje de la probeta (Prieto, 2019). Este ensayo se ejecutó mediante una máquina de tracción de la marca: PINZUAR, modelo: 1 PU-1000 serie: 110, con una capacidad de 1.000kN, flexómetro y un calibrador empleados en la medición de los fragmentos de las varillas.

En tal virtud, es posible establecer el límite de fluencia actual de las varillas, entendido como el fin de la zona elástica de dicho material para dar paso a la zona plástica; entonces, el ensayo de tracción se da por terminado cuando el material llega a su rotura. Ver Figura 2.



Figura 2. Ruptura de varillas en el ensayo de tracción.

En congruencia, al finalizar el ensayo de tracción de las diferentes muestras se obtiene el porcentaje de elongación, el cual representa el porcentaje máximo que el material puede

estirarse sin fracturarse. En este tenor, de acuerdo con la tabla 20.2.1.3 (c) del ACI 318/19 se subraya que la elongación mínima será de al menos 9% para las barras No. 3 al No. 10.

Tabla 1. Requisitos de elongación uniforme para el grado 60.

Grado 60	
Número de barra	Porcentaje mínimo de elongación uniforme
3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10	9

Obtenido de: ACI Committee 318. (2019)

En este sentido, para el cálculo del porcentaje de elongación se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%EL = \frac{L_f - L_0}{L_0} * 100$$

Donde:

Lf: Longitud final de la probeta después del ensayo de tracción.

L0: Longitud inicial de la probeta antes del ensayo de tracción.

Evaluación de Conocimientos de Profesionales de la Construcción a cerca de Tratamientos para el Control y Prevención de la Corrosión

Para la determinación de los conocimientos que tienen los profesionales de la construcción, se aplicó una encuesta a 25 de ellos, conformada del 96% de ingenieros civiles y el 4% de arquitectos; la encuesta estuvo configurada por cinco preguntas, de las cuales las cuatro primeras se comportaron como un prelude que permitía abordar los tipos de tratamientos empleados para la prevención y corrosión del acero. La encuesta se aplicó mediante GOOGLE FORMS, configurando para receptor una sola respuesta, y las encuestas se enviaron por medios digitales.

Análisis de Datos



El procesamiento de la información se ejecutó mediante Microsoft Excel 2016, en este argumento, se aplicó estadística descriptiva que permitió distinguir las diferencias en los rangos de deformación, entre varillas expuestas a la intemperie en diversos periodos de tiempo.

Resultados y Discusión

Análisis de Tracción en varillas con presencia de corrosión

Los resultados del ensayo de tracción para las diferentes muestras de las varillas extraídas de edificaciones se muestran en la Tabla 2, donde se observa que las muestras A, B y C superan los cinco años de exposición a la intemperie y representan el 50% de las varillas analizadas; asimismo, del restante, dos de ellas tienen un tiempo de exposición de tres 3 años a la intemperie siendo las muestras E y F. mientras que, la varilla D con un diámetro de 12 mm, corresponde a una exposición a la intemperie de dos años.

Tabla 2. Resultados de ensayos de tracción varillas con corrosión

	A	B	C	D	E	F
Tiempo en la intemperie (años)	> 5	> 5	> 5	2	3	3
Ø mm	8	9	11,5	12	9	9
L0 cm	24	40,3	39,8	31,1	30,4	30,1
Lf cm	24,7	41,1	43,8	35	31,8	31,7
% elongación	2,92%	1,99%	10,05%	12,54%	4,61%	5,32%
Límite de fluencia MPa	216,85	330,09	398,58	367,83	253,08	438,56
Límite de fluencia kg/cm ²	2211,25	3366,1	4064,4	3750,8	2580,7	4472,1
Carga máx. kN	10,9	24,1	71,1	59,8	20,1	32,8

En este contexto, de acuerdo con lo señalado en la Tabla 1 dentro del apartado de la metodología, se disponen los requisitos de elongación uniforme del ACI, mencionando que el porcentaje mínimo de elongación para las muestras seleccionadas no debe superar el 9%, consecuentemente, solamente las varillas de las muestras C y D estarían cumpliendo con este parámetro, las cuales exhibieron los valores del 10,05% y 12,54% respectivamente. De esta forma, se observa que existe valores de elongación relativamente bajos para el resto de las muestras, como es el caso de la muestra B que alcanza el porcentaje del 1,99%, definido como el rango más crítico del análisis.

En tal virtud, se observa que las construcciones, en donde fueron tomadas las muestras presentarían problemas con el marco regulatorio de las construcciones en el Ecuador, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-HM, en la cual se destaca que las estructuras de hormigón armado, se requiere que los elementos que conforman el esqueleto estructural de la construcción, como vigas y columnas, deberán poseer una cobertura mayor a 30 veces el diámetro de la varilla de refuerzo, dejando ver que no se han cumplido los condicionantes exigidos en la norma, por lo que la varillas de refuerzo sufrieron de corrosión, generando severas afecciones a las propiedades mecánicas del acero (INEN, 2015).

En este sentido, es necesario referirse al valor límite de fluencia del acero grado 60, el cual fue referido en la introducción y es de 4200 kg/cm², este valor manifiesta el esfuerzo que puede tolerar el acero sin que se deforme permanente y este pueda regresar a su estado natural (Torres & Novegil, 2019). En consecuencia, se puede manifestar que el 83,33% de las muestras presenta incumplimiento del parámetro descrito debido a la corrosión, estas son las varillas A, B, C, D y E. es así que, se puede destacar que dichas probetas representan un riesgo para la construcción, debido a que se encuentran fuertemente vinculadas con el peligro de colapso estructural (Guanoluisa & Tenempaguay, 2021; Torres et al., 2010; Torres-Acosta & Martínez-Madrid, 2006).

Por otra parte, en la Figura 3, es posible distinguir la relación del resultado del esfuerzo vs la deformación unitaria obtenidos en el ensayo de tracción de las varillas con presencia de corrosión; donde se aprecia que el rango de la zona plástica para todas las muestras se encuentra en los valores de 0 a 0.015 de la deformación unitaria; en este hilo, se identificó que las muestras A, B, E y F presentan una deformación unitaria por debajo del 6% antes de llegar a rotura. Asimismo, para las muestras C y D existe una deformación unitaria dentro del rango 11% al 15% antes de su rotura.

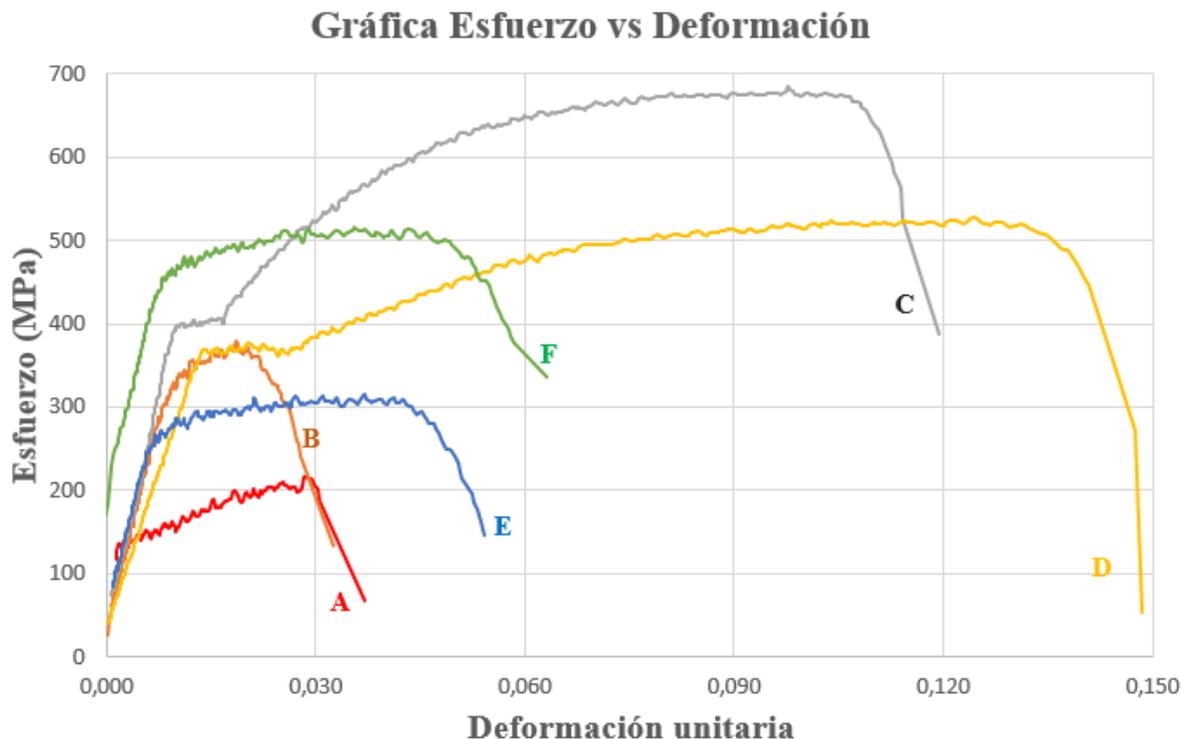


Figura 3. Grafica Esfuerzo vs. Deformación de varillas con presencia de corrosión

Análisis de Tracción en varillas sin presencia de corrosión

En la Tabla 3, se puede apreciar los resultados finales del ensayo de tracción para las 4 varillas en estado normal, es decir sin presencia de corrosión. En detalle se destaca que, tres muestras están cumpliendo con el valor elongación, superando el 9%, siendo estas las muestras M1, M2 y M3, con diámetro de 10mm, 10mm y 12mm respectivamente. Asimismo, se observa que la muestra M1 no cumple con dicha elongación por una diferencia del 0,29% cuyo diámetro es de 12 mm. Consecuentemente se puede observar que estas muestras obtenidas en estado normal sin presencia de corrosión, soportan mayor esfuerzo antes de llegar a su rotura en comparación de las varillas que presentan corrosión las cuales tienen valores más bajos de esfuerzos.

Tabla 3. Resultados de ensayos de tracción, varillas sin corrosión

	M1	M2	M3	M4
Tiempo en la intemperie (meses)	< 3	< 3	< 3	< 3
Ø mm	10	10	12	12
L0 cm	45,2	45,6	44,5	44,8
Lf cm	50	50,3	49,1	48,7
% elongación	10,62%	10,31%	10,34%	8,71%
Límite de fluencia MPa	301,78	301,78	396,12	403,19
Límite de fluencia kg/cm ²	3077,31	3077,30	4039,3	4111,43
Carga máx. kN	37,4	37,2	65,8	65,3

Por otra parte, en la Figura 4 que representa la gráfica del esfuerzo vs deformación de las varillas en estado normal, se observa que las zonas plásticas para todas las muestras presentan valores por debajo de 0,01 de la deformación unitaria, y valores entre el 0,08 y 0,115 antes de llegar a su rotura.

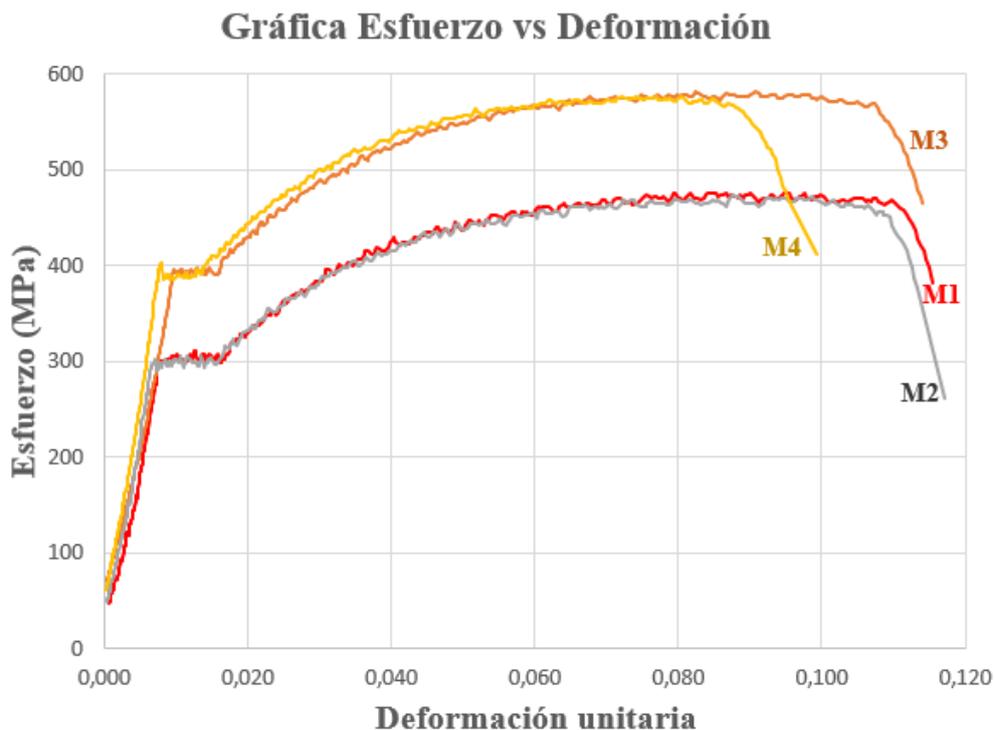


Figura 4. Grafica Esfuerzo vs. Deformación de varillas sin presencia de corrosión

En consecuencia, se puede expresar que la influencia del factor tiempo no pudo ser identificada en el presente estudio, pese a que los tiempos de exposición a la intemperie de estas varillas difiere. Por lo tanto, no se pudo constatar el postulado de que mayores tiempos de exposición a los impactos atmosféricos, actúa generando mayor corrosión, en el acero (Preciado & Lozada, 2008). Es así como, se presume que existen otras variables que pueden estar incidiendo en la corrosión además del tiempo, como: la humedad, la presión y la presencia de contaminantes atmosféricos, que pueden explicar que la corrosión del acero, no se encuentra definida únicamente por el tiempo (Chica et al., 2019; Schmiedl & Audelo, 2017).

Valoración de los Conocimientos de Tratamientos para la Prevención y Control de la Corrosión

Dentro de la Figura 4, es posible apreciar que el 52% de los encuestados, mencionan no tener conocimientos respecto a los tratamientos para la prevención y el control de la corrosión en el acero; no obstante, es importante destacar que el tratamiento con pintura especial, alcanza el mayor rango de menciones entre los tratamientos; esto puede estar explicado, dentro de los costos involucrados en dicha medida, que la convierten en una solución práctica para la prevención y control de la corrosión; aunque, es pertinente destacar que esta solución puede

perder la eficacia por el tiempo de exposición a los impactos de atmosféricos (M & C Ingeniería y Construcción, 2020; Sciortino et al., 1996).

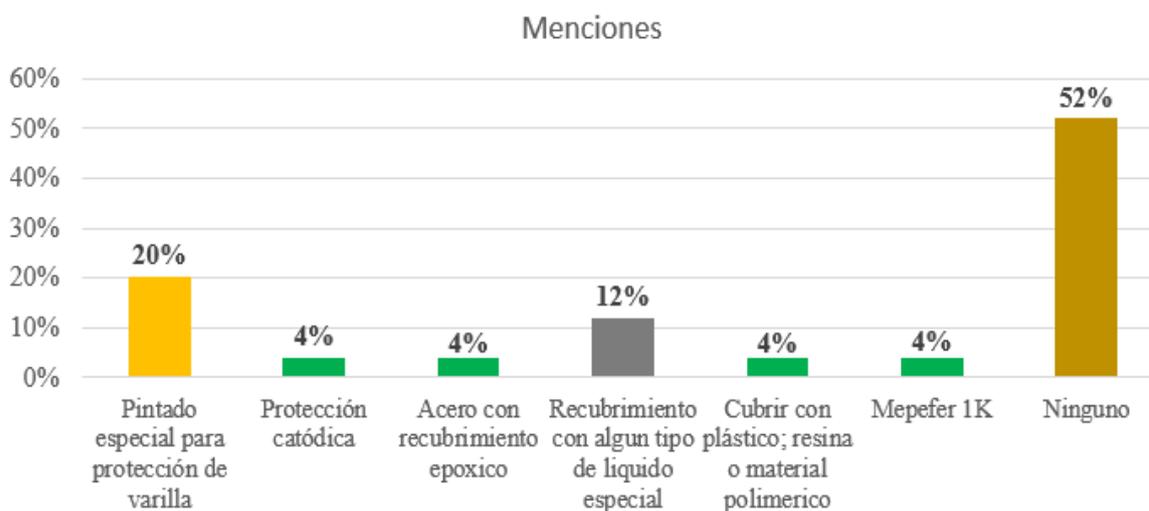


Figura 4. Tratamientos para el control y prevención de la corrosión.

Igualmente, se puede inferir que el tratamiento señalado como recubrimiento con algún tipo de líquido especial, alcanza el 12% de las menciones, dicho tratamiento, puede integrarse en una sola categoría con el tratamiento de pintado especial, en donde, dicha medida alcanzaría el 32% justificando el rango de menciones, por factores de tiempo, costo y aplicación (M & C Ingeniería y Construcción, 2020; Sciortino et al., 1996).

También, se encontró que los tratamientos de protección catódica, acero con recubrimiento epoxico, el recubrimiento del acero con plástico, polímeros y resina, y el Mepefer 1K, alcanzan el 4% de menciones cada uno y el 16% en la sumatoria de dichos tratamientos; esta cifra representa el 50% del tratamiento asociado con pinturas y líquidos especiales, dejando ver las preferencias, económicas y prácticas de los profesionales de la construcción (M & C Ingeniería y Construcción, 2020; Sciortino et al., 1996). Aunque, diferentes autores, postulan que estos tratamientos, poseen mayor efectividad y duración, para el control y prevención de la corrosión del acero (Mepefer 1K, 2020; (M & C Ingeniería y Construcción, 2020; Sciortino et al., 1996).

Además, es necesario destacar que ningún profesional de la construcción, menciona al uso de limpiadores de arena, como tratamiento de prevención y control de la corrosión de varillas de acero; en este tenor, el estudio de: Preciado & Lozada, (2008), destacan que el empleo de chorros de arena, es de gran utilidad para la limpieza de óxido que actúa como precursor de la corrosión.

Conclusiones

- Se puede concluir que los valores de la resistencia de las varillas disminuyen a partir de los dos años al estar expuestas a la intemperie en condiciones normales sin embargo esto puede acelerarse en condiciones de clima extremo.
- La menor resistencia de límite de fluencia se presentó en la muestra A, cuyo valor es de 216,85 Mpa, con un tiempo de exposición en la intemperie mayor a 5 años, lo que quiere decir que a partir de ese periodo las varillas corrosionadas pueden perder hasta un 50% de su resistencia.
- Dentro del análisis de las varillas en estado normal (sin presencia de corrosión) tales muestras se presentan expuestas a la intemperie por menos de 3 meses, se puede establecer que dicho tiempo no influye en su resistencia de forma significativa; ya que las mismas superan el porcentaje de elongación del 9% como establece la normativa del ACI 318/19.
- Se recomienda considerar necesario implementar un análisis de la resistencia del acero en obras suspendidas, cuyo tiempo sea mayor a un año, con la finalidad de disminuir riesgos estructurales.
- Para futuras investigaciones se recomienda investigar sobre la implementación procesos de protección en el acero para comprobar si se disminuye el riesgo de corrosión.
- Finalmente, dentro del análisis ejecutado a los profesionales de la construcción con respecto a tratamientos para el control y la prevención de la corrosión del acero, se reportó la preocupante cifra de que más de la mitad de los encuestados no tenía conocimiento de los mismos; dejando ver una deficiencia en dicha temática; sumado a estos, los factores socioeconómicos y legales que provocan la paralización de las construcciones, convirtiendo a la corrosión de las varillas de acero, en un problema sistémico, que demanda preocupación y actuación urgente.

Referencias bibliográficas

- ACI Committee 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-19)*. In American Concrete Institute.
- Aguiar, R., Zevallos, M., Alacios, J., García, L., & Menéndez, E. (2016). *Necesidad de Reforzar las Estructuras Afectadas por un Terremoto*. *RIEMAT*, 1(1), 17-25.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2007). *NBR 7480 : Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificação*. In *Associação Brasileira De Normas Técnicas* (p. 17).
- Aperador, w., Gordillo, M., & Bautista, J. (2013). *Evaluación de la 106 corrosión del acero embebido en concreto AAS, expuesto a carbonatación mediante un experimento factorial con medidas repetidas*. *Ingeniería y Ciencia*, 9(17), 237– 260.
- Borraro, M., & Morales, E. (2004). *Durabilidad de los herrajes metálicos en la construcción en madera*. *Universidad de Sevilla*, 321p.
- Castillo, M., & Lucar, J. (2021). *RESISTENCIA Y CAPACIDAD DE ADHERENCIA CON EL CONCRETO DEL ACERO DE REFUERZO SOMETIDO A AGENTES CORROSIVOS*. *Universidad Andina del Cusco, Tesis de Grado de Ingeniería Civil*, 464p.
- Chica, L., Rocha, J., Martínez, J., & Cabascango, P. (2019). *Análisis del sistema de producción y caracterización microestructural para evaluar el comportamiento mecánico de chasis de vehículo fabricado por extrusión*. *Ciencia Digital*, 3(1), 461-486.
- del Olmo, C. (1970). *corrosión de tuberías*. *Informes de la Construcción*, 23(226), 65-76.
- Di Sarno, L., & Pugliese, F. (2020). *Numerical evaluation of the seismic performance of existing reinforced concrete buildings with corroded smooth rebars*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18, 4227–4273.
- Dueñas, F. (2020). *Evaluación Estructural de acuerdo con las Normas NEC Y FEMA de la Estación de Bomberos del Cantón Jama Provincia de Manabí, Ecuador*. *Revista científico - profesional*, 380-397.
- Fuentes, M., & Torralbo, J. (2017). *Estudio de los riesgos para la salud asociados a la construcción naval con acero y aluminio*. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 175.
- Gómez, G. (2019). *Pérdida de ductilidad por corrosión del acero de refuerzo embebido en HPC agrietado que contiene CNI*. *Instituto Politécnico Nacional, Tesis de Maestría en Ciencias*, 161p.
- Guanoliquin-Anasi, E. (2018). *Estudio experimental de la influencia de la oxidación en la capacidad de adherencia de las varillas corrugadas utilizadas como acero de refuerzo en el hormigón, mediante el ensayo Pull Out*. *Escuela Politécnica Nacional, Tesis de grado de Ingeniería Civil y Ambiental*, 179p.

- Guanoluisa, J., & Tenempaguay, A. (2021). *MODELADO Y SIMULACIÓN DEL IMPACTO DE USOS DE INHIBIDORES DE CORROSIÓN EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO*. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Tesis de Grado de Ingeniería Civil, 258p.
- Guerrero, J., Montoya, H., Rodríguez, F., De la Cruz, M., & Antonio, M. (2014). *Identification and Assessment of the Risk of Corrosion in Reinforced Concrete Structures in Industrial Plants Subjected to an Acidic Environment*. CPC, 664-665.
- INEN. (2015). *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN NEC-SE-HM ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO*. Quito: Gobierno del Ecuador.
- Jelpo, P., & Padilla, L. (2009). *Patología en elementos estructurales. Madera, acero y muro portante cerámico*. 34. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/4352/5/JEL65.pdf>
- Kenny, A., & Katz, A. (2020). *Steel-concrete interface influence on chloride threshold for corrosion – Empirical reinforcement to theory*. *Construction and Building Materials*, 244p.
- M & C Ingeniería y Construcción. (2020). *Protección contra la Corrosión*. Obtenido de Tratamiento de protección anticorrosivo: <https://www.estructurasmetalicascolombia.com/mantenimiento-de-estructuras/proteccion-contra-la-corrosion>
- Mapefer IK. (2020). *Soluciones en Concreto*. Obtenido de ¿Cómo proteger las varillas de la corrosión?: <https://www.ctres.mx/blog/como-proteger-las-varillas-de-la-corrosion/#:~:text=Para%20proteger%20las%20varillas%20de,prevenir%20la%20formaci%C3%B3n%20de%20oxido>.
- Mendoza, D. N., Zamora, H. L. H., Zamora, M. A. B., & Cisneros, J. C. B. (2008). *Análisis estadístico de factores que permiten la corrosión en vigas de concreto reforzado expuestas al medio ambiente*. ATICTAC.
- Miró, L. (11 de Mayo de 2016). *Cómo reparar (o no) las varillas oxidadas del hormigón*. Obtenido de PRONTUBEAM: https://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=28
- Morales, E. (2020). *Estado de conservación del acero para evitar la expansión del concreto armado de una edificación, centro vacacional Huampani-Lima 2020*. Universidad César Vallejo, Tesis de Grado de Ingeniería Civil, 57p.
- Ospino, F., & Martínez, J. (2021). *Análisis de los efectos de la corrosión en el comportamiento estructural para una edificación aporticada convencional de concreto reforzado en Colombia*. Corporación Universidad de la Costa, 216p.
- Pazmiño, E., & Calle, C. (2021). *Análisis relativo para identificar las causas de retrasos en las obras de construcción. Caso de estudio Cuenca-Ecuador*. *Ciencia Digital*, 5(2), 6-15.
- Preciado, D., & Lozada, J. (2008). *Construcción de una cabina para limpieza superficial de probetas de soldadura mediante chorro de arena (sand blasting)*. Escuela Politécnica Nacional, 125p.

- Rocca, E., & Mirambet, F. (2007). *Corrosion inhibitors for metallic artefacts: Temporary protection. Corrosion of Metallic Heritage Artefacts. Investigation, Conservation and Prediction of Long Term Behaviour*, 308–334.
- Schmiedl, E., & Audelo, F. (2017). *Diseño y construcción de una cámara de niebla salina mediante la norma ASTM B-117 para ensayos de corrosión para la carrera de Ingeniería Química de la ESPOCH. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo*, 133p.
- Sciortino, J., Barcali, A., & Carlesi, M. (1996). *COMO EVITAR LA CORROSION*. Obtenido de *COMO EVITAR LA CORROSION*: <https://www.fao.org/3/v5270s/V5270S08.htm>
- Sharma, S., & Sharma, A. (2011). *Green Corrosion Inhibitors: Status in Developing Countries. Green Corrosion Chemistry and Engineering. Opportunities and Challenges*, 157–180.
- Standard, T. O. (2004). *Standard Specification for Deformed and Plain Carbon Steel Bars for Concrete*. 1–6. <https://doi.org/10.1520/A0615>
- Téllez, J., Rodríguez, A., & Fajardo, A. (2006). *Contaminación por monóxido de carbono: un problema de salud ambiental. Revista de Salud Pública*, 8(1), 108–117.
- Torres, A., Martínez, W., Lomeli, M., & Pérez, A. (2010). *Adiciones en base a cactus como inhibidor de corrosión para acero de refuerzo en concreto. Querétaro: Secretaria de Comunicaciones y Transportes Instituto Mexicano Del Transporte*.
- Torres, C., & Novegil, A. (2019). *Importancia de una adecuada supervisión técnica sobre el acero de refuerzo durante la ejecución de construcciones de edificaciones. Universidad Católica de Colombia, Tesis de Grado de Ingeniería Civil*, 153p.
- Torres-Acosta, A., & Martínez-Madrid, M. (2006). *Diseño de estructuras de concreto con criterios de durabilidad. Society*, 25(181), 195–202.
- Zornoza-Gómez, E. (2008). *Corrosión de Armaduras en Estructuras de Hormigón Armado. Madrid: Editorial Club Universitario*.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior, tesis, proyecto, etc.