



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
T U N J A



Vigencia por seis años

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto Semillero de Investigación

ANÁLISIS DEL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN EN ACEROS DE TIPO
ESTRUCTURAL DESDE EL PUNTO DE VISTA DE SU USO EN LA INDUSTRIA DE LA
INGENIERÍA CIVIL.

Autor

JOSÉ LEONARDO SÁNCHEZ MONDRAGÓN

Director/Orientador

ING. SANDRA CONSUELO DÍAZ BELLO

Ph. D. Ingeniería - Ciencia y Tecnología de los Materiales

Tunja, Septiembre de 2019

INFORME: ANÁLISIS DEL FENÓMENO DE LA CORROSIÓN EN ACEROS
DE TIPO ESTRUCTURAL DESDE EL PUNTO DE VISTA DE SU USO
EN LA INDUSTRIA DE LA INGENIERÍA CIVIL.

JOSÉ LEONARDO SÁNCHEZ MONDRAGÓN



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SEMILLERO DE INVESTIGACIÓN

TUNJA

2019

Resumen

El mineral de hierro es uno de los elementos que más predominan en nuestro planeta sobre la corteza terrestre y el cual al ser transformado mediante una aleación con el carbono forman el material que conocemos comúnmente como el acero. Hay diversas formas de identificar y clasificar este tipo de material dependiendo de su uso, ya sea doméstico, industrial o para construcciones civiles. A pesar de que el acero que más ha tenido uso en la ingeniería civil es el acero al carbono, hoy en día han surgido técnicas de transformación de este material que lo han convertido y han permitido potenciar todas sus propiedades tanto físicas como mecánicas.

En esta investigación se hizo un análisis, relacionando a los tres tipos de aceros más comunes y utilizados para la fabricación de estructuras metálicas (acero al carbono, acero inoxidable y acero autoprotector), haciendo referencia principalmente a los dos últimos dado su grado de uso tanto en la industria y el comercio como en la ingeniería civil y haciendo énfasis en el fenómeno de la corrosión. Se determinó como afectan sus velocidades de corrosión, sus propiedades y características, todo esto teniendo en cuenta la información obtenida mediante una revisión bibliográfica sobre procesos experimentales, ensayos y pruebas de laboratorio, destacando sobre todo técnicas y métodos de análisis como: metalografía de los metales, fases y microconstituyentes, micrografías entre otros. Por medio del análisis de la corrosión entre los diferentes tipos de acero mencionados, se observó una notable diferencia entre el efecto que causa esta lesión y los factores que predominan en ella; es de vital importancia tener en cuenta este aspecto ya que define la calidad del material en el momento de ser utilizado como materia prima sobre todo en el campo de la ingeniería en el diseño de estructuras metálicas (especialmente puentes) dado todos los factores ambientales - atmosféricos, sociales y económicos que influyen en su vida útil.

Introducción

A medida que avanza el tiempo se descubren nuevas tecnologías que permiten desarrollar nuevos materiales capaces de trabajar bajo condiciones más agresivas, dado el caso del láser investigado en las últimas décadas (Guadalupe, 2014), el cual permite moldear el acero y otro tipo de materiales metálicos, permitiendo obtener superficies más resistentes, debido a lesiones como el desgaste, corrosión y oxidación (Rodríguez, Checa, & De Damborenea, 2005). Es usual utilizar esta tecnología para el tratamiento del acero inoxidable, ya que estos presentan una alta vulnerabilidad a la oxidación cuando trabajan a altas temperaturas.

Cuando un material metálico se daña y comienza un proceso de deterioro secuencial por su interacción con el ambiente que lo rodea se habla del fenómeno de la corrosión. Esta patología que sufren las diferentes estructuras metálicas está ligada a muchos factores ambientales que la aceleran o retrasan según el caso. La corrosión deriva del término latín *corro dere* que significa daño gradual, prácticamente se refiere a la destrucción parcial o total del material expuesto que pasa por un proceso de interacción electroquímica. Particularmente la corrosión es también un estado en el cual los metales tienden de volver a su estado natural (Lycett & Hughes, 2018). La corrosión trae consigo un proceso llamado pasivación que consiste en la formación de una capa de óxido superficial en el metal expuesto y que a su vez lo ayuda para su protección de agentes externos que puedan incrementar este problema; los aceros autoprotectores son un referente positivo de este tipo de corrosión (Loto, 2018). Cuando se habla del deterioro de estructuras metálicas comúnmente se hace referencia a una de sus mayores patologías, señalando la corrosión como la mayor causa de su deterioro prematuro. Es por ello que el uso del acero inoxidable como alternativa de solución y prevención, pero sobre todo utilizado como refuerzo alternativo en

elementos estructurales de concreto, ha sido de buena ayuda permitiendo encontrar alternativas más económicas (González, 2008). Al utilizar acero inoxidable como parte del refuerzo se considera una acción preventiva que trae como resultado una esperanza de vida útil de más de 75 años (Valencia, 2012). Hay autores que se han dedicado al análisis de este material en profundidad (Sádaba, Martínez, & Sánchez, 2005) y en los ensayos que han obtenido, las velocidades de corrosión registradas presentaron diferencias considerables entre los diferentes tipos de aceros analizados.

Existe otro tipo de aceros llamados auto protectores, los cuales permiten una buena soldabilidad y trabajabilidad en frío y en caliente. Poco se ha explorado en la posibilidad de combinar sus propiedades anticorrosivas con las del cinc, con el fin de incrementar su vida útil (Aperador, Amaya, & Butista, 2012). La característica de los aceros autoprotectores es la formación de una capa adherente de herrumbre; dicha capa es la encargada de la protección del acero contra la corrosión. En los primeros estudios se ve que la corrosión atmosférica de los aceros al carbono y autoprotectores generan una herrumbre con las mismas características (Jaramillo, Calderón, & Guillermo, 2006). Las técnicas presentadas, en general, mostraron que existe una diferencia significativa en la composición y morfología de la herrumbre formada según el medio de exposición y el tipo de acero analizado (Pereira et al., 2007).

Este artículo tiene como objetivo realizar un análisis entre los aceros desarrollados en las últimas décadas (al carbón e inoxidable) y los actuales (autoprotector), mediante una revisión bibliográfica, basado en el estudio que han hecho los diferentes autores sobre el tema, enfatizando sobre su uso en estructuras y obras civiles y teniendo en cuenta la patología más relevante que afecta este material como es la corrosión.

Definición de la problemática

La corrosión en el acero y en otros metales, se produce porque hay una alteración y desgaste de sus propiedades físicas como la fuerza y resistencia por la continua exposición a los factores climáticos o externos logrando así que se deterioren sus moléculas y partículas. El avance de esta patología en los metales termina por completar la destrucción de forma parcial o total del material y es por ello que muchas estructuras en cualquier construcción se ven considerablemente afectadas produciendo accidentes y el mayor de los casos desastres que involucran la vida humana.

Pregunta de investigación:

¿Cómo afecta el fenómeno de la corrosión a los diferentes tipos de aceros estructurales (acero al carbón, acero inoxidable, acero autoprotector) desde el punto de vista de su uso en la industria de la ingeniería civil?

Objetivo general de la investigación:

Realizar un artículo de revisión que permita analizar las características y propiedades de los aceros estructurales (acero al carbono, acero inoxidable y acero autoprotector), teniendo en cuenta su análisis mediante la patología de la corrosión, así como conocer sus ventajas y desventajas de acuerdo a sus diferentes aplicaciones en la industria de la ingeniería civil.

Objetivos específicos:

- Establecer las diferentes características y propiedades de los aceros estructurales (acero al carbono, acero inoxidable y acero autoprotector).
- Analizar y comparar los diferentes aceros estructurales desde el punto de vista microscópico basados en la patología de la corrosión.

- Identificar las fases presentes que describen los diferentes tipos de aceros estructurales para definir el campo de aplicación de estos según sus características generales.

Estado del Arte

En la antigüedad la economía ibérica se basaba comúnmente en la agricultura y ganadería, sin embargo, debido a la colonización dada por los griegos y la caída del imperio romano en el siglo V la tecnología del hierro ya adaptada sufre una considerable evolución (Concha; Alejandro, 2010). Como lo expresaba T. Wertime en su investigación relacionada con la determinación de las diferentes etapas que conformaron la metalurgia del hierro en Grecia y su posterior extensión en Europa, incidió de forma clave para el desarrollo de su cultura (Wertime, 1973). El hierro se forjaba basado solamente en conocimientos empíricos; por ejemplo, para hacer lanzas se forjaban láminas de acero soldadas en caliente por martilleo (Simon, Tartera, Marsal, & Auladell i Marquès, 2005). Antiguamente fueron los artesanos quienes solían trabajar el mineral de hierro, producían aleaciones las cuales se identificarían como hierro forjado; esto lo hacían a partir de una técnica que implicaba calentar una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un gran horno.

Con la evolución del tratamiento del hierro para crear acero, la comunidad científica se dio a la tarea de desarrollar un diagrama que presenta el análisis, pero sobre todo la base para identificar las fases y los microconstituyentes estructurales específicamente del hierro – carbono. El estudio de esta base permite identificar las características y naturaleza de las fases para predecir y apoyar las propiedades que confieren el tipo de aleación o material; es una síntesis de como ocurren las diferentes etapas de cambio de una fase a otra (José Nunes, 2018). De la misma forma como avanzaba el tiempo también lo hacían las diferentes formas de procesar el mineral de hierro para fabricar los diferentes aceros que conocemos hoy en día; entre ellos tenemos el acero de tipo

inoxidable. El acero inoxidable es un material con una historia muy reciente apenas unas cuantas décadas de desarrollo, su uso apenas empezó a tener auge hasta los años veinte. En 1821 apenas se experimenta y se crea la forma de alear acero y cromo, sin embargo, a partir de 1904 es el año vital donde se descubre que el cromo ayuda a evitar la corrosión cuando se usa como un componente adicional. En este mismo período, el francés Léon Guillet se inventa el acero inoxidable bajo en carbono; una década más adelante aparece por primera vez el acero inoxidable austenítico. El químico alemán Eduard Maurer y la sociedad Krupp patentaron la fabricación de acero inoxidable de clase 18/8, el cual tiene un alto contenido de cromo (18 %). En 1913, el metalúrgico inglés Harry Brearley inventa el acero inoxidable martensítico, especial para cubertería (Moffit, 2012). La elaboración de acero inoxidable en el continente europeo, se desarrolla en los años 1930 y surgen numerosas patentes. Entre 1939 y 1947, hubo un registro considerable de patentes en Estados Unidos (Moffit, 2012). Cuando terminó la Segunda Guerra Mundial, la técnica de laminación en frío se desarrolló de una forma refinada y gracias a ello se logró un mejor acabado determinado por el proceso Sendzimir definido en 1947 (Bagley, 2015).

Las dos construcciones más importantes de la época que posicionaron el acero inoxidable de manera arquitectónica fueron el Edificio Chrysleren 1930 y el emblemático Empire State Building en 1931, ambos edificios fueron construidos en Nueva York - Estados Unidos. Se necesitaron al menos de 5500 m² de acero inoxidable para construir el Edificio Chrysleren donde se incluyó la aguja de la torre, la parte de la corona, las puertas y el vestíbulo de entrada, cabe destacar en este entonces era el edificio más alto del mundo (Sacks & Partouche, 2010). Cuando finalizan la década de 1950, el manejo del acero inoxidable se extiende a las cubiertas y cerramientos exteriores, además de otras estructuras teniendo en cuenta el progreso alcanzado sobre la laminación; por ello continúa su desarrollo y aplicación en los años ochenta. Actualmente, han seguido surgiendo

nuevas aplicaciones del acero inoxidable en sectores muy diversos y exclusivos para otros aceros o materiales, como son las estructuras de edificios residenciales, piscinas e incluso revestimientos de edificios industriales (Valencia, 2012). Según autores (Polo Sanz, Torres, Cano, & Bastidas, 2010) la velocidad de corrosión en los aceros inoxidables es determinante de otros factores y procesos que la acentúan mucho más como son la disolución, pasivación y difusión entre los más importantes; para ello se utilizan técnicas como la Espectroscopía de Impedancia Electroquímica que permite separar estos procesos que ocurren en la interfase acero inoxidable – electrólito. Por otro lado, es posible verificar el avance de este fenómeno por medio de la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB), la cual es indispensable para analizar de forma más detallada y precisa esta patología del acero.

Con el boom del efecto que producían ciertas cantidades pequeñas de aleantes en el proceso de mejoría del comportamiento anticorrosivo del acero, fue identificado en los Estados Unidos, y por ende, es entonces cuando en los años 30 se empezaron a usar aceros con baja concentración de aleantes los cuales, a parte de su excelente comportamiento mecánico, ofrecían ventajas significativas y anticorrosivas (Jie Zhang et al., 1998). Aparecen entonces los aceros autoprotectores y según (Morcillo, Díaz, Chico, Cano, & de la Fuente, 2014) el diseño de los primeros aceros de este tipo fue de una manera empírica y principalmente relacionado con un número muy reducido de elementos para formar la aleación tales como manganeso, silicio, cromo, níquel, cobre y fósforo. Durante las últimas décadas, los aceros autoprotectores o HSL se han establecido como los materiales estructurales más importantes para la construcción de obras civiles, porque su baja velocidad de corrosión influye positivamente cuando están expuestos a atmósferas industriales y urbanas. Las propiedades anticorrosivas de este tipo de aceros HSL simplemente nacen de su estructura relacionada con las capas de herrumbres formadas sobre la

superficie del material, cuando se poseen ciertas condiciones favorables (Díaz et al., 2018). Según autores como (Jauregui-coto, Veleza, Bolio-lópez, & López-sauri, 2013) y (Suarez & Siqui, 2001) analizan la herrumbre como una capa protectora que se forma únicamente sobre esta clase de aceros, dada la exposición atmosférica y que se vuelve progresiva dando al material un recubrimiento adherente y concentrado que suprime la corrosión, evitando el deterioro de la estructura como tal. Esta protección es 4 a 5 veces mayor que la de un acero inoxidable. El color y la velocidad con la que se forma esta capa especial se debe más que todo a la cantidad de los elementos presentes en la aleación y también por la contaminación del ambiente; además por los ciclos de humedad/secado que consisten cuando la superficie del metal es humedecida por la lluvia y luego secada por el sol y el viento. Según (Artigas, 2015) el comportamiento de la corrosión atmosférica, es decir el espesor corroído en el tiempo depende mucho de las diferentes fases por las cuales pasa el acero. Cuando se forma la pátina protectora ocurre una corrosión superficial sobre el material que ayudada de la humedad forma oxihidróxidos de hierro (Fe OOH) que se forman por un proceso electroquímico. Actualmente se hacen ensayos de laboratorio para mejorar todos los tipos de aceros derivados del proceso de transformación del mineral de hierro. La Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia U.P.T.C. de la ciudad de Tunja está al nivel de algunos países donde se llevan a cabo la experimentación e investigación por medio de ensayos de laboratorios (metalografía, ensayo de chispa y de dureza) relacionados con la corrosión e identificación de las diferentes fases que componen algunos aceros de tipo inoxidable y autoprotector con el fin de analizar y comprender como se comporta el material y de esta manera obtener de forma detallada información clave para aplicar en su posterior utilización ya sea en obras civiles como construcciones y demás estructuras.

Metodología

Para llevar a cabo el análisis y desarrollo respectivo de la información se planteó la siguiente metodología siguiendo los diferentes pasos descritos a continuación que generaron como producto final un artículo de revisión o reflexión derivado de una investigación:

Etapa 1 - Se definieron los objetivos de la revisión del tema: aquí se plantearon los objetivos de carácter explicativo y analítico mediante la necesidad del problema de investigación, indicando también el propósito por el cual se realizó dicho estudio.

Etapa 2 - Se realizó la búsqueda bibliográfica teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- Consulta de bases de datos y fuentes documentales (internet, catálogos en línea, repositorios institucionales, revistas electrónicas institucionales, etc). Se tuvo en cuenta los diferentes tipos de fuentes de búsqueda así:
 - Fuentes primarias: este tipo de fuente ofrece conocer datos de primera mano como los encontrados en libros, revistas, conferencias etc.
 - Fuentes secundarias: ofrece una estrategia metodológica que complementa las fuentes primarias y es mas amplia ya que reúne las bases de datos y revisiones sistemáticas.
 - Fuentes terciarias: estas son indispensables porque permiten detectar las fuentes primarias y secundarias necesarias cuando no se sabe nada del tema (bibliotecas).
- Determinación de la estrategia de búsqueda: de acuerdo a las bases de datos seleccionadas anteriormente, se eligieron las palabras clave más relevantes del tema de la investigación, documentando los diferentes términos utilizados, las fechas que se tuvieron en cuenta para la búsqueda y el número de artículos encontrados.

- Descripción de los criterios de selección por los documentos encontrados: para desarrollar los criterios de selección se valoraron los objetivos de la revisión, es decir analizando su calidad metodológica (tomando como base tesis de grado, tesis de maestrías, tesis de doctorado, artículos científicos, de revisión, descriptivos etc.).

Etapa 3 - Organización de la información: se llevó a cabo un análisis y síntesis del tema propuesto, donde se incluyó información esencial extraída de cada caso de estudio de acuerdo al objetivo planteado en la revisión, y de esta manera realizar comparaciones, contrastar resultados y similitudes en lo investigado.

Etapa 4 - Redacción del artículo: por último, para la generación del artículo como tal, se siguió un proceso lógico y gradual donde se comenzaba por establecer ideas principales para luego desarrollarlas consecuentemente. En el siguiente gráfico se muestra de forma general la metodología desarrollada.

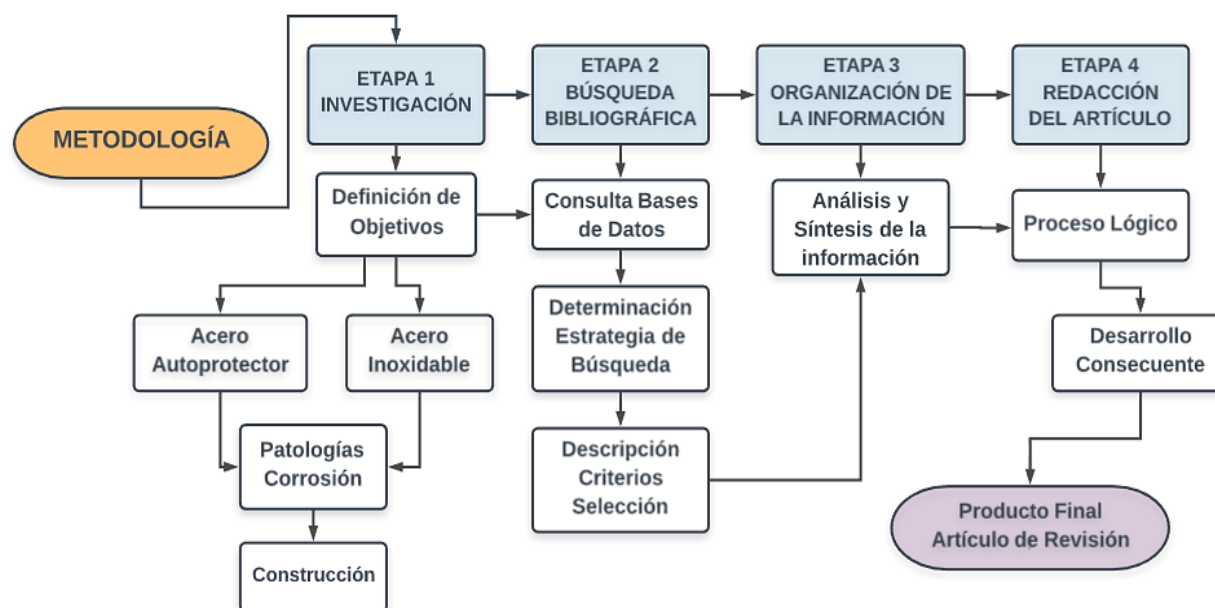


Figura 1: Diagrama Metodológico. Elaboración propia.

Discusión

Comparando las velocidades de corrosión entre los aceros analizados; el acero inoxidable obtiene una velocidad constante y acelerada en su proceso de corrosión, mientras que, para el acero autoprotector, esta velocidad obtiene una variación de acuerdo al tiempo y dependiendo únicamente de factores ambientales y cambios de temperatura, teniendo en cuenta que a medida que progresa este estado disminuye la velocidad de incidencia.

Los aceros patinables o autoprotectores son viables en ambientes marinos siempre y cuando pasen por el proceso alternado de humedad y secado, el cual les permite generar su propia capa de herrumbre, solo así desarrollarían su capacidad de inmunidad para tal situación.

Es interesante ver como los diferentes tipos de acero se corroen de la misma manera, sin embargo, dependiendo de sus propiedades y características particulares algunos utilizan esta patología como mecanismo de protección convirtiéndolo en un material más durable y resistente. El planteamiento que hacen los autores de acuerdo a las velocidades de corrosión permite identificar factores que relacionan y a su vez permiten diferenciar las características que poseen los diferentes aceros, ya sean de alta resistencia o baja aleación, algunos con ventajas significativas de acuerdo a sus propiedades mecánicas siendo comparados con aceros ordinarios. Las capas que se forman como escudo protector del acero patinable le dan una ventaja máxima con respecto al acero inoxidable pues a medida que se van creando y transformando su velocidad de corrosión disminuye desarrollando de manera típica una alta resistencia a la corrosión, convirtiendo esta debilidad en una fortaleza.

El acero inoxidable forma películas de óxido en su superficie que le dan una apariencia porosa y desgastada que pueden ser retiradas y no afectará considerablemente el material, aunque en su estado más avanzado de corrosión logra presentar grietas facilitando la penetración de oxígeno y agua, generalizando este estado y por ende permitiendo la distribución uniforme hasta lograr la destrucción parcial y total según la estructura atacada.

Los autores hacen uso de técnicas experimentales como la Metalografía, Microscopia Electrónica de Barrido (MEB), las cuales son favorables porque ayudan a entender de una forma más amplia las características microestructurales relacionadas con las propiedades químicas, físicas y mecánicas de los metales como materia prima de los aceros; todo desde el punto de vista del fenómeno de la corrosión y su afectación dado el caso. De esta manera es posible identificar muchas complicaciones en el momento de utilizarlos.

Conclusiones

Teniendo en cuenta el análisis de la revisión bibliográfica se puede observar que, al hacer la comparación de las ventajas y desventajas entre los aceros estructurales estudiados, dadas sus velocidades de corrosión, el mejor tipo de material para utilizar en las nuevas construcciones y estructuras metálicas es sin duda el acero autopatinable; ya que este es más amigable con los medios atmosféricos agresivos y por lo tanto es menos susceptible a reacciones y factores negativos de corrosión.

El acero inoxidable es muy utilizado donde la higiene es de gran importancia, como en la industria de la medicina, la farmacéutica, la hotelería, la lechería y en el suministro de agua potable.

Por lo tanto, existen diferentes factores que lo convierten en la primera opción para este tipo de industrias, y el requisito más importante o común es que el metal utilizado para fabricar equipos, no reaccione con lo que almacena o con lo que cocina dentro. Por ejemplo, es importante en un restaurante o café los alimentos no reaccionen al contacto con el objeto donde se cocinan o viceversa.

Un punto a favor del acero autoprotector es que no necesita mantenimiento con respecto al inoxidable que requiere al menos de una mínima limpieza y según el criterio a utilizar también de pintura, capas de aleación o recubrimiento; ya que, a diferencia del primero, este genera su propia capa protectora. El mantenimiento rutinario de estructuras hechas en acero inoxidable quita tiempo y dinero por eso esta alternativa de acero autoprotector los convierte en una excelente solución cuando se construyen estructuras en lugares poco accesibles como puentes muy grandes, torres eléctricas y edificios en general, inclusive en ambientes marinos donde la agresividad salina es muy fuerte. Por otro lado, respecto a las propiedades de durabilidad de estos tipos de acero, siempre mantienen una calidad alta de durabilidad y soldabilidad mayores a otros aceros.

En las construcciones civiles también se debe tener en cuenta el aspecto beneficio-costos sin afectar la calidad de los materiales y es por ello que a pesar que el costo del acero autoprotector es mayor con respecto a aceros no aleados, es mucho menor en comparación con aceros inoxidables recubiertos o pintados.

Es necesario seguir investigando sobre este tipo de materiales para que constructores y proyectistas tengan una acertada valoración en el momento de escogerlos para el diseño de sus obras y construcciones y puedan aprovechar todas las ventajas que estos ofrecen, independientemente de sus clases y tipos.

Glosario

- Acero Patinable: en inglés Weathering Steels, son aceros de baja aleación a los que se les añaden elementos aleantes, en general en cantidades inferiores al 1%. Estos aceros, además de poseer mayor resistencia mecánica que los aceros al carbono, tienen normalmente mayor resistencia a la corrosión, hasta cuatro o cinco veces. Su resistencia a la corrosión atmosférica depende de la protección dada al metal por una capa de óxido, que se forma con el tiempo (Arquitectura en acero, 2018).

- Alotrópico: es una propiedad que poseen determinados elementos químicos de presentarse bajo estructuras moleculares diferentes como el oxígeno, que puede presentarse como oxígeno atmosférico (O₂) y como ozono (O₃), o con características físicas distintas, como el fósforo, que se presenta como fósforo rojo y fósforo blanco (P₄), o el carbono, que lo hace como grafito, diamante y fulereno. Para que a un elemento se le pueda denominar como alótropo, sus diferentes estructuras moleculares deben presentarse en el mismo estado físico (EcuRed, 2015).

- Austenización: es el proceso en el cual se da la partición final del elemento aleado entre la matriz austenítica, (la cual se transforma en martensita) y el carbono retenido. Esta partición compone la química, las fracciones de volumen y la dispersión del carburo retenido. Estos carburos no solo contribuyen a la resistencia del uso del material, sino que controlan el tamaño del grano austenítico (Suarez G, 2016).

- Capas de aleación: el recubrimiento de galvanización por inmersión en caliente consiste de una serie de las capas de aleación de hierro y de zinc y una capa de zinc. Las capas de aleación mejoran las resistencias a la abrasión, aumenta la resistencia a la corrosión y permite que se aplique un recubrimiento grueso (Asociación Latinoamericana de Zinc, 2014).

- Concéntrico: se utiliza en el ámbito de la geometría para calificar a una figura que dispone del mismo centro que otra. la noción también se usa respecto a dos cuerpos (Definición. de, 2008 – 2009).

- Difusión: mecanismo por el cual la materia es transportada por la materia, particularmente en los metales y aleaciones se considera el hecho de que la mayor parte de las reacciones en estado sólido llevan consigo movimientos atómicos (Saavedra, 1993 – 2003).

- Espectroscopía de Impedancia Electroquímica: por sus siglas en inglés EIS, es un método electroquímico utilizado en estudios de corrosión, el cual se basa en el uso de una señal de corriente alterna (CA) que es aplicada a un electrodo (metal de corrosión) y determinando la respuesta correspondiente (Mendoza y Durán, 2010).

- Pasividad: es la propiedad más importante de los aceros inoxidable ya que es la responsable de la formación de una película pasiva sobre los materiales, la cual les proporciona la adecuada resistencia a la corrosión. Así pues, la cualidad de inoxidable de los aceros se debe, principalmente a la formación de dicha película protectora sobre la base del material desnudo (García y Blasco, 2013).

- Pátina: capa fina de óxido de color pardo o verdoso que se forma en el bronce y en otros metales a causa de la humedad (IDU, 2014).

Referencias

- Aperador, W., Amaya, C., & Butista, J. (2012). Evaluación de la Resistencia a la Corrosión Erosión de Recubrimientos Multicapas de TiN/AlTiN. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*.
- Artigas, A., Bustos, O., Sipos, K., Garza, N. F., Monsalve, A., Mena, J., & Seco, R. (2015). Comportamiento a la corrosión atmosférica marina de aceros autopatinables con estructura ferrítico perlítica y ferrítico martensítica. *Revista Materia*. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150003.0068>
- Bagley, F., Atlar, M., Charles, A., Anderson, C., E, N. R. D. T. R., Fiore, V., ... Koutsourelakis, P. S. (2015). Estructura y Propiedades - Aluminio y sus aleaciones. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.09.044>
- Concha; Alejandro. (2010). Historia del Acero. *ArchDaily Colombia*.
- Díaz, I., Cano, H., Lopesino, P., de la Fuente, D., Chico, B., Jiménez, J. A., ... Morcillo, M. (2018). Five-year atmospheric corrosion of Cu, Cr and Ni weathering steels in a wide range of environments. *Corrosion Science*, 141(July), 146–157. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.06.039>
- González, J. A. P. (2008). Losas de concreto reforzadas con acero inoxidable de desecho. *Revista Ingenieria de Construccion*. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732008000200002>
- Guadalupe, A. (2014). Tratamiento térmico del acero.
- Jaramillo, B., Calderón, J. A., & Guillermo, J. (2006). Evaluación electroquímica de aceros

autoprotectores en condiciones simuladas de laboratorio Electrochemical assessment of weathering steels under simulated laboratory conditions, 200–210.

Jauregui-coto, K., Veleza, L., Bolio-lópez, G. I., & López-sauri, D. A. (2013). Primeras etapas de corrosión de metales en agua de mar artificial II. Acero inoxidable AISI 304. *Revista Ciencia y Tecnología*, 9(4), 9–17.

Jie Zhang, He, L., Yanchun Zhou, Zhang, J., Laird, C., Ventura, A. M. F. M., ... João Alexandre Dias de Oliveira. (1998). Princípio de Ciência e Engenharia dos Materiais. *Acta Materialia*. [https://doi.org/10.1016/S1359-6454\(99\)00245-1](https://doi.org/10.1016/S1359-6454(99)00245-1)

José Nunes, G. (2018). *Metalografia. Metalografia*. <https://doi.org/10.24824/978854442247.2>

Loto, R. (2018). Electrochemical analysis of the corrosion inhibition properties of L-leucine and trypsin complex admixture on high carbon steel in 1 M H₂SO₄ solution. *Revista Colombiana de Química*. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v47n2.68058>

Lycett, R. W., & Hughes, A. N. (2018). Corrosion. In *Metal and Ceramic Biomaterials: Volume II Strength and Surface*. <https://doi.org/10.1201/9781351074438>

Moffit, A. (2012). Hierro y Acero. In *Enciclopedia De Salud Y Seguridad En El Trabajo*.

Morcillo, M., Díaz, I., Chico, B., Cano, H., & de la Fuente, D. (2014). Weathering steels: From empirical development to scientific design. A review. *Corrosion Science*. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.03.006>

Pereira, U. T. De, Montoya, P., Granizo, I. N., De, I. D., Manuel, F., Caracterización, E. Y., & Herrumbre, D. E. L. A. (2007). Evaluación Y Caracterización De La Herrumbre De Aceros Autoprotectores (Patinables) Obtenida En Diferentes Ensayos, *XIII*(June), 531–536.

- Polo Sanz, J. L., Torres, C. L., Cano, E., & Bastidas, J. M. (2010). Estudio de impedancia de la corrosión del acero inoxidable AISI 316L en las regiones pasiva y de picadura. *Revista de Metalurgia*, 35(6), 368–378. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1999.v35.i6.645>
- Rodríguez, G. P., Checa, M., & De Damborenea, J. J. (2005). Corrosion behaviour of high-power laser coatings | Evaluación del comportamiento frente a la corrosión de recubrimientos procesados con láser de alta potencia. *Revista de Metalurgia (Madrid)*.
- Sacks, R., & Partouche, R. (2010). Empire State Building Project: Archetype of “Mass Construction.” *Journal of Construction Engineering and Management*. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000162](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000162)
- Sádaba, M., Martínez, G., & Sánchez, M. (2005). Uso del Acero Inoxidable como Material de Refuerzo en Estructuras de Concreto Armado. *Portugaliae Electrochimica Acta: Journal of the Portuguese Electrochemical Society*.
- Simon, J., Tartera, J., Marsal, M., & Auladell i Marquès, J. (2005). De los íberos al imperio romano. Evolución tecnológica del hierro. *Revista de Metalurgia*. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.2005.v41.iExtra.1086>
- Suarez, M., & Siqui, K. (2001). Oxidación Y Corrosión. *Química Organica*.
- Valencia, A. (2012). Los aceros avanzados-Advanced Steels. *Revista Colombiana de Materiales*.
- Wertime, T. A. (1973). The beginnings of metallurgy: A new look. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.182.4115.875>