
Universidad Internacional del Ecuador



Escuela de Ingeniería Mecánica Automotriz

Trabajo de Integración Curricular

Artículo Investigación para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica Automotriz

Análisis de los elementos corrosivos que afectan la carrocería de un automotor

Nombre del Autor

Wilson Nicolás Aguilar

Director: Andrés Castillo PhD. (c)

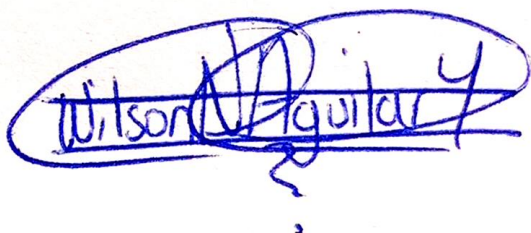
Codirector: Ing. Gorky Reyes, MSc.

Quito, agosto 2021

Certificación

Acuerdo de Confidencialidad

Yo, Wilson Nicolás Aguilar Yáñez, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito en mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional que se ha consultado la bibliografía internacional de Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet; según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.



Wilson Nicolás Aguilar Yáñez

Yo, Andres Castillo, certificamos que conocemos al autor del presente trabajo siendo él responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Castillo Reyes José Andrés

Dedicatoria

Quiero dedicar este logro a mis padres Wilson Aguilar, y Fany Yáñez. A mis her-manos, Juan Francisco Luna y María José Luna. A mi pequeña sobrina Samantha por motivarme a ser su ejemplo y finalmente a todos mis familiares. Que me enseñaron que con amor, dedicación y esfuerzo se pueden lograr grandes cosas, gracias a ellos soy una mejor persona y profesional.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por bendecirme y guiarme en estos años de estudio y vida. A mis dos maravillosos padres: Wilson Aguilar y Fany Yáñez que son los pilares fundamentales que realmente me enseñaron lo que es el trabajo duro pasando por cosas que nunca creí experimentar, pero que, gracias a ello me enseñaron a ser la persona que soy, que creyeron en mí y me dieron la oportunidad de estudiar en una prestigiosa universidad y así poderme convertir en un gran profesional. A mis hermanos, Juan Francisco Luna por ser una excelente persona modelo a seguir por sus consejos que me supieron guiar por el buen camino y por su apoyo incondicional, a María José Luna gracias por todo su apoyo y sus consejos durante estos cinco años. Y a mi sobrina Samantha por motivarme a seguir siendo un ejemplo para ella.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador por abrirme las puertas y formar parte de ella, a sus docentes por sus enseñanzas y por todas las experiencias compartidas en todos estos años y un agradecimiento especial a mi tutor y gran decano de la facultad MSc. Andrés Castillo y a mi profesor MSc. Gorky Reyes por la confianza brindada y su apoyo para realizar este artículo de titulación.

Índice de Contenido

Certificación.....	iii
Acuerdo de Confidencialidad	iii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimiento	iv
Índice de Contenido	vii
RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	2
2.2 Materiales empleados en las carrocerías de los automotores	2
2.3 La corrosión en carrocerías de automotores	3
2.4 Fosfatización.....	3
2.5 Tipos de revestimientos con fosfatos	3
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	4
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	5
4.1 Pruebas individuales	5
4.2 Deposición de iones Cl^-	8
4.3 Velocidad de corrosión del acero al carbono	8
4.4 Velocidad del aire	8
4.5 Discusión de pruebas según variables	8
4.5.1 Velocidad de corrosión y HR	8
4.5.2 Deposición de iones Cl^- y HR	8
4.5.3 Velocidad de corrosión versus deposición de iones Cl^- y velocidad del aire	8
4.5.4 Evaluación de pinturas anticorrosivas	9
5. CONCLUSIONES	9
Bibliografía	10
ANEXOS	12
ANEXOS INTRODUCCIÓN	12
Anexo 1: Hilti Corporation. Corrosion Handbook HILTI. 2015 pp 25.....	13
Anexo 2: Hilti Corporation. Corrosion Handbook HILTI. 2015 pp 21.....	13
Anexo 3: Hilti Corporation. Corrosion Handbook HILTI. 2015 pp 22.....	14
ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	15
Anexo 4: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 591.....	15
Anexo 5: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion.	

Mc Graw Hill. 2015 pp 599 - 601.	16
Anexo 6: Hilti Corporation. Corrosion Handbook HILTI. 2015 pp 32.....	17
Anexo 7: Hilti Corporation. Corrosion Handbook HILTI. 2015 pp 33.....	19
Anexo 8: NACE international. NACE international the corrosión society. 2002. pp 128.	20
ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
Anexo 9: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp72	21
Anexo 10: NACE international. NACE international the corrosión society. 2002. pp 129.	22
Anexo 11: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 52	23
Anexo 12: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 53	24
Anexo 13: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 338.....	25
Anexo 14: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 373.....	25
ANEXO RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
Anexo 15: Quito, W. evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT). Escuela superior politécnica del litoral. 1994. pp 101 - 105.....	26
Anexo 16: Chico, B., y Simancas, J. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM/CSIC). 2018. pp 370-383.	29
Anexo 17: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 349.....	33
Anexo 18: Quito, W. evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT). Escuela superior politécnica del litoral. 1994. pp 139	34
Anexo 19: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 351.....	35
Anexo 20: Quito, W. evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT). Escuela superior politécnica del litoral. 1994. pp 121	36
Anexo 21: Guerra, J.,Castañeda, A., Corvo, F. Atmospheric corrosion of low carbon steel in a coastal zone of Ecuador: Anomalous behavior of chloride deposition versus distance from the sea. 2018, Materials and Corrosion, pp 444–460.....	37
Anexo 22: Quito, W. evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT). Escuela superior politécnica del litoral. 1994. pp 127	38
Anexo 23: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 168 - 169.	39
Anexo 24: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion.	

Mc Graw Hill. 2015 pp 335.....	40
Anexo 25: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 189.....	41
Anexo 26: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 210.....	42
Anexo 27: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 279.....	43
Anexo 28: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 337.....	44
Anexo 29: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 127.....	45

Análisis de los elementos corrosivos que afectan la carrocería de un automotor

Ing. Andrés Castillo. MSc.¹, Ing. Gorky Reyes. MSc.², Nicolas Aguilar.³

¹ Decano de la facultad de ciencias técnicas UIDE, acastillo@internacional.edu.ec, Quito – Ecuador

² Maestría Sistemas Automotrices Escuela Politécnica Nacional, Ingeniero Mecánico especialidad

³ Ingeniería Automotriz Universidad Internacional del Ecuador, wiaquilarya@internacional.edu.ec, Quito - Ecuador

RESUMEN

Introducción: El proceso de corrosión en automotores es un proceso natural que trae consigo consecuencias económicas y de funcionamiento, la corrosión de los automotores está influenciada fundamentalmente por las condiciones atmosféricas en las cuales se hace uso de dicho automotor, especialmente por la humedad relativa y el contenido de partículas de iones Cl^- . **Metodología:** se analiza los elementos atmosféricos más influyentes en la corrosión del acero al carbono, basado en datos de investigaciones experimentales preliminares llevadas a cabo en zonas costeras del Ecuador, de forma consecutiva se realizaron pruebas de resistencia de pinturas anticorrosivas, en un medio salino simulando condiciones ambientales costeras del Ecuador. **Resultados:** se comprobó a través de las diferentes concentraciones de iones Cl^- la acción corrosiva y degradante sobre las pinturas anticorrosivas utilizadas en la industria automotriz. **Conclusión:** Las condiciones atmosféricas son muy agresivas sobre las pinturas anticorrosivas se debe tomar en cuenta las recomendaciones que son dadas por las corporaciones y centros de investigación en cuanto a la aplicación de estas, de igual manera es recomendable aplicar el solvente adecuado según los agentes a los cual van a estar expuestas las piezas del automotor, pero además de la resistencia de la pintura anticorrosiva se debe tener en cuenta el mantenimiento de la calidad del aire que se ve afectada por la evaporación de algunos solventes utilizados en la industria dedicada a los anticorrosivos.

Palabras clave: corrosión, carrocería, ion cloruro, humedad relativa, anticorrosivo

ABSTRACT

Introduction: The corrosion process in automobiles is a natural process that brings with it economic and operational consequences, the corrosion of automobiles is fundamentally influenced by the atmospheric conditions in which the vehicle is used, especially by relative humidity and Cl^- ion particle content. **Methodology:** the most influential atmospheric elements in the corrosion of carbon steel are analyzed, based on data from preliminary experimental investigations carried out in coastal areas of Ecuador, consecutively resistance tests of anticorrosive paints were carried out, in a saline environment simulating Coastal environmental conditions of Ecuador. **Results:** the corrosive and degrading action on the anticorrosive paints used in the automotive industry was verified through the different concentrations of Cl^- ions. **Conclusion:** Atmospheric conditions are very aggressive on anticorrosive paints, it is necessary to take into account the recommendations that are given by corporations and research centers regarding the application of these, in the same way it is advisable to apply the appropriate solvent according to the agents to be applied which the automotive parts will be exposed, but in addition to the resistance of the anti-corrosive paint, the maintenance of air quality must be taken into account, which is affected by the evaporation of some solvents used in the industry dedicated to anticorrosive.

Key words: corrosion, car body, chloride ion, relative humidity, anticorrosive

1. INTRODUCCIÓN

La investigación del proceso de corrosión en automotores es un proceso natural que conlleva muchas consecuencias económicas y de funcionamiento. Es por esta razón que desde hace décadas esta es un área de estudio por parte de académicos y de la industria especializada con el fin de buscar soluciones, una de las cuales es contar con herramientas que permitan predecir los daños ocasionados por este fenómeno que es propio de la naturaleza y que se da con mucha facilidad. La corrosión de los automotores está influenciada fundamentalmente por las condiciones atmosféricas en las cuales se hace uso de dicho automotor, especialmente por la humedad relativa y el contenido de partículas de iones Cl^- .

El objetivo de la presente investigación es evaluar los elementos atmosféricos que activan el proceso de corrosión en las piezas de acero utilizadas en carrocerías de automóviles, para lo cual se tomaron datos de otras investigaciones experimentales que contienen datos y modelos matemáticos, como base para analizar la interacción de dichos elementos corrosivos que son ionizadores del proceso de corrosión de la carrocería de un automotor y de manera consecutiva a través de pruebas realizadas a pinturas anticorrosivas recomendar la mejor opción para prevenir la corrosión de piezas de la carrocerías.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La corrosión se puede definir como un fenómeno fisicoquímico que se da entre un metal y al medio donde este se encuentra, promoviendo cambios en las propiedades de los metales, así como pérdidas significativas de la masa del metal sometido a esta situación. Los metales tienen una tendencia natural para corroerse, ya que desde el punto de vista termodinámico es un estado estable de menor energía [1].

El proceso de corrosión generalmente es de naturaleza electroquímica, en donde se producen dos o más reacciones, siendo la primera

una reacción anódica, en la cual se inicia la oxidación del material metálico; en el caso de la segunda reacción es de naturaleza catódica, en la cual se presenta una reducción del agente oxidante. Para que se lleven a cabo estas reacciones el sistema debe estar configurado en forma de celda, de tal manera que se pueda llevar a cabo la transferencia de electrones. La corrosión ha sido clasificada según su forma, ya que desde el punto de vista práctico es mucho más fácil porque se trata de identificar de manera visual el tipo de corrosión que se presenta, haciendo uso en algunos casos de algunos equipos [1].

2.1 Clasificación de la corrosión

Esta clasificación consiste en la ubicación del tipo de corrosión dentro de tres grupos, los cuales son:

- Identificables a simple vista
- Identificables con herramientas especiales
- Identificables con microscopio.

2.2 Materiales empleados en las carrocerías de los automotores

En la actualidad los materiales utilizados en la construcción de carrocerías de automotores son seleccionados en base a una serie de requerimientos, tales como reducción de peso de la carrocería, altos valores de resistencia de materiales, costos, entre otros.

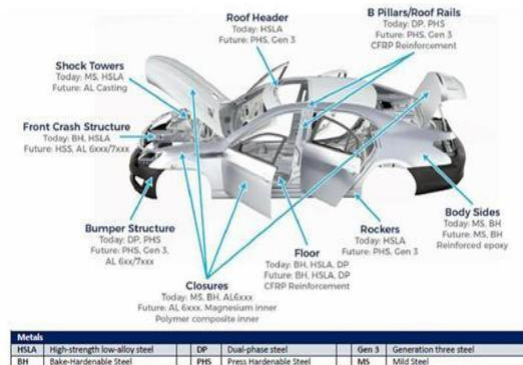


Figura 1. Acero utilizado en piezas de carrocería de un automotor

Fuente: [2]

En esta era de innovación se ha incrementado

el uso de piezas plásticas, compuestas y fibras de carbón en las carrocerías de automotores, sin embargo, el acero aún tiene un papel importante en la construcción de carrocerías [2]. En la figura 1 se puede observar el uso del acero en diferentes partes de la carrocería de un automotor.

El acero más utilizado en carrocerías de automotores es el acero de bajo y medio carbón, ya que cumple con los requerimientos mencionados anteriormente, con un espesor que oscila entre los 0.65 y los 2 mm [3].

Las proyecciones de los expertos y fabricantes indican que el acero se seguirá utilizando para fabricar carrocerías, por lo cual es importante la conservación de estas piezas, en la figura 2 se muestra esta proyección hasta el año 2040.

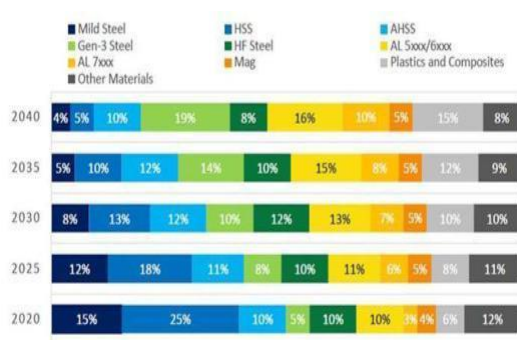


Figura 2. Proyección de uso de materiales en la construcción de carrocerías de automotores

Fuente: [2]

2.3 La corrosión en carrocerías de automotores

Los materiales metálicos que forman parte de la carrocería de un automotor están sometidos a diferentes procesos que producen la corrosión de estos, trayendo consecuencias a nivel de funcionalidad, seguridad y estética.

En los automotores la corrosión se clasifica en tres tipos, los cuales son: corrosión de perforación, corrosión cosmética y corrosión de borde. De estos tipos de corrosión se considera que la corrosión de perforación es la más agresiva [4].

En la carrocería de un automotor las partes a las que se les presta menor atención son las

que están ocultas por estar en la parte inferior y no son visibles, por lo cual existe la tendencia a ser las piezas más afectadas una vez iniciado el proceso de corrosión. Por otra parte, el agua y el lodo presente en las carreteras contienen sales solubles, en particular iones Cloruro (Cl^-), el cual es un agente muy corrosivo, siendo esta la principal causa de aparición de corrosión de perforación sobre los estratos de la carrocería, en los pasos de rueda, siendo acelerado este proceso en ambientes húmedos y/o cálidos [5].

2.4 Fosfatización

Este proceso puede definirse como un tratamiento superficial de metales el cual provee una dureza razonable, así como la no conductividad eléctrica debido a la deposición de una capa de fosfatos que poseen una gran adherencia al metal. El revestimiento de la chapa metálica es el resultado de una reacción topográfica, la cual hace que la superficie metálica base se integre una capa microcristalina de fosfatos resistente a la corrosión [1]. En la figura 3 se puede observar una vista al microscopio de la una capa de fosfatización en una muestra de metal.

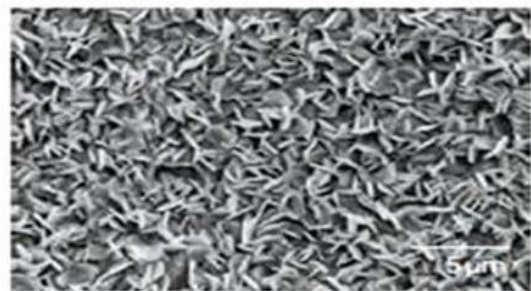


Figura 3. Vista en microscopio electrónico de una capa de fosfatos

Fuente: [6]

2.5 Tipos de revestimientos con fosfatos

El revestimiento de metales con fosfatos se clasifica en dos tipos:

Manganeso fosfato – (tipo M): Esta forma una capa de color gris o negro, es usado como

agente protector de corrosión y lubricante. Provee una gran dureza superficial y gran resistencia a agentes corrosivos. Se aplica por inmersión de las piezas como tornillos, bujes, sistemas de transmisión, componentes de motor, componentes de frenos, clutch, entre otros. Zinc fosfatos – Tipo Z: Es usualmente aplicado por inmersión o por spray es más liviano en comparación al tipo M, se emplea en sistemas hidráulicos, industria de conformado en frío, conectores eléctricos, fabricantes de componentes para energía nuclear y carrocerías de automotores. La figura 4 muestra una tabla de los constituyentes de las fases del revestimiento de fosfatos [6].

Tabla 1. Componentes principales según metal-base y sustratos de la fosfatización

Metal in the bath	Substrate		
	Fe	Zn	Al
Alkali	$\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	AlPO_4
Fe	$\text{Fe}_2\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Fe hureaulite)	$\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	
Mn	$\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (strengite) $(\text{Mn,Fe})_2\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Mn}_2\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Mn hureaulite)	$\text{Fe}_2\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Mn}_2\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Zn	$\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (phosphophyllite) $\text{Zn}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (hopete)	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	
Zn/Ca	$\text{Zn}_2\text{Fe}(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Zn}_2\text{Ca}(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (scholzite) $\text{Zn}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Zn}_2\text{Ca}(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Zn}_2\text{Ca}(\text{PO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{Zn}_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

Fuente. [6]

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación es en principio exploratoria, ya que inicialmente se evalúan datos de investigaciones preliminares en zonas costeras del Ecuador para obtener una estimación de la incidencia de los elementos atmosféricos en el proceso de corrosión del acero al carbono utilizado en carrocerías de automotores, y también es descriptiva, ya que con la realización de pruebas de anticorrosivos se busca obtener datos primarios sobre el comportamiento de estos ante elementos que propician el proceso de corrosión.

Los investigadores cuentan en la actualidad con diversas herramientas virtuales que

permiten realizar experimentos en muchos campos de trabajo. Estas herramientas permiten al investigador hacer cambios en las variables involucradas en el proceso objeto de investigación, con lo cual se pueden introducir cambios en la entrada del proceso y observar en los resultados obtenidos la influencia de cada variable de entrada y tomar decisiones o hacer conclusiones derivadas de este tipo de investigación. Esta metodología de investigación permite, según el grado de precisión, diseñar investigaciones con objetivos más claros, además es un método económico de obtener información valiosa sobre el fenómeno en estudio [7].

Las pruebas efectuadas en la presente investigación para evaluar los elementos atmosféricos en el proceso de corrosión de acero al carbono son virtuales, debido a esto, el laboratorio empleará computadores donde se realizarán dichas pruebas, y la labor exploratoria de campo son los datos obtenidos de la bibliografía especializada. La herramienta que se van a utilizar para este propósito es el programa Microsoft Excel, ya que es una herramienta versátil que permite realizar operaciones muy diversas. Con este complemento se pueden hacer ajustes de curvas, haciendo uso de ecuaciones lineales o no lineales [8].

Se tomarán datos de la bibliografía consultada en la investigación con el fin de obtener curvas de comportamiento de la velocidad de corrosión del acero para posteriormente llevar a cabo un ajuste de curvas que permita obtener el modelo matemático. Los datos registrados en las investigaciones consultadas corresponden a estaciones localizadas en Manabí, Rio-bamba, Guayaquil, Esmeraldas, Galápagos y Salinas.

Por otra parte, es importante establecer la evaluación del comportamiento de los recubrimientos anticorrosivos expuestos a la atmósfera, ya que la capacidad protectora de estos recubrimientos disminuye con el tiempo debido a una serie de elementos, principalmente ambientales, entre los que figuran con mayor intensidad la contaminación atmosférica, siendo el tiempo de humectación de la

superficie recubierta y de la contaminación ambiental, específicamente la deposición de iones Cl^- .

Para evaluar el impacto de los elementos atmosféricos en las capas de revestimientos anticorrosivos se emplean cámaras de niebla dispersa, con soluciones al 5 y 20% de NaCl, y a temperaturas de 30 °C, con una HR de 75,80 y 85 %, los cuales son valores representativos de las condiciones atmosféricas en zonas costeras. Los aspectos que se van a evaluar en las capas de anticorrosivo son brillo, adherencia e impermeabilidad, calificando cada aspecto como buena, deteriorada, mala y obsoleta.

Para ejecutar estas pruebas se procederá a evaluar cada semana los aspectos expuestos y en total se evaluarán las muestras por tres semanas, tomando en cuenta aspectos cuantitativos como son el tiempo de exposición, en función del porcentaje de concentración de la solución de NaCl, y la temperatura.

Todos los datos y evaluaciones de los aspectos de las muestras son organizados en tablas identificadas con el tipo de anticorrosivo a evaluar, el porcentaje de NaCl de la solución, la temperatura de exposición, la clasificación visual de la calidad del anticorrosivo en el momento de la evaluación (buen estado, deteriorada, mala y por sustituir) para cada una de las características evaluadas y el tiempo de humectación al momento de la evaluación (1, 2 y 3 semanas).

Una vez obtenidos los datos de las pruebas se procede a organizar los resultados en tablas en donde se señale el tiempo en el cual cada muestra se clasifica como por sustituir, con el fin de establecer el tiempo de humectación que el anticorrosivo cumple su función como protector de metales.

Posteriormente se procede a relacionar los resultados de cada anticorrosivo para establecer la relación entre HR y tiempo de humectación por medio de un gráfico y su respectiva ecuación, haciendo uso del programa Microsoft Excel.

Finalmente, una vez obtenida la relación HR y tiempo de humectación se realiza una estimación del tiempo de vida útil del

anticorrosivo, relacionando el tiempo de humectación obtenido en las pruebas con datos de tiempo de humectación anual de las zonas costeras analizadas inicialmente, con el fin de estimar el tiempo que en el cual el anticorrosivo debería ser sustituido.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos experimentales promedio de deposición de iones Cl^- , HR y velocidad de corrosión obtenida por los trabajos de Guerra [9] y Quito [10].

Una vez introducidos los datos se procedió a graficar las diferentes variables que influyen en el proceso de corrosión del acero al carbono que es utilizado en las carrocerías de los automotores, las cuales son muy útiles para observar e interpretar la interacción de estos elementos.

4.1 Pruebas individuales

En primer lugar, se procedió a tabular los datos del trabajo de Guerra [9]. De este trabajo se extrajeron los datos de deposición de iones Cl^- , Humedad Relativa promedio, Velocidad de corrosión. Los datos tomados de este trabajo se encuentran en gráficos, los cuales fueron obtenidos luego de procesar la data experimental en cada estación de medición. Los datos obtenidos se organizaron y se ingresaron al programa Microsoft Excel, seguidamente se graficaron para observar el comportamiento de las variables. El programa arroja el gráfico acompañado de la ecuación o línea de tendencia con el procedimiento de mínimos cuadrados y arrojando el valor de R^2 , el cual es el índice que nos muestra el nivel de ajuste de la curva a los datos presentados.

La capacidad protectora de los recubrimientos anticorrosivos disminuye con el tiempo en función de una serie de variables, entre las que ejerce un papel principal la contaminación atmosférica. Por lo tanto, para el proyecto de un sistema de protección es de gran utilidad disponer de datos cuantitativos sobre el efecto de la contaminación atmosférica en la vida del

recubrimiento protector. Desafortunadamente esta información es escasa, y así como el efecto de los contaminantes en la corrosión de metales desnudos ha sido extensamente experimentado, son muy reducidos los trabajos en que se plantee el establecimiento de relaciones cuantitativas entre las variables de contaminación y el comportamiento del recubrimiento protector. Los anticorrosivos a probar y sus principales características son los siguientes: Esmalte: se aplica mezclado con thinner, laca o thinner acrílico. Posee una aceptable resistencia a la corrosión y al aplicarlo adquiere un brillo natural

Acrílico: las pinturas acrílicas se utilizan de manera regular en los talleres de pintura automotriz, y para su aplicación requiere la adición de un thinner acrílico.

Poliuretano: Se utiliza de manera general por su propiedad de actuar como dieléctrico lo cual lo hace propicio para evitar la corrosión.

Poliéster: Este recubrimiento también necesita que se añada un catalizador para obtener un mejor brillo y un thinner poliuretano

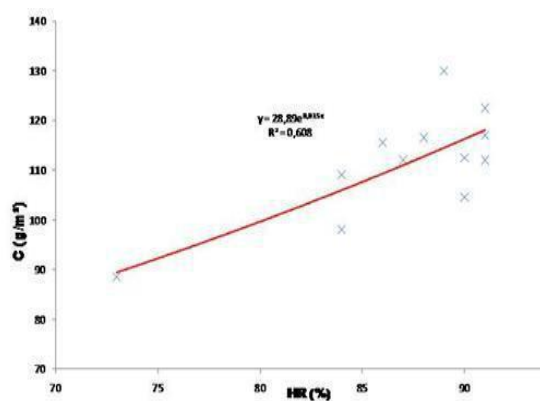


Figura 5. Gráfico de velocidad de corrosión en función de la humedad relativa

Fuente: [10]

La ecuación obtenida es la siguiente:
 $C = 28,89 \cdot 0,015^{HR}$
 $R^2 = 60,8\%$ Ec.[4.1]

Donde

C = velocidad de corrosión del acero (g/m^2)

HR = humedad relativa (%)

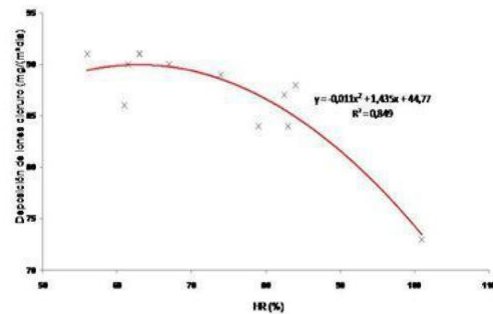


Figura 6. Gráfico de la deposición de iones Cl^- en función de la humedad relativa

Fuente: [10]

La relación obtenida es la siguiente:

$$[Cl^- D] = -0,011 \cdot HR^2 + 1,435 \cdot HR + 44,77; R^2 = 84,8\% \text{ Ec. [4.2]}$$

Donde:

$[Cl^- D]$ = deposición de iones cloruro ($mg/(m^2 \cdot día)$)

HR = humedad relativa (%)

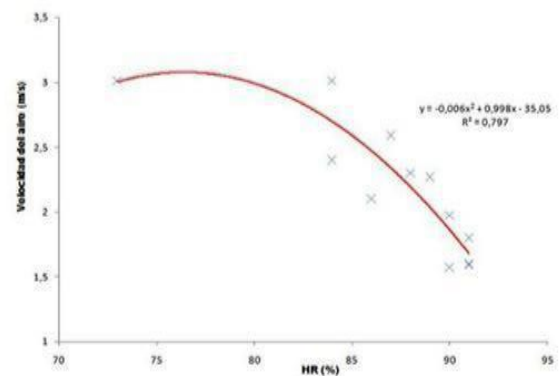


Figura 7. Gráfico de la velocidad de corrosión en función de la humedad relativa **Fuente:** [10]

La relación obtenida es la siguiente:

$$C = -0,061 \cdot HR^2 + 0,998 \cdot HR - 35,05; R^2 = 79,7\% \text{ Ec. [4.3]}$$

Donde v = velocidad del aire (m/s)
 HR = humedad relativa (%)

Los datos obtenidos del trabajo de Quito [10], fueron deposición de iones Cl^- , Humedad Relativa promedio, a través del programa se obtuvieron los gráficos acompañados de la ecuación o línea de tendencia con el procedimiento de mínimos cuadrados y arrojando el valor de R^2 , el cual es el índice que nos muestra el nivel de ajuste de la curva a los datos presentados a continuación.

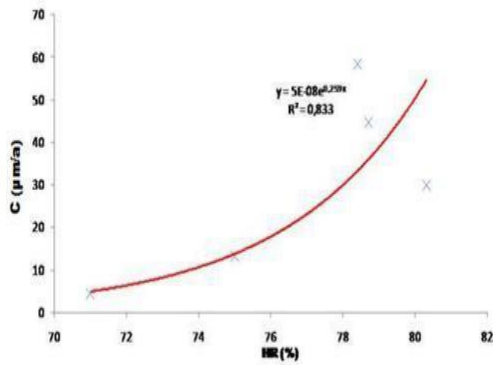


Figura 8. Gráfico Velocidad de corrosión en función de la humedad relativa **Fuente:** [20]

La ecuación obtenida es la siguiente:
 $C = 5 \cdot 10^{-8} \cdot e^{0,259 \cdot HR}$ Ec.[4.4]

Donde
 C = velocidad de corrosión del acero ($\mu\text{m/a}$)
 HR = humedad relativa (%)

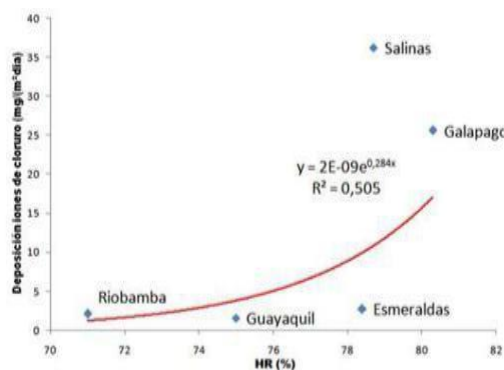


Figura 9. Gráfico de la deposición de iones Cl^-

en función de la humedad relativa
Fuente: [20]

La relación obtenida es la siguiente:
 $[Cl^- D] = 2 \cdot 10^{-9} \cdot e^{0,284 \cdot HR}$; $R^2 = 50,5\%$ Ec.[4.5]

Donde
 $[Cl^- D]$ = deposición de iones cloruro ($\text{mg}/(\text{m}^2\text{día})$)
 HR = humedad relativa (%)

Prueba de las pinturas anticorrosivas

Los resultados obtenidos en la evaluación de las pinturas anticorrosivas fueron tabulados y se presentan a continuación las tablas 2, 3 y 4.

Tabla 2
 Evaluación de pinturas en la primera semana de pruebas

		Pintura				
% NaCl	Propiedad	Esm.	Acril.	Pol.	Poli-est.	
1	Brillo	B	B	B	B	
5	Adherencia	B	B	B	B	
	Brillo	B	B	B	B	
20	Adherencia	B	B	B	B	

B = buena, D = deteriorada, M = mala,
 S = sustituir

Nota: fuente propia

Tabla 3
 Evaluación de pinturas en la segunda semana de pruebas

		Pintura				
% NaCl	Propiedad	Es. m.	Acril. l.	Pol. .	Poli-est	
1	Brillo	B	B	B	B	
5	Adherencia	B	B	B	B	
	Brillo	D	D	D	D	
20	Adherencia	B	B	D	B	

B = buena, D = deteriorada, M = mala,
 S = sustituir

Nota: fuente propia

Tabla 4

Evaluación de pinturas en la tercera semana de pruebas

%	NaCl	Pintura			
		Pro-Esm pie- dad	Acril	Pol	Po- li- est
1	Brillo	D	B	D	D
5	Adhe- rencia	D	B	B	B
20	Brillo	D	D	D	D
	Adhe- rencia	D	M	D	S

B = buena, D = deteriorada, M = mala, S = sustituir

Nota: fuente propia

4.2 Deposición de iones Cl^-

Según los datos experimentales obtenidos de los trabajos de Guerra y col [11] y Quito [10], la deposición de iones Cl^- aumenta en función al aumento de la humedad, hasta que esta alcanza valores alrededor del 80%, como se puede ver en las figuras 2 y 5.

Para $HR > 80\%$ en el estudio de Guerra [9], la deposición de iones Cl^- disminuye drásticamente como se puede ver en la figura 2.

En el caso del estudio de Quito [10], no se poseen datos para $HR > 80\%$.

4.3 Velocidad de corrosión del acero al carbono

En los trabajos de Guerra y col [9] y Quito [10], la velocidad de corrosión aumenta en función al aumento de la humedad, hasta que esta alcanza valores alrededor del 80%, como se puede ver en las figuras 1 y 4.

Para $HR > 80\%$ el estudio de Guerra [9]. La velocidad de corrosión sigue aumentando como se puede ver en la figura 1.

En el caso del estudio de Quito [10], no se poseen datos para $HR > 80\%$

4.4 Velocidad del aire

Según los datos experimentales de los trabajos de Guerra y col [9], la velocidad del aire

se mantiene casi estable hasta que la HR alcanza valores cercanos al 80%.

Para $HR > 80\%$ la velocidad del aire disminuye drásticamente como se puede ver en la figura 3.

4.5 Discusión de pruebas según variables

4.5.1 Velocidad de corrosión y HR

La velocidad de corrosión aumenta de manera exponencial en las investigaciones consultadas, lo cual indica que una vez que el proceso de corrosión se inicia en la pieza de acero al carbono en poco tiempo se producirá la degradación de la misma si esta se expone a ambientes de alta HR. Esta situación se puede maximizar si el automotor permanece por largos periodos de tiempo en zonas donde la HR es alta, por ejemplo, las zonas costeras.

4.5.2 Deposición de iones Cl^- y HR

La HR es menor a 80% se producen los mayores valores de deposición de iones Cl^- , lo cual se traduce en un aumento del proceso de corrosión de los aceros al carbono expuestos, como lo están las piezas de carrocerías de un automotor. A medida que la HR aumenta hasta valores superiores a 80% se produce el fenómeno de unión de partículas de iones Cl^- suspendidas en el aire, debido a la humedad pesadas, precipitándose y disminuyendo la capacidad de ser trasladadas por el aire [9]. Por esta razón para $HR > 80\%$ la deposición de iones Cl^- disminuye de manera significativa, a pesar de que la velocidad de corrosión sigue en aumento en función de HR, en consecuencia, para $HR > 80\%$ son otros los elementos que inciden en la corrosión del acero al carbono presente en los aceros al carbono presente en las carrocerías de los automotores.

4.5.3 Velocidad de corrosión versus deposición de iones Cl^- y velocidad del aire

Como se puede ver en la figura 3 cuando $HR > 80\%$ la velocidad del aire cae drásticamente, al igual que la deposición de iones Cl^-

como se muestra en las figuras 2 y 5, sin embargo, la velocidad de corrosión continúa aumentando.

La explicación de una mayor velocidad de corrosión a pesar de la disminución de la deposición de iones Cl^- y de la disminución de la velocidad del aire se debe a que a menor velocidad del aire y mayor HR se produce una menor velocidad de evaporación del electrolito que se deposita sobre la pieza de acero al carbono, ya que a menor flujo de aire se arrastra menor cantidad de vapor y a su vez la alta HR.

4.5.4 Evaluación de pinturas anticorrosivas

Los resultados de la evaluación de las pinturas anticorrosivas mostrados en las tablas 2, 3 y 4 nos muestran que con el paso del tiempo estas perdieron de manera progresiva las propiedades evaluadas (brillo y adherencia). Dichas pruebas muestran que una mayor concentración de iones Cl^- degradan con una mayor velocidad las propiedades evaluadas, en particular se observa que en la tercera semana con una concentración de 20% de iones Cl^- todas las pinturas habían perdido el brillo y la adherencia, con la excepción de la pintura acrílica, la cual presentó aún buena adherencia a la superficie aplicada.

5. CONCLUSIONES

En la presente investigación se obtuvieron modelos que muestran el comportamiento de la deposición de iones Cl^- y la humedad relativa del medio donde se desempeña un automotor, los cuales son dos elementos de gran impacto en el inicio del proceso de corrosión en piezas de acero al carbono. En este sentido la velocidad de corrosión aumenta constantemente en función a la humedad relativa, sin embargo, para $\text{HR} > 80\%$ disminuye drásticamente la deposición de iones Cl^- , por lo cual el aumento de la velocidad de corrosión para $\text{HR} > 80\%$ se debe a otro factor como la disminución de velocidad del aire, que incide en el tiempo de humectación o de permanencia del

electrolito sobre la superficie de acero al carbono.

En la carrocería de los automotores se localizan zonas críticas que son más propensas al proceso de corrosión, debido a que en estas se crean las condiciones favorables para que la deposición de iones Cl^- y/o la humedad relativa actúen de manera prolongada en el tiempo sobre las piezas de acero al carbono, ya que esto propicia la creación de capas de electrolito de mayor espesor y también se aumenta el tiempo de humectación de las piezas. Según los datos utilizados de otras investigaciones y los modelos que se derivaron de estos en la presente investigación para la deposición de iones Cl^- y humedad relativa, las zonas con atmósfera marina es la más favorable para iniciar el proceso de corrosión de las piezas de carrocería y la velocidad de corrosión sea de mayor magnitud, dados los altos valores de deposición de iones Cl^- y humedad relativa.

Para prevenir la acción de los agentes corrosivos sobre las pinturas anticorrosivas se debe tomar en cuenta las recomendaciones que son dadas por las corporaciones y centros de investigación, como son la correcta preparación de la superficie metálica para la aplicación de las pinturas, colocar la cantidad correcta de diluyentes tales como el thinner, así como colocar el número de capas recomendado y las variables relacionadas con la aplicación de la pintura (presión de aire si es por spray, ángulo de incidencia correcto, entre otras). También es necesario seleccionar el tipo de pintura correcto en función al medio ambiente donde el automotor se va a desempeñar.

Para mejorar la calidad de las pinturas anticorrosivas es recomendable aplicar el solvente adecuado según los agentes a los cuales van a estar expuestas las piezas del automotor, pero además de la resistencia de la pintura anticorrosiva se debe tener en cuenta el mantenimiento de la calidad del aire que se ve afectada por la evaporación de algunos solventes utilizados en la industria dedicada a los anticorrosivos. Las recientes regulaciones para minimizar la emisión de compuestos volátiles

orgánicos han forzado a esta industria a la consideración del agua como solvente, un ejemplo de estas es: acrílico-látex y acrílico-epoxi híbrido.

Para realizar una estimación de mayor precisión se recomienda hacer uso de sensores de cinta conductiva, el cual es recomendado para realizar mediciones de velocidad de corrosión en automotores, así como medir las piezas en estudio de condiciones de humedad relativa y deposición de iones Cl^- .

Bibliografía

Libro

[6]. NACE . 2002. *NACE corrosion engineer's reference book*. NACE international. Houston, USA

[14]. Piere, R. 2008. *Corrosion Engineering principles and practice*. New York, USA.

[21]. HILTI. 2015. *Corrosion Handbook*. Hilti corporation, Liechtenstein.

Artículo de revista

[2] Mishra, A. 2020 *Automotive Materials: An Overview.*, *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7 (8): 4852-4857.

[7] Sankara, N. 2005, *Surface pretreatment by phosphate conversion coatings – a review*. *Rev. Adv. Mater. Sci.*, 9 (1) : 130-177.

[10] Guerra, J., Castañeda, A., Corvo, F., Howland, J., Rodriguez, J. 2019. *Atmospheric corrosion of low carbon steel in a coastal zone of Ecuador: Anomalous behavior of chloride deposition versus distance from the sea.*, *Materials and Corrosion*, 70 (1): 444–460.

[13] Guerra, J., Castañeda, A. y Howland, J. 2016. *Estudio preliminar de la agresividad corrosiva de la atmósfera en el*

puente de los Caras, Manabí, Ecuador., *CENIC Ciencias Químicas*, 47 (1): 17-29.

[17] Rivero, S., Chico, B., De la Fuente, D., Morcillo, M. 2007. *Corrosión atmosférica del acero bajo en carbono en un ambiente.*, *Revista de metalurgia*, 43 (5) 370-383.

Tesis

[1] Montes, J. 2009. *Caracterización ante la corrosión atmosférica del acero autoprotector A588*. Bogotá : UNIANDES

[5] Aranda, J. *Estudio y mejoramiento de los métodos para evitar la corrosión en la industria automotriz*. Latacunga : Escuela politécnica del ejército del Ecuador, 2005.

[11] Ortega, F. 2019. *Characterization of the environment for the project of structures*. Málaga : Universidad de Oviedo.

[18] Garces, R. 2002. *Evaluación de la corrosión atmosférica del acero*. Nuevo Leon, Mexico : Universidad Automa de Nuevo Leon.

[20] Quito, W. 1994. *Evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericanode corrosividad atmosférica (MICAT)*. Guayaquil : Escuela Superior Politecnica del Litoral Facultad de Ingeniería Mecánica.

Artículos en pdf

[3] Modi, S. y Vadhavkar, A. *Technology Roadmap: Intelligent Mobility Technologies*. [En línea] 2019. [Citado el: 10 de 01 de 2021.] https://www.cargroup.org/wp-content/uploads/2019/10/Technology-Roadmap_Materials-and-Manufacturing.pdf.

[4] Katundi, D. Corrosion behaviour of the welded steel sheets used in automotive industry. [En línea] 2010. [Citado el: 12 de 01 de 2021.]

https://www.researchgate.net/profile/Emin_Bayraktar/publication/44444931_Corrosion_behavior_of_the_welded_steel_sheets_used_in_automotive_industry/links/00b4952237017e4dfc000000/Corrosion-behavior-of-the-welded-steel-sheets-used-in-automotive-industry.pdf.

[8] Lluveras, E. Aplicación de software estadístico y modelos matemáticos para la evaluación de la velocidad de corrosión en el acero. [En línea] 2018. [Citado el: 12 de 01 de 2021.]

DOI:10.31910/rudca.v21.n1.2018.676.

[9] Alfaro, M. y Alfaro, I. Uso de la función solver de excel para el cálculo de la velocidad de corrosión del acero al carbono en una solución de NaCl al 35% saturada de oxígeno. [En línea] 2018. [Citado el: 11 de 01 de 2021.] DOI: 10.22201/fq.18708404e.2018.1.63703.

[12]. Tobinson, B. y Obioma, E. Corrosion Analysis of the Effects on Automobiles in Niger Delta Region. [En línea] 2016. [Citado el: 15 de 01 de 2021.] www.ijeert.org/pdf/v4-i1/10.pdf.

[15] Singh, M. Application of Steel in Automotive Industry. [En línea] 2016. [Citado el: 15 de 01 de 2021.] https://www.researchgate.net/publication/313900101_Application_of_Steel_in_Automotive_Industry.

[19] Guerra, J., Castañeda, A.I y Howland, J. Estudio preliminar de la agresividad corrosiva de la atmósfera en el puente de los Caras, Manabí, Ecuador. 2016, CENIC, págs. 17-29.

[22] Chico, B. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM/CSIC). [En línea] 2018. [Citado el: 15 de 01 de 2021.]

ANEXOS

ANEXOS INTRODUCCIÓN

Objetivo General

Evaluar las condiciones atmosféricas que activan el proceso de corrosión en las piezas de acero utilizadas en carrocerías de automóviles, debido a la importancia de la prevención de este fenómeno para la preservación de la carrocería y basado en esto proponer un esquema para minimizar los efectos de este proceso.

Fundamentación del problema

Los automotores son fabricados para desplazarse en gran variedad de ambientes, en los cuales predominan los elementos y condiciones necesarios para que se desarrolle el proceso de corrosión de la carrocería. Este proceso de corrosión se activa fácilmente, ya que los metales tienden a volver a su estado natural, es decir, a un estado combinado el cual desde el punto de vista termodinámico es un estado más estable.

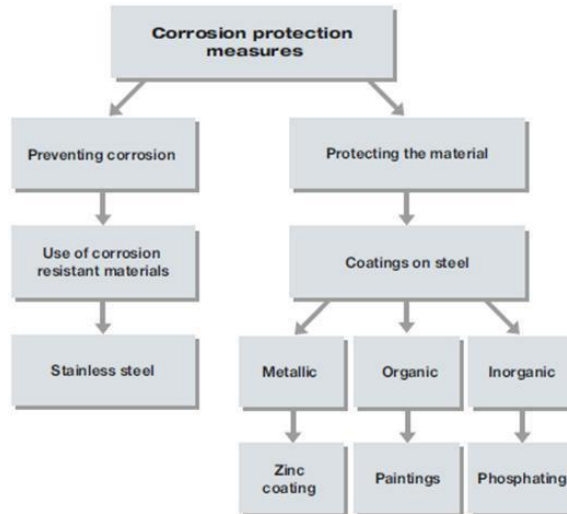
En la actualidad se estima que el 60% de los componentes de las carrocerías de los automotores son de acero, y se proyecta que aún en el año 2040 los fabricantes aún utilizarán hasta un 46% de las carrocerías contendrán partes de acero.

Las condiciones de uso de un automotor, así como las condiciones ambientales en el cual este se desempeña son los factores más influyentes en la velocidad de corrosión de las partes metálicas en la carrocería de un automotor, por ejemplo, la frecuencia de limpieza de la carrocería o las sustancias suspendidas en el aire como el cloruro de sodio y el dióxido de azufre son un ejemplo de estas.

La velocidad de corrosión de una parte metálica es un factor de importancia en el campo del mantenimiento preventivo y correctivo de las carrocerías de automotores, ya que esta permite establecer los intervalos de tiempo en que se deben hacer los respectivos mantenimientos, en el caso del mantenimiento preventivo se puede establecer los períodos de limpieza de carrocería, en el caso del mantenimiento correctivo es muy útil para determinar si la pieza afectada por la corrosión se puede recuperar o si se debe sustituir.

Anexo 1: Hilti Corporation. Corrosion Handbook HILTI. 2015 pp 25.

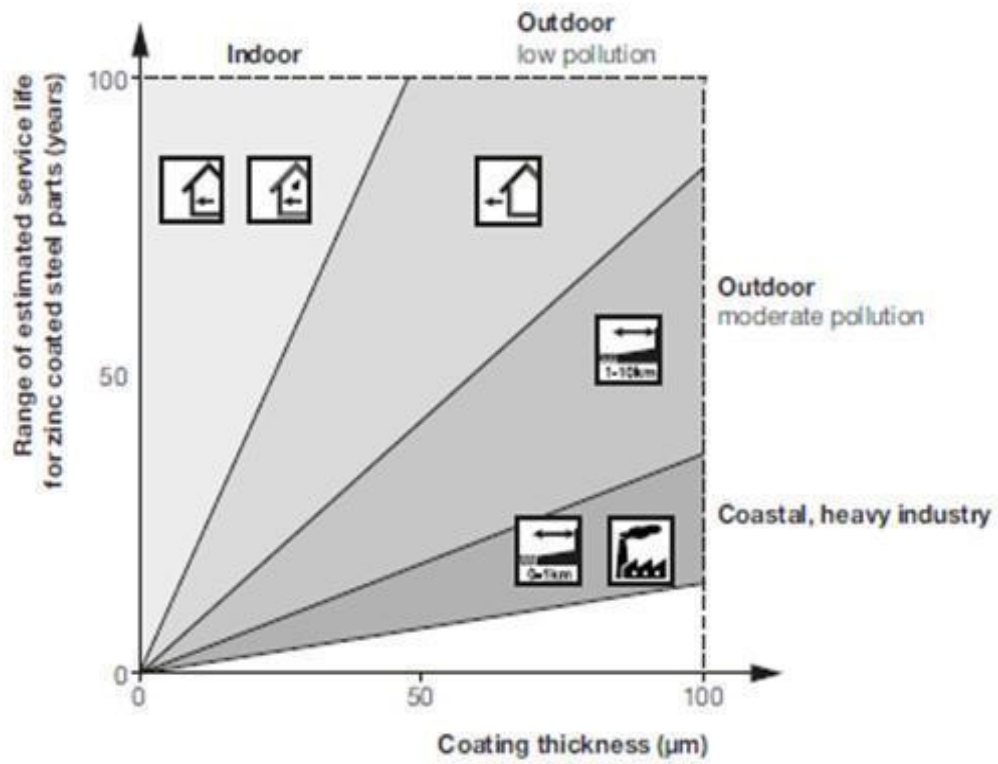
Classification of corrosion protection measures



Anexo 2: Hilti Corporation. Corrosion Handbook HILTI. 2015 pp 21.

Hilti corrosion protection solution for carbon steel	Coating thickness	Product examples
Phosphating		Screws
Electrogalvanizing	From 5 to 20µm	Nails, anchors, screws
Hot-dip galvanizing	From 35 to 100µm	Installation channels
Continuous hot-dip galvanizing / Sendzimir galvanizing	From 20 to 40µm	Stud anchors, installation channels
Sherardizing/Thermal diffusion	Up to 45µm	Anchors
Multilayer (Zn plus additional organic coating – painting)		Anchors and installation parts

Anexo 3: Hilti Corporation. Corrosion Handbook HILTI. 2015 pp 22.



ANEXOS FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

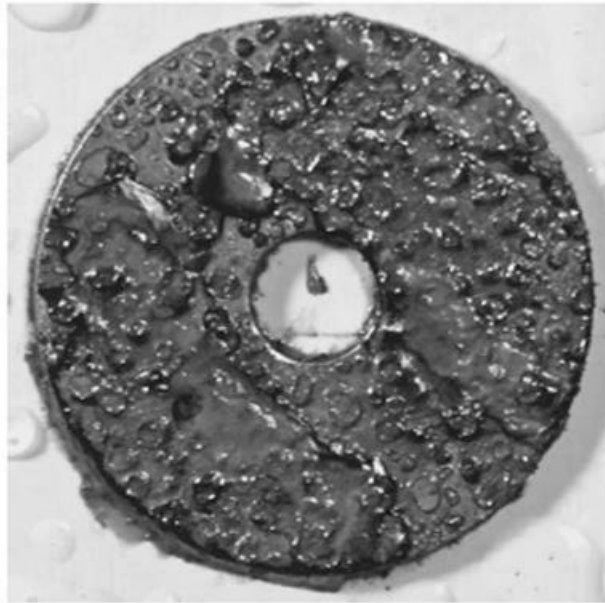
Anexo 4: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 591.

Epoxy	Epoxy/epoxy/polyurethane	Blast	3	2.0	20	14	11	11
Epoxy	Epoxy waterborne	Blast	3	2.3	18	12	9	9
Epoxy	Coal tar epoxy	Blast	2	4.1	21	17	14	14
Epoxy Zinc	Epoxy zinc/epoxy	Blast	2	1.8	26	18	12	12
Epoxy Zinc	Epoxy zinc/epoxy/epoxy	Blast	3	2.8	30	21	15	15
Epoxy Zinc	Epoxy zinc/polyurethane	Blast	2	1.8	24	17	12	12
Epoxy Zinc	Epoxy zinc/polyurethane/polyurethane	Blast	3	2.8	32	23	15	15
Epoxy Zinc	Epoxy zinc/epoxy/polyurethane	Blast	3	2.3	29	20	14	14
Inorganic Zinc	Inorganic zinc (IOZ)	Blast	1	0.8	27	17	12	12
Inorganic Zinc	IOZ/epoxy	Blast	2	1.8	26	18	14	14
Inorganic Zinc	IOZ/epoxy/epoxy	Blast	3	2.8	32	23	17	17
Inorganic Zinc	IOZ/polyurethane/polyurethane	Blast	3	2.8	32	23	17	17
Inorganic Zinc	IOZ/epoxy/polyurethane	Blast	3	2.3	30	21	15	15
Inorganic Zinc	IOZ/waterborne acrylic	Blast	3	1.5	24	17	12	12
Metalizing	Zinc metalizing (minimum 90% zinc)	Blast	1	1.3	33	22	16	16
Metalizing	Zinc metalizing/sealer	Blast	2	2.3	34	24	17	18
Metalizing	Zinc metalizing/sealer/polyurethane	Blast	3	3.3	39	27	22	22

Type	Coating Systems for Atmospheric Exposure (primer/midcoat/to coat)	Surface Preparation	Number of Coats	DFT	C ₂	C ₃	C _{5A}	C _{5M}
Acrylic	Acrylic waterborne/acrylic WB/Acrylic WB	Hand/power	3	1.5	12	8	5	5
Acrylic	Acrylic waterborne/acrylic WB/Acrylic WB	Blast	3	1.5	17	12	9	9
Alkyd	Alkyd/alkyd	Hand/power	2	1.0	6	3	2	2
Alkyd	Alkyd/alkyd/alkyd	Blast	3	1.5	14	9	5	5
Alkyd	Alkyd/alkyd/silicone alkyd	Blast	3	1.0	11	6	3	3
Epoxy	Surface tolerant epoxy (STE)	Hand/power	1	1.3	12	8	5	5
Epoxy	Surface tolerant epoxy/STE	Hand/power	2	2.5	17	12	9	9
Epoxy	surface tolerant epoxy/STE	Blast	2	2.5	21	15	12	12
Epoxy	Surface tolerant epoxy/polyurethane	Hand/power	2	1.8	17	11	6	6
Epoxy	Surface tolerant epoxy/polyurethane	Blast	2	1.8	20	14	9	9
Epoxy	Surface tolerant epoxy/STE/polyurethane	Hand/power	3	3.0	23	17	12	12
Epoxy	Surface tolerant epoxy/STE/polyurethane	Blast	3	3.0	26	20	15	15
Epoxy	Epoxy 100% solids/penetrating sealer/epoxy	Hand/power	2	1.5	13	8	5	5
Epoxy	Epoxy 100% solids/penetrating sealer/polyurethane	Hand/power	2	1.5	13	8	5	5
Epoxy	Epoxy/epoxy	Blast	2	1.5	18	12	9	9
Epoxy	Epoxy/epoxy	Blast	2	2.0	20	14	11	11
Epoxy	Epoxy/epoxy/epoxy	Blast	3	2.5	23	17	14	14
Epoxy	Epoxy/polyurethane	Blast	2	1.5	17	11	8	8

Anexo 5: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 599 - 601.

Discos de metal sometidos a solución al 3% NaCl. (1) sin protección anticorrosiva luego de dos días y (2) con pintura anticorrosiva comercial 15 días después



(1)



(2)

Anexo 6: Hilti Corporation. Corrosion Handbook HILTI. 2015 pp 32.

Humidity

General influence	Atmospheric corrosion only takes place when a thin moisture film is present on the metal surface. In the absence of humidity, most contaminants would have little or no corrosive effect. The period in which a moisture film is present is also called time of wetness. As a commonly used rule of thumb according to the ISO 9223:1998 standard, the time of wetness is defined as the periods where the relative humidity exceeds 80 %. This is only a rough estimation since the formation of a moisture film on the surface also depends on the presence of hygroscopic salts (e.g. corrosion products or salt deposits). Condensation in maritime environments with chlorides will therefore take place at lower levels of relative humidity. Calculation of corrosion rates according to the latest ISO 9223:2012 standard takes into account only the mean relative humidity measured in one year (see 5.1).
Additional information	Water in the form of rain does not always increase corrosivity. It may even have a beneficial effect by washing away chlorides and pollutants. However, in usually dry and mildly corrosive environments, rain-water can provide the moisture necessary to trigger a corrosion reaction.
Examples	In rural/urban atmospheres, sheltered parts usually show less corrosion than the ones exposed to rain. On the other hand, the lack of the washing effect of the rain in coastal areas often leads to stronger corrosion.

Chlorides	
General influence	<p>Atmospheric salinity distinctly increases corrosion rates.</p> <p>Chlorides have multiple detrimental effects on the corrosion of metals. In particular these are:</p> <ul style="list-style-type: none">• Decrease in the saturation humidity: the presence of salts facilitates condensation at lower relative humidity values. This leads to longer periods with wet metal surfaces• Formation of soluble corrosion products: the dissolved metal ions form metal chlorides, which usually do not provide enough protection from further corrosion.• Destruction of passive films: chlorides attack the oxide films formed on passive metals such as stainless steel and aluminium
Additional information	<p>The corrosion behavior of a certain metal in atmospheres containing chloride strongly depends on its ability to form stable and insoluble corrosion products together with the present chlorides. For example, this is the case with zinc, which explains the much lower corrosion rate of zinc compared to steel.</p>
Examples	<p>In maritime atmospheres the main source of chlorides is the seawater. It contains mainly sodium chloride (more than 90 % of the salt), accompanied by calcium and magnesium chlorides. The main source of anthropogenic chlorides is the use of de-icing salts on roads during winter time.</p>

Anexo 8: NACE international the corrosion society. 2002. pp 128.

(Agentes atmosféricos que causan corrosión)

ENVIRONMENTAL POLLUTANTS CAUSING CORROSION

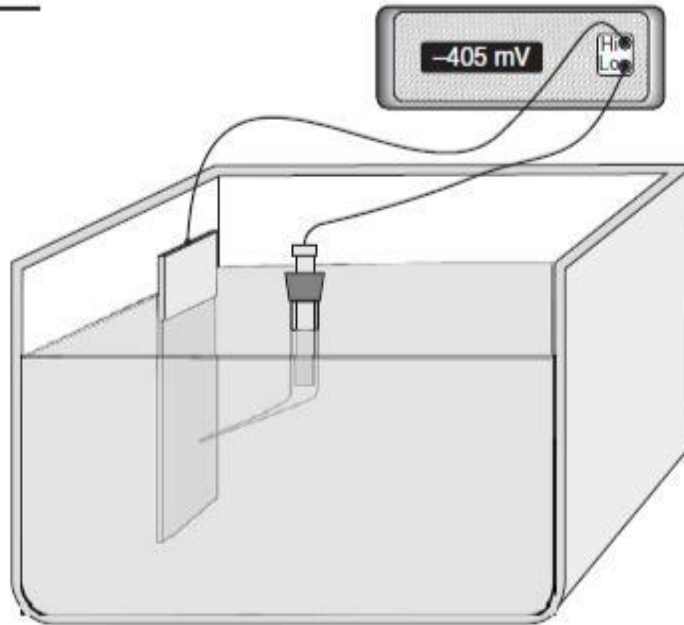
Pollutant	Sources	Susceptible Metals
Sulfur Dioxide (SO ₂)	Fossil fuel combustion, petrochemical industries, pulp and paper industry, metal producing industry	Most metals
Nitrogen Dioxide (NO ₂)	Auto & truck emissions, fossil fuel combustion, various industries	Copper, brass, synergistic with SO ₂
Hydrogen Sulfide (H ₂ S)	Pulp & paper industries, chemical industry, sewage plants, garbage dumps, oil refineries, animal shelters, volcanic activity, swamp areas, marine tidal areas	All copper and silver based metals
Chlorine (Cl ₂) but most important is chlorine containing gases.	Bleaching plants in industries, metal production, PVC plants, cleaning agents	Most metals synergistic with other pollutants
Ammonia and its Salts (NH ₃ and NH ₄ ⁺)	Fertilizer, animal and human activity, detergents	All copper based alloys, nickel, silver
Chloride (Cl ⁻)	Sea salt mist, road salt areas	Most metals
Soot (Carbon)	Combustion, auto & truck emissions, steel production	Synergistic with other pollutants; provides cathodic sites for most metals
Ozone	Formed in polluted areas, highest concentrations in smog	Strong oxidant to produce acids which attack most metals
Mineral Acids (H ₂ SO ₄ , HCl, HF, HNO ₃)	Pickling industry, chemical industry, metals production, semiconductor industry	Most metals, glass, ceramics
Organic acids	Wood, packing material, animals, preservatives	Long-term effects on some metals

ANEXOS MATERIALES Y MÉTODOS

Anexo 9: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp72.

Esquema para medir el potencial que se debe a la diferencia de cargas de los elementos, en este caso un ánodo y un cátodo

FIGURE 4.7
Experimental set-up to measure the corrosion potential of a specimen.



In measuring and reporting corrosion potentials, it is necessary to indicate the magnitude of the voltage and its sign. In the example shown in Fig. 4.7, the corrosion potential of metal M is -0.405 V. The minus sign indicates that the metal is negative with respect to the reference electrode. However, if the metal was connected to the low point (Lo) and the reference electrode to the high point (Hi) the reading would be $+0.405$ V. It is customary to connect the reference electrode to the low point or the instrumental ground to avoid any confusion in reporting. Nonetheless, some manufacturers of electrochemical equipment have done the opposite.

Anexo 10: NACE international the corrosion society. 2002. pp 129.

Clasificación de atmósferas según su nivel de corrosividad norma ISO 9223

ATMOSPHERIC CORROSION 129

CATEGORIES OF CORROSIVITY OF THE ATMOSPHERES⁽¹⁾(C)

Category	Corrosivity
C1	Very low
C2	Low
C3	Medium
C4	High
C5	Very high

Tabla 1. Categorías de corrosión atmosférica de los principales metales basada en las velocidades de corrosión del primer año de exposición.

Categoría de corrosión	Intervalos de corrosión de metales importantes				
	Unidades	Γ_{corr}			
		Acero al carbono	Zinc	Cobre	Aluminio
C1	g/(m ² -a)	$\Gamma_{corr} \leq 10$	$\Gamma_{corr} \leq 0.7$	$\Gamma_{corr} \leq 0.9$	Despreciable
	$\mu\text{m/a}$	$\Gamma_{corr} \leq 1.3$	$\Gamma_{corr} \leq 0.1$	$\Gamma_{corr} \leq 0.1$	-
C2	g/(m ² -a)	$10 < \Gamma_{corr} \leq 200$	$0.7 < \Gamma_{corr} \leq 5$	$0.9 < \Gamma_{corr} \leq 5$	$\Gamma_{corr} \leq 0.6$
	$\mu\text{m/a}$	$1.3 < \Gamma_{corr} \leq 25$	$0.1 < \Gamma_{corr} \leq 0.7$	$0.1 < \Gamma_{corr} \leq 0.6$	-
C3	g/(m ² -a)	$200 < \Gamma_{corr} \leq 400$	$5 < \Gamma_{corr} \leq 15$	$5 < \Gamma_{corr} \leq 12$	$0.6 < \Gamma_{corr} \leq 2$
	$\mu\text{m/a}$	$25 < \Gamma_{corr} \leq 50$	$0.7 < \Gamma_{corr} \leq 2.1$	$0.6 < \Gamma_{corr} \leq 1.3$	-
C4	g/(m ² -a)	$400 < \Gamma_{corr} \leq 650$	$15 < \Gamma_{corr} \leq 30$	$12 < \Gamma_{corr} \leq 25$	$2 < \Gamma_{corr} \leq 5$
	$\mu\text{m/a}$	$50 < \Gamma_{corr} \leq 80$	$2.1 < \Gamma_{corr} \leq 4.2$	$1.3 < \Gamma_{corr} \leq 2.8$	-
C5	g/(m ² -a)	$650 < \Gamma_{corr} \leq 1500$	$30 < \Gamma_{corr} \leq 60$	$25 < \Gamma_{corr} \leq 50$	$5 < \Gamma_{corr} \leq 10$
	$\mu\text{m/a}$	$80 < \Gamma_{corr} \leq 200$	$4.2 < \Gamma_{corr} \leq 8.4$	$2.8 < \Gamma_{corr} \leq 5.6$	-
CX	g/(m ² -a)	$1500 < \Gamma_{corr} \leq 5500$	$60 < \Gamma_{corr} \leq 180$	$50 < \Gamma_{corr} \leq 90$	$\Gamma_{corr} > 10$
	$\mu\text{m/a}$	$200 < \Gamma_{corr} \leq 700$	$8.4 < \Gamma_{corr} \leq 25$	$5.6 < \Gamma_{corr} \leq 10$	-

Nota: Tabla obtenida de la normativa ISO 9223:2012.

Tabla de potencial por el método de electrones libres para varios materiales

Half-Reaction	E°_{red}
$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$	0.7996
$Al^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons Al$	-1.706
$Au^+ + e^- \rightleftharpoons Au$	1.68
$Cl_2(g) + 2 e^- \rightleftharpoons 2 Cl^-$	1.3583
$Co^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Co$	-0.28
$Cr^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons Cr$	-0.74
$Cu^+ + e^- \rightleftharpoons Cu$	0.522
$Cu^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Cu$	0.3402
$Fe^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Fe$	-0.409
$Fe^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons Fe$	-0.036
$2 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons H_2$	0.0000...
$H_2O_2 + 2 e^- \rightleftharpoons 2 OH^-$	0.88
$H_2O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons 2 H_2O$	1.776
$Hg^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Hg$	0.851
$Hg_2^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Hg$	0.7961
$K^+ + e^- \rightleftharpoons K$	-2.924
$Mg^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Mg$	-2.375
$Mn^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Mn$	-1.04
$Na^+ + e^- \rightleftharpoons Na$	-2.7109
$Ni^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Ni$	-0.23
$O_2 + 2 H_2O + 4 e^- \rightleftharpoons 4 OH^-$	0.401
$O_2 + 4 H^+ + 4 e^- \rightleftharpoons 2 H_2O$	1.229
$O_2(g) + 2 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons O_2(g) + H_2O$	2.07
$Pb^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Pb$	-0.1263
$PbO_2 + 4 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons Pb^{2+} + 2 H_2O$	1.467
$Pt^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Pt$	1.2
$Sn^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Sn$	-0.1364
$Zn^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Zn$	-0.7628

Table 4.1 Standard-State Reduction Half-Cell Potentials in Alphabetical Order

Anexo 12: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice
Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 53.

Half-Reaction	E°_{red}
$O_2(g) + 2 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons O_2(g) + H_2O$	2.07
$H_2O_2 + 2 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons 2 H_2O$	1.776
$Au^+ + e^- \rightleftharpoons Au$	1.68
$PbO_2 + 4 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons Pb^{2+} + 2 H_2O$	1.467
$Cl_2(g) + 2 e^- \rightleftharpoons 2 Cl^-$	1.3583
$O_2 + 4 H^+ + 4 e^- \rightleftharpoons 2 H_2O$	1.229
$Pt^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Pt$	1.2
$H_2O_2 + 2 e^- \rightleftharpoons 2 OH^-$	0.88
$Hg^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Hg$	0.851
$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$	0.7996
$Hg_2^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Hg$	0.7961
$Cu^+ + e^- \rightleftharpoons Cu$	0.522
$O_2 + 2 H_2O + 4 e^- \rightleftharpoons 4 OH^-$	0.401
$Cu^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Cu$	0.3402
$2 H^+ + 2 e^- \rightleftharpoons H_2$	0.0000...
$Fe^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons Fe$	-0.036
$Pb^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Pb$	-0.1263
$Sn^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Sn$	-0.1364
$Ni^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Ni$	-0.23
$Co^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Co$	-0.28
$Fe^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Fe$	-0.409
$Cr^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons Cr$	-0.74
$Zn^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Zn$	-0.7628
$Mn^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Mn$	-1.04
$Al^{3+} + 3 e^- \rightleftharpoons Al$	-1.706
$Mg^{2+} + 2 e^- \rightleftharpoons Mg$	-2.375
$Na^+ + e^- \rightleftharpoons Na$	-2.7109
$K^+ + e^- \rightleftharpoons K$	-2.924

Table 4.2 Standard-State Reduction Half-Cell Potentials by Decreasing Order of Potential

Anexo 13: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice
Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 338

Capas formadas sobre una superficie expuesta a la atmósfera

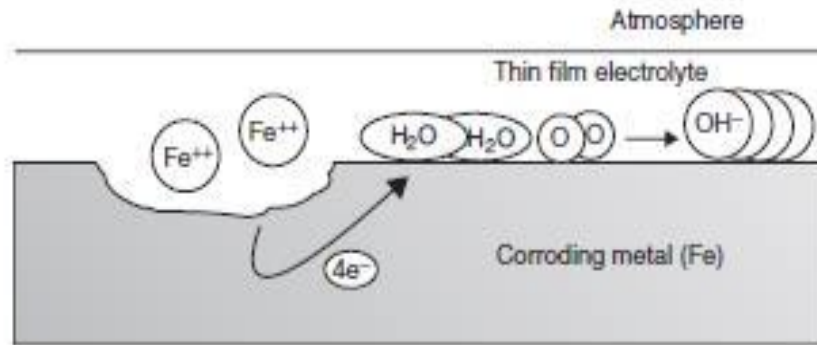
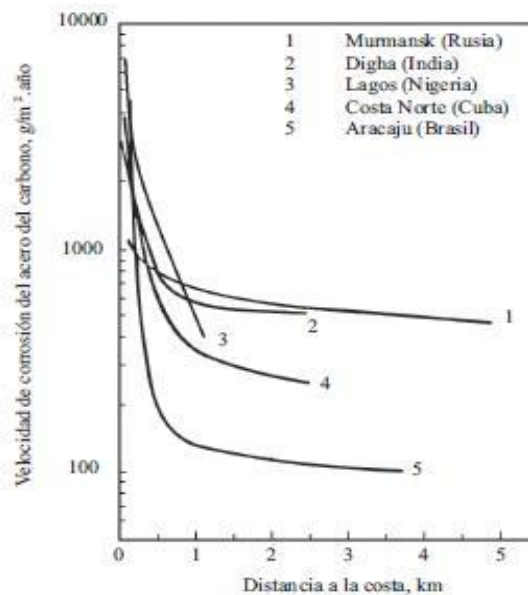


FIGURE 9.9 Schematic description of the atmospheric corrosion of iron.

Anexo 14: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice
Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 373.

Velocidad de corrosión en función a la distancia de la costa en algunas zonas



ANEXO RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anexo 15: Quito, W. evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT).
Es-cuela superior politécnica del litoral. 1994. pp 101 - 105

5.1. Estación de Guayaquil (EC - 01 - A)

TABLA N° XII

DATOS MEDIOAMBIENTALES

METEOROLÓGICOS				CONTAMINANTES	
T_m (°C)	HR _m (%)	TDH (hr)	Precip. (mm)	mgSO ₂ /m ² *día	mgCl ⁻ /m ² *día
25.2	75	2800	664	1.64	1.59

5.2. Estación de Riobamba (EC - 02 - B)

TABLA N° XIII

DATOS MEDIOAMBIENTALES

METEOROLÓGICOS				CONTAMINANTES	
T_m (°C)	HR _m (%)	TDH (hr)	Precip. (mm)	mgSO ₂ /m ² *día	mgCl ⁻ /m ² *día
13.2	71	4936	598	1.47	2.09

5.3. Estación de Salinas (EC - 03 - C)

TABLA N° XIV
DATOS MEDIOAMBIENTALES

METEOROLÓGICOS				CONTAMINANTES	
T _m (°C)	HR _m (%)	TDH (hr)	Precip. (mm)	mgSO ₂ /m ³ *día	mgCl ⁻ /m ³ *día
23.5	78.7	2105	15.9	1.55	36.27

5.4. Estación de Esmeraldas (EC - 04 - D)

TABLA N° XV
DATOS MEDIOAMBIENTALES

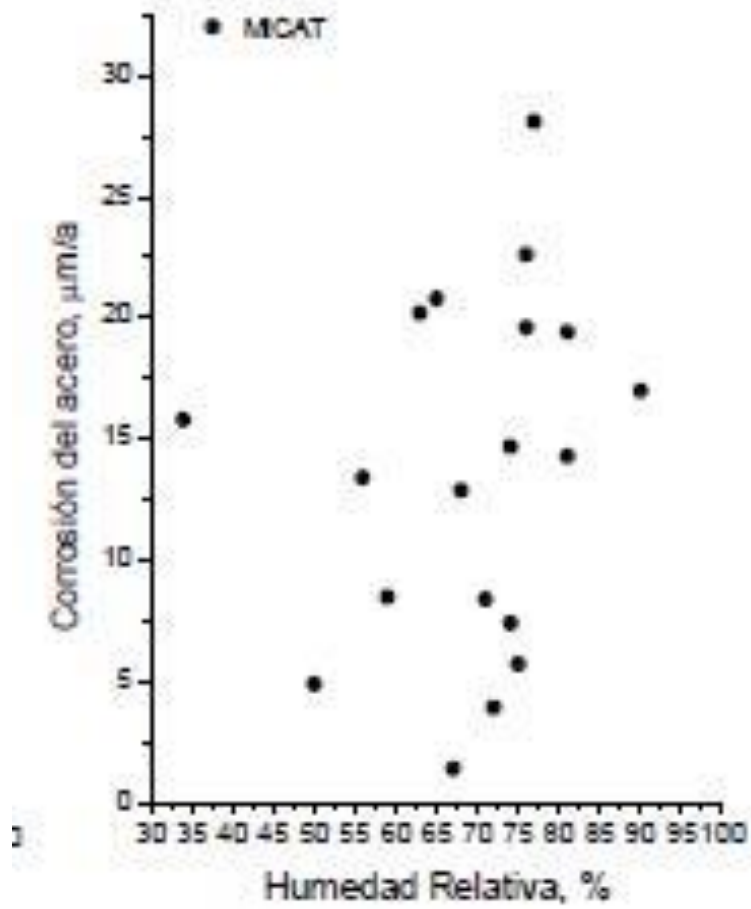
METEOROLÓGICOS				CONTAMINANTES	
T _m (°C)	HR _m (%)	TDH (hr)	Precip. (mm)	mgSO ₂ /m ³ *día	mgCl ⁻ /m ³ *día
26.8	78.4	6216	772.5	10.47	2.69

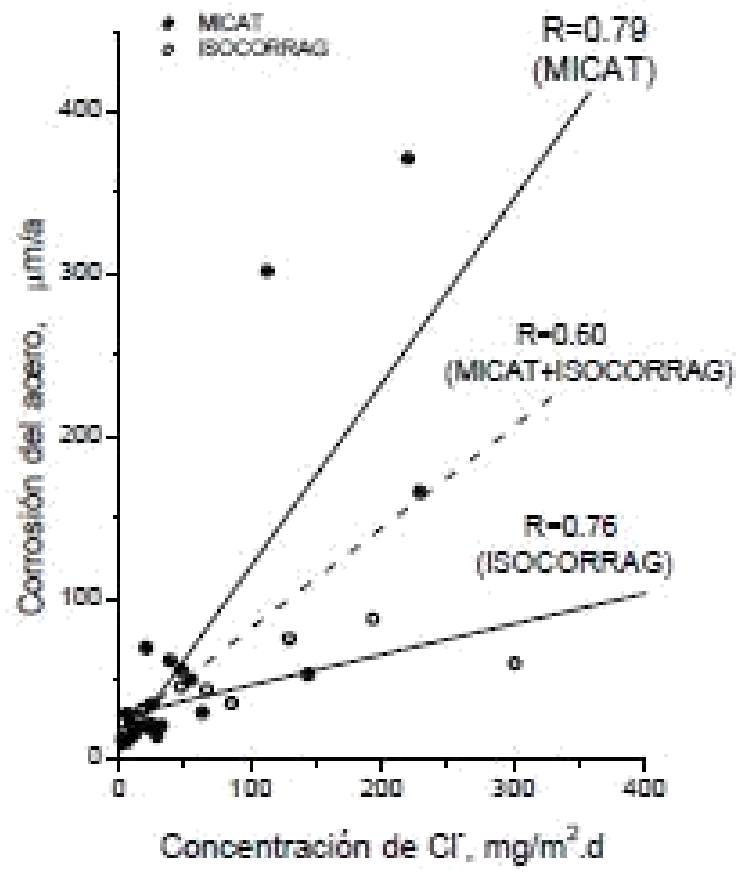
5.5. Estación de San Cristóbal (EC - 05 - E)

TABLA N° XV
DATOS MEDIOAMBIENTALES

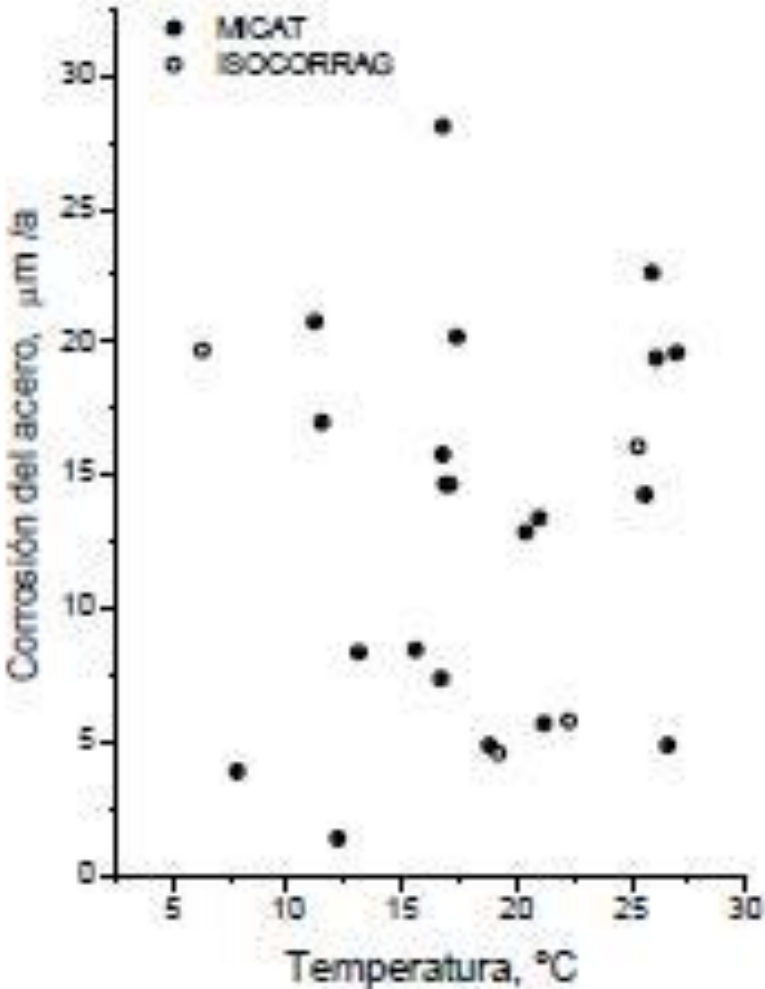
METEOROLÓGICOS				CONTAMINANTES	
T _m (°C)	HR _m (%)	TDH (hr)	Precip. (mm)	mgSO ₂ /m ² *día	mgCl ⁻ /m ² *día
24.6	80.3	1767	246.8	1.05	25.01

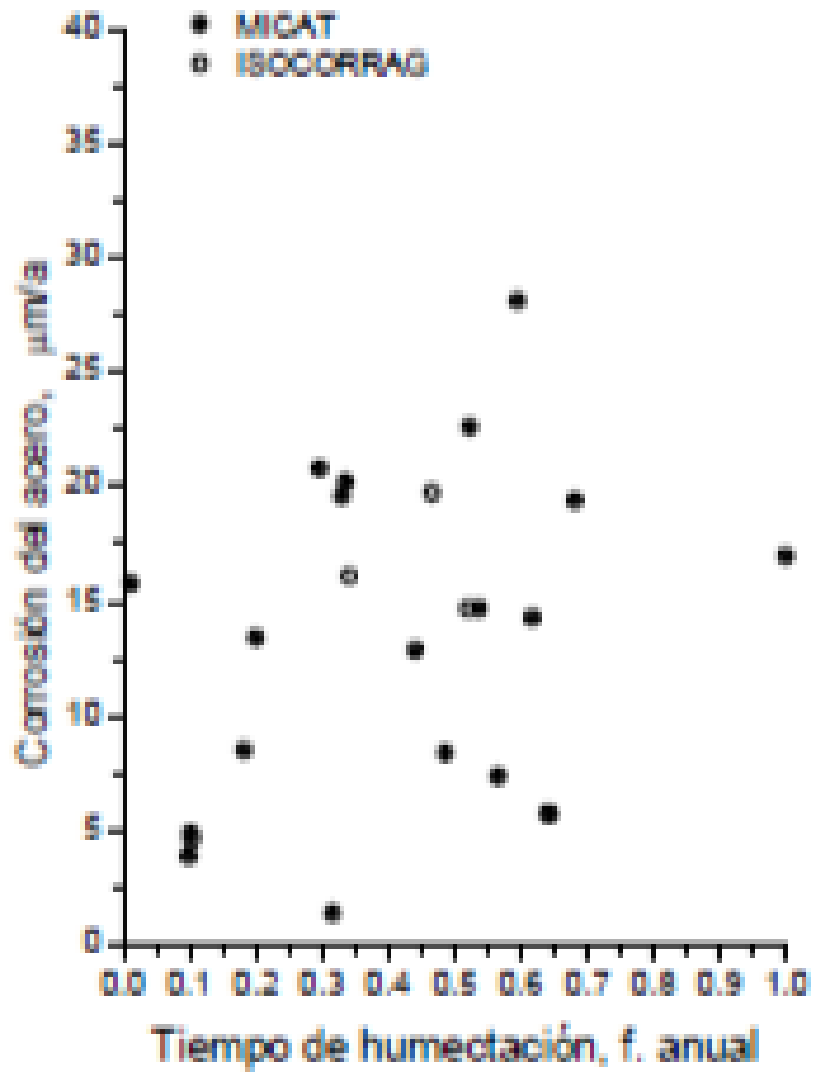
Anexo 16: Chico, B., y Simancas, J. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM/CSIC). 2018. pp 370-383.





Velocidad de corrosión del acero en función de la temperatura, resumen de datos aportados por proyecto MICAT e ISOCORRAG





3

Termo hidrógrafo

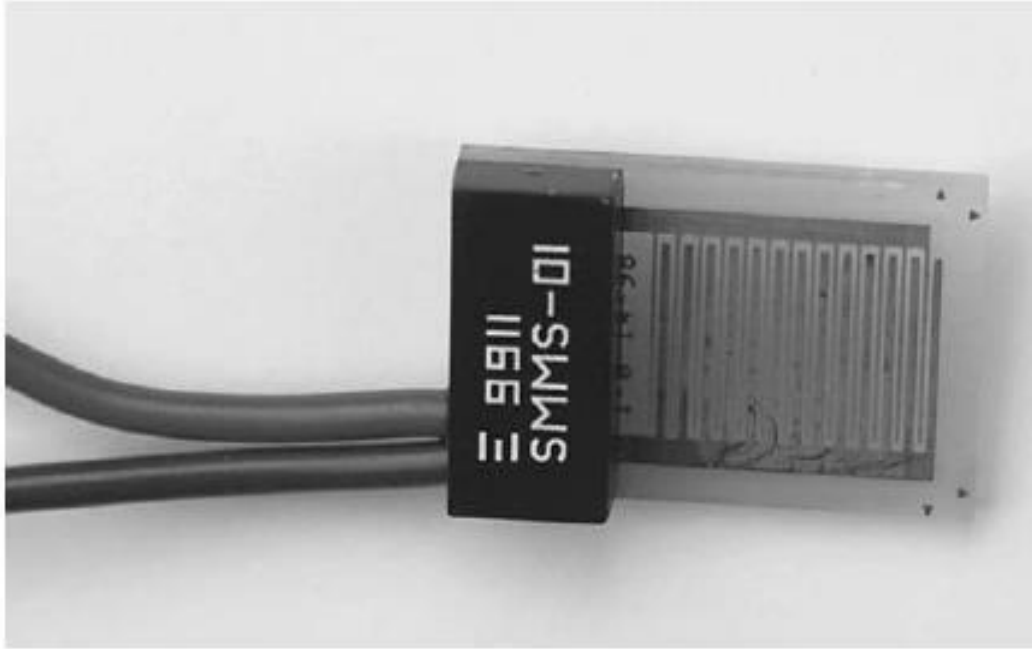
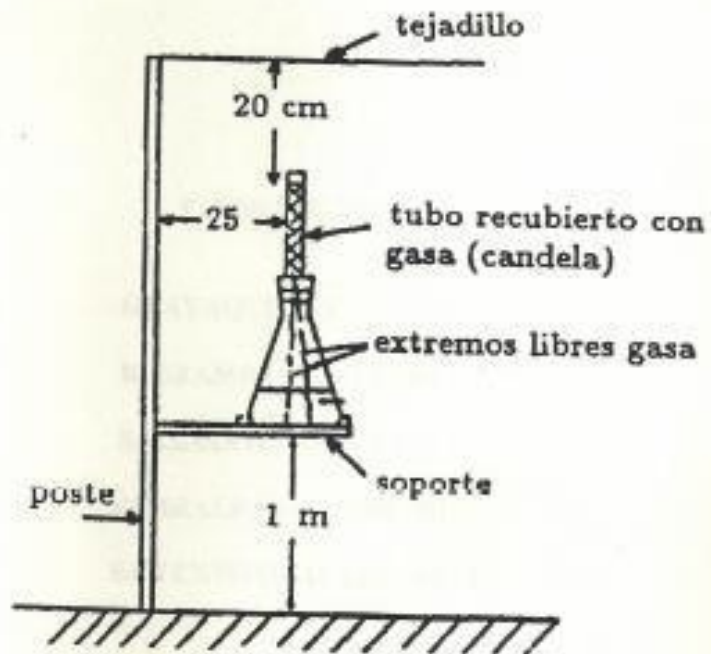


FIGURE 9.23 Interlocking combs of gold and copper electrodes in a Sereda humidity sensor.

Anexo 18: Quito, W. evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT).
Es-cuela superior politécnica del litoral. 1994. pp 139

Esquema montaje medición de iones Cl^- candela húmeda según norma ISO 9223



Esquema del método de la candela húmeda para captación de cloruros

Anexo 19: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice
Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 351.

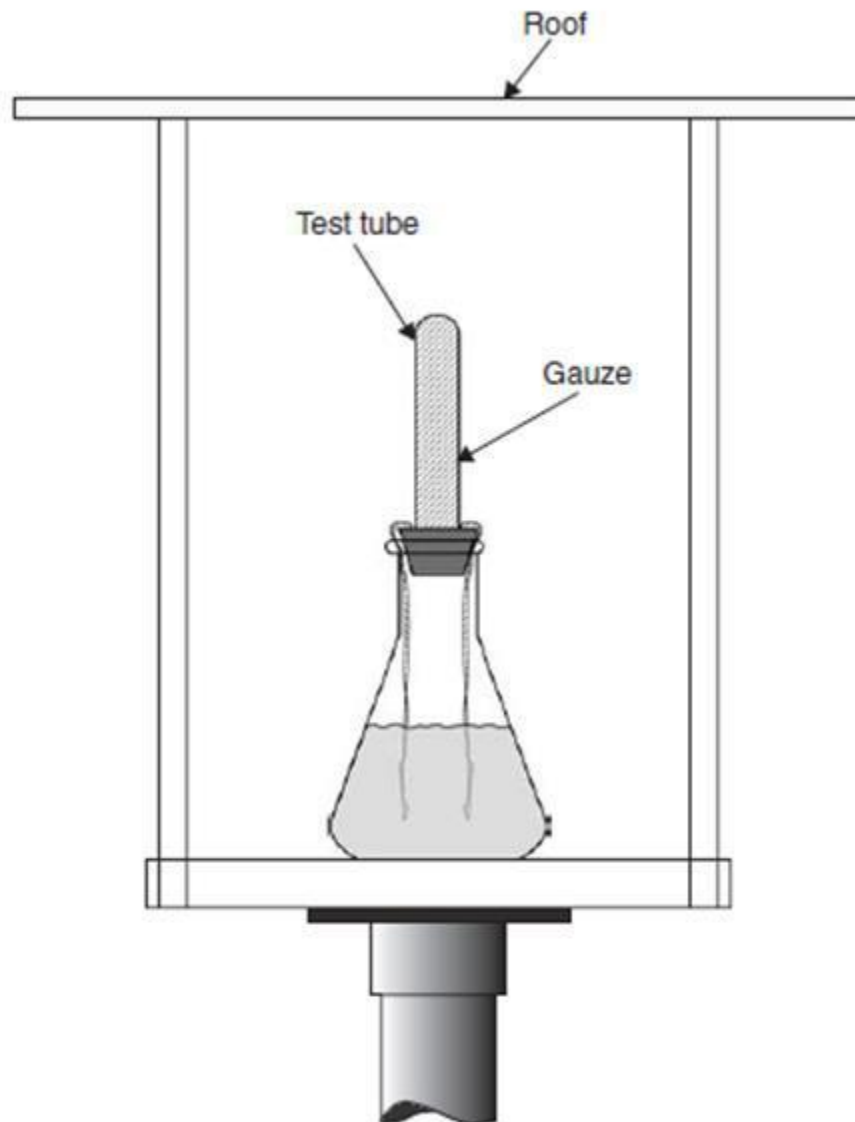


FIGURE 9.24 Schematic of a wet candle chloride apparatus.

Anexo 20: Quito, W. evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT). Es-cuela superior politécnica del litoral. 1994. pp 121

Modelos matemáticos de velocidad de corrosión atmosférica en el acero para dife-rentes zonas del Ecuador

1.- Velocidad de corrosión del acero

ESPOL - Guayaquil *	$C = 13,07t^{0,55}$
ESPOCH - Riobamba	$C = 4,31t^{0,96}$
BASE NAVAL - Salinas	$C = 44,7t^{0,71}$
REE - Esmeraldas	$C = 58,56t^{0,58}$
BASE NAVAL - San Cristóbal - Galápagos	$C = 29,96t^{1,42}$

Anexo 21: Guerra, J., Castañeda, A., Corvo, F. Atmospheric corrosion of low carbon steel in a coastal zone of Ecuador: Anomalous behavior of chloride deposition versus distance from the sea. 2018, Materials and Corrosion, pp 444–460.

Datos experimentales trabajo de Guerra y col. (2018)

Deposición iones Cl^- ($\text{mg}/(\text{m}^2 \text{ día})$)	HR (%)	C(g/m^2)
74	89	130
79	84	98
101	73	88,5
82,5	87	112
83	84	109
84	88	116,5
67	90	104,5
61,5	90	112,5
63	91	112
63	91	122,5
56	91	117
61	86	115,5

Anexo 22: Quito, W. evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MICAT).
Es-cuela superior politécnica del litoral. 1994. pp 127

Datos experimentales trabajo de Quito (1994)

Deposición iones Cl⁻ (mg/(m² día)	HR (%)	C(μm/año)
1,59	75	13,12
2,09	71	4,31
36,27	78,7	44,76
2,69	78,4	58,41
25,61	80,3	29,82

Nota: datos tomados de evaluación de la corrosión atmosférica en el Ecuador dentro del marco del proyecto mapa iberoamericano de corrosividad atmosférica (MI-CAT)por Quito. 1994. Escuela superior politécnica del litoral.

Anexo 23: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosión engineering principles and practice
Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 168 - 169.

Áreas más susceptibles a la corrosión en automotores comerciales

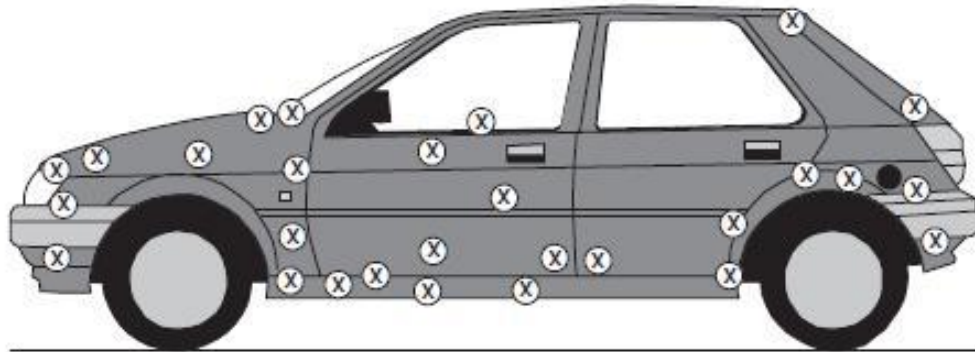


FIGURE 6.23 Diagrammatic view of corrosion prone areas in cars
(adapted from [12]).



FIGURE 6.24 Sand trapped behind trim can wear away the protective paint coating and expose the steel to the environment and subsequent severe corrosion damage.

Anexo 24: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice
Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 335.



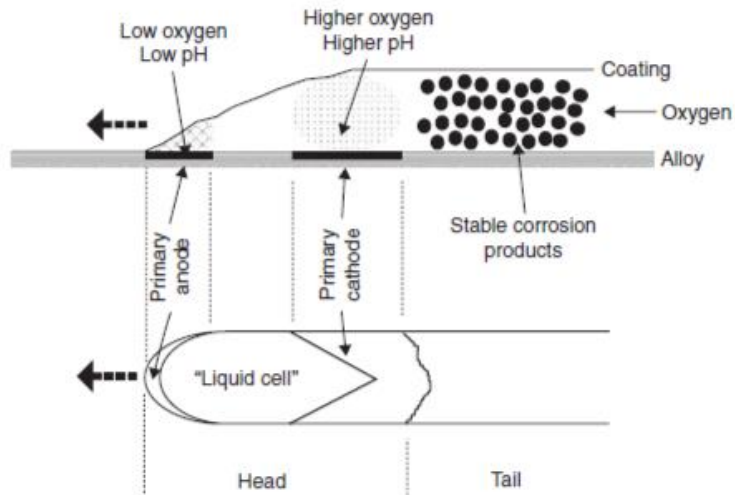
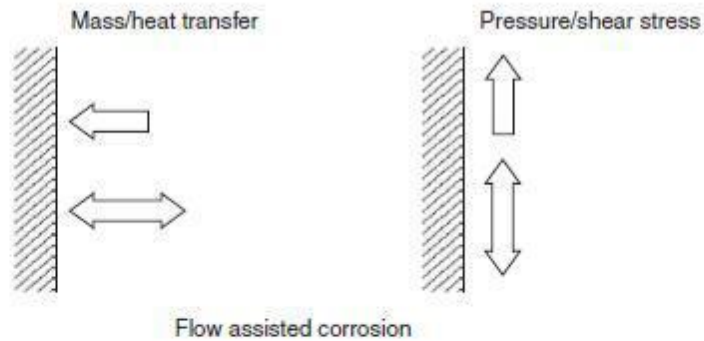


FIGURE 6.29 Graphical representation of the micro-environments created by filiform corrosion [7].

Anexo 25: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 189.

One Phase



Multiphase

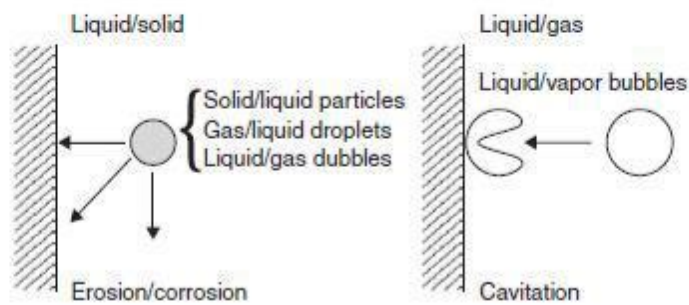


FIGURE 6.39 Interaction of flowing fluid with a solid boundary [9].

Anexo 26: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice
Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 210.

Interacción de flujo con superficie en la corrosión de metales

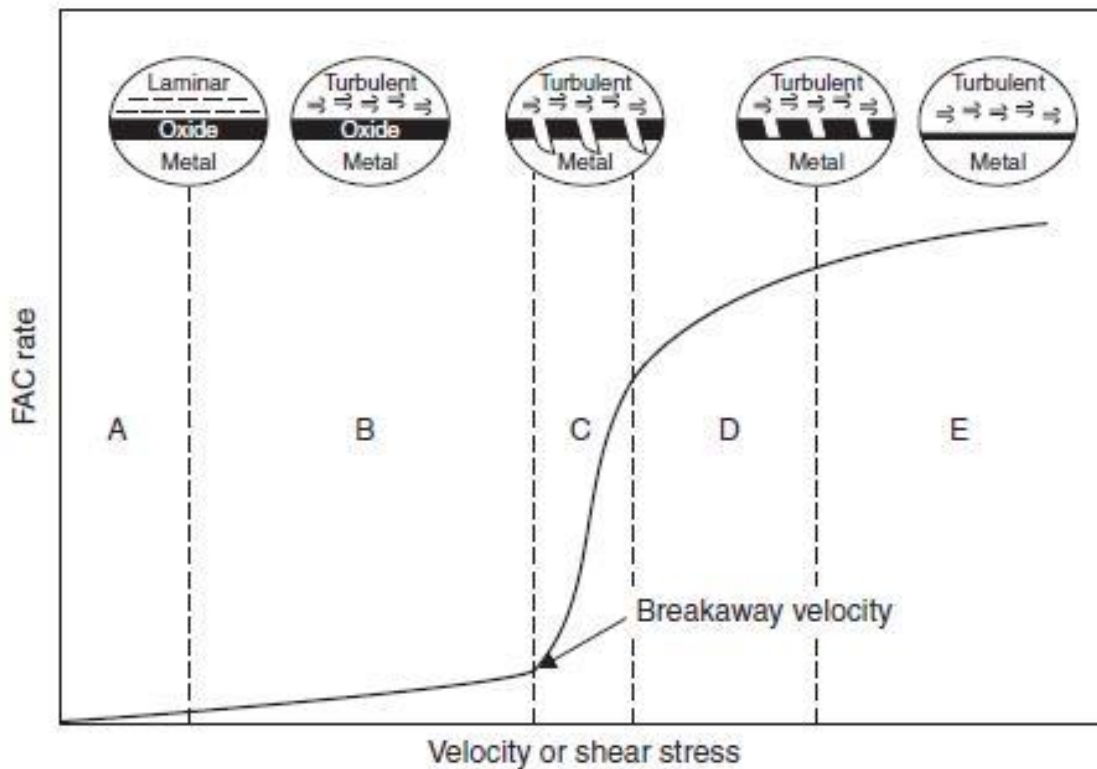


FIGURE 7.1 Changes in the corrosion and erosion mechanisms as a function of liquid velocity [5].

Anexo 27: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice
Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 279.

(Interacción de flujo con superficie en la corrosión de metales en agua de mar)

Alloy	Deepest Pit (mm)	Average Corrosion Rate (mm y ⁻¹)		
		Quiet Seawater		Flowing Seawater
			8.2 m s ⁻¹	35–42 m s ⁻¹
Carbon steel	2.0	0.075	NII	4.5
Grey cast Iron (graphitied)	4.9	0.55	4.4	13.2
Admiralty gunmetal	0.25	0.027	0.9	1.07
85/5/5/5 Cu Zn Pb Zn	0.32	0.017	1.8	1.32
NI resist cast Iron type 1B	NII	0.02	0.2	0.97
NI Al bronze	1.12	0.055	0.22	0.97
70/30 Cu NI + Fe	0.25	< 0.02	0.12	1.47
Type 316 stainless steel	1.8	0.02	< 0.02	< 0.01
6% Mo stainless steel	NII	0.01	< 0.02	< 0.01
NI-Cu alloy 40	1.3	0.02	< 0.01	0.01

TABLE 8.8 Effect of Velocity on the Corrosion of Metals in Seawater

Anexo 28: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice
Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 337.

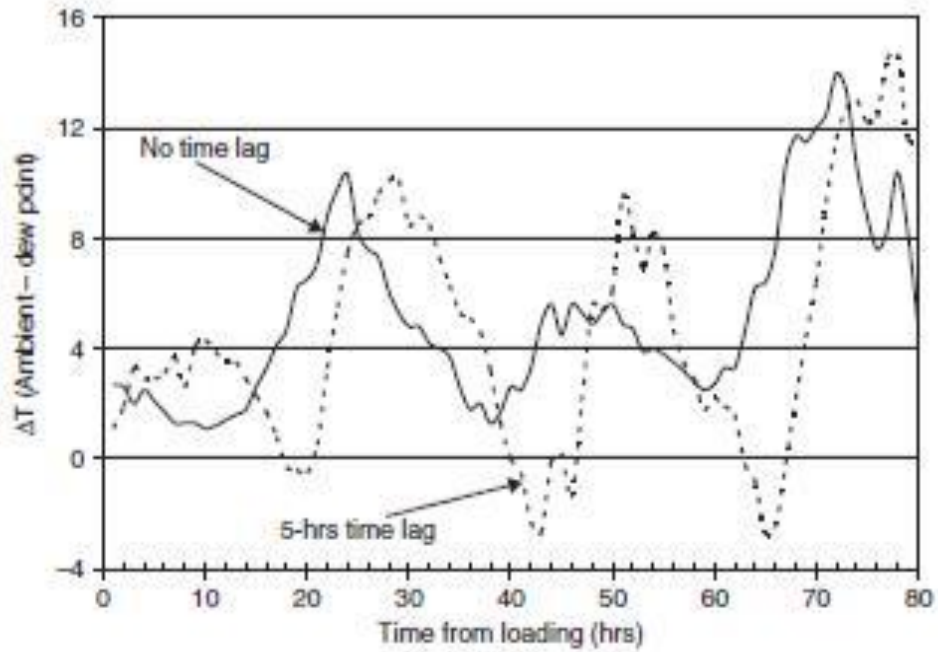
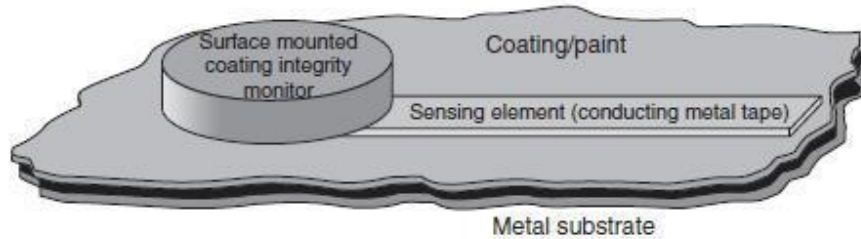


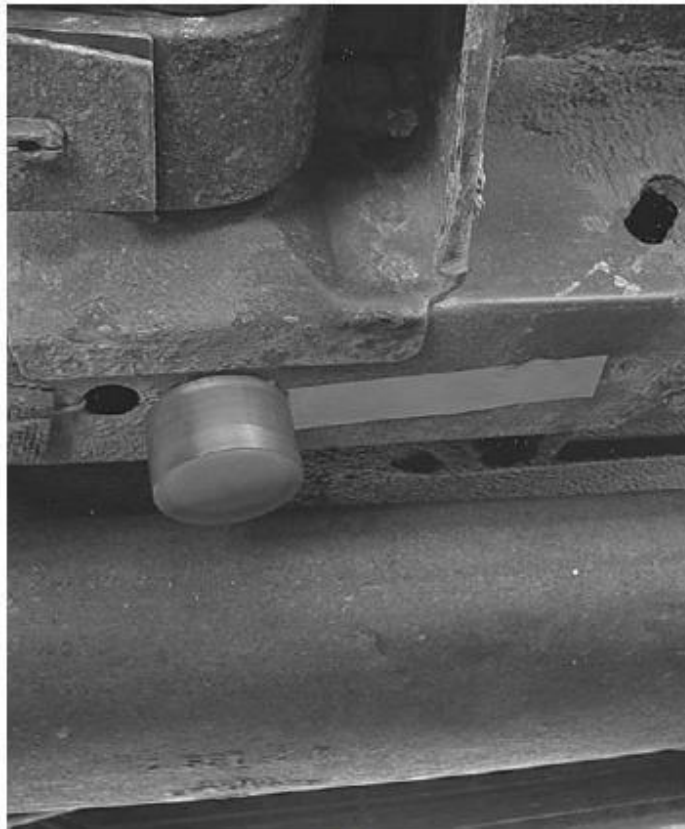
FIGURE 9.8 Difference between ambient, with and without a time lag, and dew point temperature as a function of the time of loading of steel parts stored in a truck parked outdoor for three days.

Anexo 29: Piere, R. Hilti Corporation. Corrosion engineering principles and practice
Corrosion. Mc Graw Hill. 2015 pp 127.

Montaje de un sensor conductivo en un automotor comercial para medir velocidad de
co-rrosión en función del tiempo



(a)



(b)

FIGURE 5.31 (a) Schematic of the coating health monitor (CHM) with a tape sensing element mounted on a coated metal and (b) actual sensor tape electrode and electronics housing mounted on the frame of a commercial vehicle. (Courtesy of Guy D. Davis, DACCO SCI, Inc.)