

**ESTIMACIÓN DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA MEDIANTE LA TÉCNICA DE
“ALAMBRE SOBRE TORNILLO” EN EL NORESTE DE LA CIUDAD DE
BARRANQUILLA**



EDGAR ALEXANDER PAZ OÑATE

JENNIFER TATIANA VÉLEZ MENDOZA

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA – ATLÁNTICO
ABRIL, 2021**

**ESTIMACIÓN DE LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA MEDIANTE LA TÉCNICA DE
“ALAMBRE SOBRE TORNILLO” EN EL NORESTE DE LA CIUDAD DE
BARRANQUILLA**

EDGAR ALEXANDER PAZ OÑATE

JENNIFER TATIANA VELEZ MENDOZA

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO DE GRADO PARA
OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

Director

HEIDIS PATRICIA CANO CUADRO PhD

Codirector

JENNIFER VILLA DOMINGUEZ MsC

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA – ATLÁNTICO**

2021

Nota de aceptación

Presidente de Jurado

Jurado

Jurado

Barranquilla, _____ 2021

Dedicatoria

Este trabajo de grado va dedicado principalmente a Dios quien me ha dado la oportunidad en tiempos tan difíciles de poder seguir con vida. Dedicárselo a mis padres y a mis abuelos quienes siempre han estado a mi lado apoyándome desde que inicié mi carrera hasta el día de hoy.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todas las personas que hicieron parte de este largo proceso, a mis tutoras Heidis Cano y Jennifer Villa y por supuesto a la profesora Malka Mora quien a pesar de no estar actualmente vinculada con este proceso fue parte inicial del mismo; a todo el personal de la universidad que me brindó su apoyo en todo momento para agilizar mi proceso de trabajo. Quisiera agradecer también a todas las personas que tal vez hoy no están pero que hicieron parte de este proceso y a las personas que hoy en día me apoyan, amigos, pareja, hermanos, y sobre todo a mis padres por quienes estoy aquí hoy en día.

Resumen

Actualmente en Colombia, son pocas las investigaciones que permiten determinar los índices de corrosión atmosférica, los problemas generados por la corrosión son cada vez más habituales pues el uso de estructuras metálicas es cada vez más cotidiano en los proyectos de ingeniería. El objetivo de esta investigación es clasificar los índices de corrosión atmosférica de la zona Nor-este de la ciudad de Barranquilla, así mismo, estudiar los diferentes factores meteorológicos que inciden en el proceso de corrosión; para ello se instalaron tres dispositivos de “alambres sobre tornillos” (PVC-Al, Fe-Al, Cu-Al) dentro de las instalaciones de la Universidad de la Costa. Los resultados obtenidos indicaron que a pesar de haber incidencia de los contaminantes producidos por las fábricas cercanas a la vía 40 y la salinidad proveniente del Mar Caribe, los índices de corrosión atmosférica industrial y marina, arrojaron resultados bajos, cuyo significado demostraría que la zona de estudio es habitable y la clasificación para dichos índices es despreciable o moderada. Permitiendo concluir que, a pesar de obtener clasificaciones atmosféricas bajas, la acumulación de contaminantes que generan el proceso de corrosión son notorios a largo plazo, por lo que es recomendable utilizar mecanismos de protección como materiales o recubrimientos que hagan que los procesos de corrosión sean mínimos y se extienda la vida útil de ciertos materiales metálicos como el acero, cuya vida útil al estar desprotegido puede ser en promedio de dos años antes de que se afecte su funcionalidad.

Palabras Clave: corrosión atmosférica, alambre sobre tornillo, aluminio, cobre, hierro, PVC, parámetros meteorológicos

Abstract

Currently in Colombia, there are few investigations that allow determining the atmospheric corrosion rates, the problems generated by corrosion are increasingly common since the use of metallic structures is more and more daily in engineering projects. The objective of this research is to classify the atmospheric corrosion rates of the Northeast area of the city of Barranquilla, likewise, to study the different meteorological factors that affect the corrosion process; For this, three “wires on screws” devices (PVC-Al, Fe-Al, Cu-Al) were installed within the facilities of the Universidad de la Costa. The results obtained indicated that despite the incidence of the pollutants produced by the factories near Via 40 and the salinity from the Caribbean Sea, the industrial and marine atmospheric corrosion indices showed low results, whose meaning would show that the area of study is habitable and the classification for these indices is negligible or moderate. Allowing to conclude that, despite obtaining low atmospheric classifications, the accumulation of pollutants that generate the corrosion process are notorious in the long term, so it is advisable to use protection mechanisms such as materials or coatings that make the corrosion processes minimal and the useful life of certain metallic materials such as steel is extended whose useful life when unprotected can be an average of two years before their function is affected.

Keywords: atmospheric corrosion, wire over screw, aluminum, copper, iron, PVC, meteorological parameters

Contenido

Lista de tablas y figuras.....	10
Glosario de símbolos y términos.....	14
Capítulo 1	16
1. Introducción	16
2. Planteamiento del Problema.....	18
3. Justificación	20
4. Objetivos.....	22
4.1. Objetivo General	22
4.2. Objetivos Específicos	22
Capítulo 2	23
5. Marco Teórico	23
5.1. Corrosión	23
5.2. Clasificación de los Procesos de Corrosión.....	24
5.3. Corrosión Atmosférica.....	28
5.4. Factores que Influyen en la Corrosión.....	29
5.5. Tipos de Atmósferas.....	31
5.6. Ensayo CLIMAT o “Alambre sobre tornillo”	31
6. Estado del arte	33

Capítulo 3	35
7. Parte Experimental	35
7.1. Delimitación de las Zonas de Estudio	35
7.2. Información Meteorológica	38
7.3. Determinación de la Corrosión	38
7.4. Cálculos	46
8. Resultados y Discusión.....	48
8.1. Influencia de las Variables Meteorológicas	48
8.2. Determinación de los Índices de Corrosión	66
9. Recomendaciones	76
10. Conclusiones.....	74
11. Referencias.	79

Lista de tablas y figuras

Tablas

Tabla 1. Procedimientos de limpieza química para la eliminación de productos de corrosión.....	41
Tabla 2. Clasificación de la corrosividad basado en la norma ISO 9223.....	46
Tabla 3. Clasificación de los niveles de corrosividad industrial basada en datos CLIMAT.....	47
Tabla 4. Clasificación de los niveles de corrosividad marina basada en datos CLIMAT.....	47
Tabla 5. Datos de temperatura obtenidos durante el tiempo de exposición	49
Tabla 6. Datos de humedad relativa obtenidos durante el tiempo de exposición.....	51
Tabla 7. Tabla B.1 de la norma ISO 9223 donde se clasifican los tiempos de humectación de superficies metálicas que se corroen.....	54
Tabla 8. Velocidades de viento recopiladas durante meses de exposición	56
Tabla 9. Intensidades de lluvia durante meses de exposición	62
Tabla 10. Velocidad de deposición de cloruros en los meses de exposición para cada estación (mg/m ² *día)	65
Tabla 11. Meses correspondientes a cada trimestre de exposición.....	66
Tabla 12. Datos obtenidos de las probetas utilizadas durante el primer trimestre de exposición.	66
Tabla 13. Datos obtenidos de las probetas utilizadas durante el segundo trimestre de exposición	67
Tabla 14. Datos obtenidos de las probetas utilizadas durante el tercer trimestre de exposición...	68
Tabla 15. Datos obtenidos de las probetas utilizadas durante el cuarto trimestre de exposición.	69
Tabla 16. Clasificación atmosférica de la zona por medio de los I.C.M y los I.C.I.....	73

Figuras

Figura 1. Probetas con tornillos utilizadas para la ejecución del desarrollo experimental.....	21
Figura 2. Ejemplo de deterioro de un metal por corrosión.....	23
Figura 3. Criterios tomados en cuenta para clasificar la corrosión.....	24
Figura 4. Clasificación de la corrosión.....	24
Figura 5. Ejemplo de corrosión uniforme.....	25
Figura 6. Ejemplo de corrosión localizada	26
Figura 7. Ejemplo de flujo de corriente electroquímica entre dos pilas.....	28
Figura 8. Ensayo CLIMAT o ensayo de “Alambre sobre tornillo”.	32
Figura 9. Mapa de localización de la Universidad de la Costa en Barranquilla.	35
Figura 10. Ubicación de las diferentes estaciones dentro de la Universidad de la Costa	36
Figura 11. Estación 1 (E1) ubicada en la azotea del bloque 11 dentro de la Universidad de la Costa.....	36
Figura 12. Estación 2 (E2) ubicada en la azotea del bloque 9 dentro de la Universidad de la Costa.....	37
Figura 13. Estación 3 (E3) ubicada en la azotea del bloque A dentro de la Corporación Universitaria Latinoamericana.....	37
Figura 14. Estación meteorológica ubicada en la azotea del bloque 9 dentro de la Universidad de la Costa.....	38
Figura 15. Aluminio 99,5% puro, utilizado para formar los pares galvánicos para el estudio.....	39
Figura 16. Probetas limpias y enrolladas a nuevos aluminios esperando ser instaladas en las diferentes estaciones.....	39
Figura 17. Proceso de limpieza de cada una de las probetas en laboratorio.....	40

Figura 18. Productos de corrosión o ganancia de masa adheridas a las probetas de la estación 3.	40
Figura 19. Proceso de limpieza de probetas de hierro en solución de ácido clorhídrico y Tetramina de Hexametileno.....	41
Figura 20. Limpieza realizada a cada una de las probetas con dos beakers llenos de agua destilada y uno con etanol para eliminar cualquier rastro de la solución utilizada.....	42
Figura 21. Probeta de cobre siendo limpiada con solución de ácido sulfámico.	43
Figura 22. Probetas de PVC luego de ser limpiadas con abundante agua y jabón.	44
Figura 23. Probetas limpias y recién instaladas sin ningún producto de corrosión.	44
Figura 24. Aluminio retirado con evidente adherencia de productos de corrosión.	45
Figura 25. Promedios de temperaturas obtenidas durante el periodo de exposición.	50
Figura 26. Promedios de humedades relativas obtenidas durante el tiempo de exposición.	52
Figura 27. Tiempos de humectación durante tiempo de exposición.	53
Figura 28. Velocidades de viento durante tiempo de exposición.	57
Figura 29. Rosa de viento para primer trimestre del 2 de abril de 2019 al 2 de Julio de 2019.	58
Figura 30. Rosa de viento para segundo trimestre del 2 de Julio de 2019 al 2 de octubre de 2019.	59
Figura 31. Rosa de viento para tercer trimestre del 2 de octubre de 2019 al 2 de enero de 2020. 60	
Figura 32. Rosa de viento para cuarto trimestre del 2 de enero de 2020 al 2 de abril de 2020.	61
Figura 33. Intensidades de lluvia durante tiempo de exposición.	63
Figura 34. Diagrama de barras de la velocidad de deposición de cloruros en los meses de exposición para cada estación.....	65
Figura 35. Índices de corrosión marina obtenidos a lo largo de un año de exposición.....	70

Figura 36. Índices de corrosión industrial obtenidos a lo largo de un año de exposición.....	70
Figura 37. Estación 1 (E1) “protegida” por ráfagas de viento provenientes del Este y Norte.	71
Figura 38. Vista desde la estación 2 (E2) en la que se observa la gran exposición a cualquier contaminante arrastrado por el viento.....	72
Figura 39. Vista desde la estación 3.....	72

Glosario de símbolos y términos

Estructuras metálicas: Por estructura metálica se entiende cualquier estructura cuyas partes son en su mayoría materiales metálicos. Las estructuras metálicas son utilizadas habitualmente en el sector industrial debido a que aportan excelentes características para la construcción. (Codimec, 2016)

Par galvánico: El par galvánico es un término que se utiliza para denominar un efecto que ocurre cuando se encuentran en contacto directo dos metales de diferente composición y un electrolito que generalmente es agua. (Syscom, 2018)

Precipitación: Se definen como la caída de agua procedente de las nubes, en forma de gotitas o de partículas sólidas. Las pequeñas gotitas de las nubes (de 10 a 30 micras de diámetro) se unen y forman gotas más grandes (de 2000 micras de diámetro), que vencen la resistencia del aire y caen. (Rivas Cardenas, 2018)

Contaminación atmosférica: La contaminación atmosférica es la presencia en el aire de materias o formas de energía que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas y seres de la naturaleza popular, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. (Feliu & Andrade, 1991)

Aditivo inhibidor de corrosión: Los inhibidores de corrosión son un tipo particular de aditivo químico para hormigón cuya función principal no va dirigida a actuar directamente sobre el hormigón en sí, sino sobre la armadura protegiéndola frente al ataque de agentes agresivos. (Ingenieros de la crisis, 2012)

Degradación: Se denomina degradación, al ataque que sufren los materiales causados por su interacción con el medio ambiente, y que conlleva a la pérdida y/o deterioro de sus propiedades. (Carranza, Duffo, Farina, & Kirschenbaum, 2010)

Erosión: Ocurre cuando la corrosión está acompañada por un proceso de desgaste mecánico (o abrasivo), normalmente debido a que existe un movimiento relativo entre el material metálico y el medio corrosivo. (Vasquez, 2018)

Electrolitos: Un electrolito es una sustancia que, al disolverse en agua, da lugar a la formación de iones. Los electrolitos pueden ser débiles o fuertes, según estén parcial o totalmente ionizados o disociados en medio acuoso. (CIQUIME, S.f)

Celda electroquímica: Una celda electroquímica es un dispositivo experimental por el cual se puede generar electricidad mediante una reacción química (celda Galvánica). O, por el contrario, se produce una reacción química al suministrar una energía eléctrica al sistema. (Lopez, 2010)

pH: El pH es una variable química que permite medir el grado de acidez de una sustancia. (García Bello, 2019)

Soluciones: Una solución química es la mezcla homogénea de una o más sustancias disueltas en otra sustancia en mayor proporción. Una solución química es compuesta por soluto y solvente. El soluto es la sustancia que se disuelve y el solvente la que lo disuelve. (Significados, 2019)

□4: Clasificación de atmósferas dependiendo del tiempo de humectación según la norma ISO 9223. (ISO 9223, 2012)

Capítulo 1

1. Introducción

Actualmente en Barranquilla, el aumento de construcciones metálicas está presentando un alto índice de crecimiento. Cada día es mayor el uso de infraestructuras que utilizan aluminio, acero y otros materiales metálicos, como los centros deportivos construidos y remodelados para los XXIII juegos centroamericanos y del caribe que se celebraron en el mes de julio del 2018. Otra ejemplificación clara que ratifica el índice de crecimiento de construcciones metálicas sería el nuevo centro de convenciones del caribe, cuya fachada y diseño arquitectónico tiene un gran porcentaje de materiales metálicos expuestos a las condiciones climatológicas de la ciudad, esto sin olvidar el nuevo monumento que da la bienvenida a la ciudad “la ventana al mundo”, una gran apuesta del grupo Tecnoglass que levantó dicho monumento de 48 metros con acero, aluminio y vidrio. A nivel nacional en Colombia se está evidenciando un giro definitivo hacia las estructuras metálicas que demuestran un potencial crecimiento, cuyo aumento será entre el 26% y el 30% en los próximos 10 años. (Dinero, 2014)

El deterioro de las estructuras metálicas en la ciudad de Barranquilla, es un problema latente que ha afectado a la ciudad durante largo tiempo, problema que se le atribuye a la omisión de las características ambientales y meteorológicas. Esto se evidencia en el deterioro de estructuras como, por ejemplo, el puente ubicado frente a la universidad autónoma del caribe ubicado en la carrera 46 con calle 90 de la ciudad de Barranquilla, y que se vio en la obligación de ser desmontado en junio de 2018 por su avanzado estado de deterioro gracias a los efectos de la corrosión. (Perez, 2018). El deterioro de diversos postes en la ciudad es otra evidente manifestación de los elevados índices de corrosión en la ciudad de Barranquilla, dichos postes se encuentran deteriorados y, en la gran mayoría de casos con su acero de refuerzo expuesto y en

estado avanzado de corrosión. (Perez, 2017). También, el evidente daño que se presenta actualmente en el nuevo puente Pumarejo en el cual el óxido ya hace parte de las estructuras como barandas de seguridad, reflejando así la falta de mantenimiento que ha tenido desde que se llevó a cabo la inauguración. (Saavedra T, 2020).

En este orden de ideas y teniendo en cuenta el auge de las estructuras metálicas, se deben tener en cuenta distintos controles de calidad a las estructuras que permitan que los materiales se desempeñen de manera óptima durante su vida útil y unos parámetros ingenieriles que permitan que estos sean funcionales. Dichos controles deberían ser respaldados por estudios que determinen el impacto que puede generar la corrosión atmosférica en los materiales utilizados.

En un país tan extenso y con tanta diversidad geográfica como lo es Colombia, no se había realizado un estudio de corrosión atmosférica que incluyese ambientes con diferentes grados de agresividad tanto marinas como industrial. (Correa Bedoya, y otros, 2007). Determinar los índices de corrosión atmosférica de las zonas de estudio es un proceso complejo en el que deterioran las estructuras y, que puede variar según las condiciones en las que el estudio se realice, es por esto que cada ensayo puede variar y no se puede hacer de forma general o asumir condiciones que no son exactas.

En este trabajo, se analizará el comportamiento de 3 pares galvánicos (Al-Fe, Al-Cu, Al-PVC), expuestos en la zona Noroeste de la ciudad de Barranquilla durante un periodo de 1 año, realizando cambios y limpiezas en los pares galvánicos utilizados cada 3 meses; esto con el fin de recopilar información que permita comparar y clasificar los índices de corrosión atmosférica, junto con análisis meteorológicos y concentraciones de cloruros de la zona, determinando así, cuál es el comportamiento de dichos índices de corrosión respecto a cada trimestre de exposición y cómo estos varían según cada época del año y sus diferentes cambios meteorológicos.

2. Planteamiento del Problema

La corrosión atmosférica es un fenómeno natural y puede definirse como la destrucción o deterioro de un material a causa de su reacción con el medio ambiente bien sea aire, agua de mar o cualquier tipo de fluido que genere reacciones químicas entre sí, provocando así el proceso de corrosión. (Salazar,2015).

En la actualidad, y desde finales del siglo XIX, uno de los materiales de construcción más utilizados en todo el mundo ha sido el concreto. Este comenzó a emplearse en países como Alemania y Estados Unidos, cuyo objetivo era buscar aumentar la capacidad de tracción de sus mezclas cementantes (Yepes Piqueras, 2017); su consumo supera el de cualquier otro teniendo una producción mundial cercana a los 13.000 millones de m³ por año. (Ceballos, 2016. p24)

Una parte sumamente importante de las estructuras de concreto como las edificaciones ya sean pequeñas, medianas o grandes, puentes o también losas de concreto para vías entre otras, están reforzadas con varillas de acero, no obstante, estas, al estar expuestas al medio ambiente tienden a ser susceptibles a fallar por corrosión, dicha susceptibilidad es descrita en publicaciones hechas tales como (Perez, 2018), (Perez, 2017), (Saavedra T, 2020), ahora bien, las estructuras netamente metálicas como las torres de telecomunicaciones, estructuras entramadas o diversos puentes presentan un mayor grado de deterioro al estar expuesta sin ningún tipo de recubrimiento ante la atmósfera.

El grado de deterioro de los materiales se relaciona directamente con diversos factores, entre los que cabe destacar el tipo de atmósfera en el que se encuentran expuestos los materiales, los factores meteorológicos como, por ejemplo, las altas precipitaciones, fuertes vientos, o zonas en las que la humedad relativa es alta impidiendo que el material metálico trabaje en condiciones secas. También, los contaminantes que se encuentran mayormente en zonas industriales en la que

los ataques químicos son constantes y la cantidad de agentes a los que el metal se enfrenta son diversos. (Del Ángel Meraz, Veleva, & M Acosta, 2009)

El problema de la corrosión de las estructuras de acero, como el deterioro de acabados o de piezas indispensables para el buen funcionamiento de la estructura es un tema de mucho interés ya que esta conlleva a implicaciones económicas mayores; una de las características principales de las estructuras metálicas es su gran resistencia y su practicidad a la hora de ser construidos, pero en caso de presentarse algún daño o ante la necesidad de alguna reparación los costos son elevados, es por esto que se necesita anticipar que clase de deterioros pueda ocasionar el medio en el que se encuentra expuesta la estructura para así poder llevar a cabo el correcto proceso de instalación y determinar de qué forma se puede prevenir que estos costos aumenten debido a los efectos de la corrosión atmosférica.

La habilidad para evaluar el efecto de la atmósfera en la corrosión de los materiales metálicos y poder estimar la vida en servicio remanente es tema de estudios en muchas partes del mundo, tal como se puede observar en trabajos como: (Del Ángel Meraz, Veleva, & M Acosta, 2009), (Diaz Ocaña, 2013), (Gallardo, Galicia, Lugo, Pérez, & Rosas, 2014), (Morcillo Linares & Feliu Matas, 1993), entre otros autores. En consecuencia, esta propuesta se enfatiza en estimar el grado de corrosividad atmosférica mediante la técnica alambre sobre tornillo en el noroeste de la ciudad de Barranquilla y así poder establecer la influencia de esto en la degradación de los materiales.

3. Justificación

La contaminación atmosférica y los parámetros ambientales están vinculados con el comportamiento de corrosión del material. La medición diaria de estos, especialmente la temperatura, humedad, velocidad del viento, entre otros, influyen en gran medida en el comportamiento de los materiales y revela el efecto de estos sobre los materiales.

La clasificación en orden de corrosividad de una zona, región o país varía según el tipo de atmósfera ya sea, Rural, Urbana, Marina, Industrial o combinaciones entre alguna de estas. Esto constituye una valiosa información que fundamenta los criterios de selección para los materiales metálicos que se utilizarán y también, para los recubrimientos óptimos que permitan una protección eficaz contra la corrosión atmosférica.

Además, en parámetros constructivos permite determinar si es necesario utilizar algún tipo de aditivo inhibidor de corrosión que disminuya este fenómeno.

La estimación de la corrosión atmosférica no es tarea fácil, pues existe gran cantidad de variables que intervienen en el proceso (la humedad, la temperatura, la velocidad del viento, la precipitación), así como también, diferentes formas de realizar la medición; partiendo desde probetas metálicas planas y ensayos acelerados de laboratorio en el que las condiciones naturales muchas veces son difíciles de reproducir. Por último, la técnica “alambre sobre tornillo” (Ver Figura 1) que constituye una valiosa herramienta de trabajo confiable, rápida, y reproducible, sin perder la información real del proceso corrosivo inherente a los ensayos. Este método es uno de los más difundidos, pero requieren un largo periodo de exposición, a lo sumo 1 año.



Figura 1. Probetas con tornillos utilizadas para la ejecución del desarrollo experimental. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)

Una vez obtenidos los resultados de la experimentación que permitan determinar el nivel de corrosión de la zona noroeste de la ciudad de Barranquilla, se puede explicar con hechos los riesgos a los que pueden estar expuestas ciertas obras o infraestructuras, cuyo daño pueda comprometer todo el proyecto. También es importante recomendar tipos de aditivos (para proteger los aceros de refuerzo en una construcción de concreto) o recubrimientos que permitan disminuir la incidencia de este efecto sobre las obras cercanas a la zona estudiada.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Establecer los índices de corrosión atmosférica mediante la técnica “alambre sobre tornillo” para sugerir estrategias que ayuden a combatir la corrosión.

4.2. Objetivos Específicos

- Exponer alambres sobre tornillo para determinar los índices de corrosión industrial y marina en la zona noroeste de la ciudad de Barranquilla.
- Determinar la pérdida de masa de los pares galvánicos Al-Cu, Al-Fe y Al-PVC expuestos en la zona noroeste de la ciudad de Barranquilla.
- Comparar las variables meteorológicas mediante una caracterización climática de la zona de estudio.

Capítulo 2

5. Marco Teórico

5.1. Corrosión

La corrosión es un término utilizado para describir el proceso de degradación de los materiales metálicos (incluidos los metales puros y las aleaciones). El proceso se produce por la interacción física y química entre el metal y el entorno reactivo. Este cambio hará que las propiedades del metal cambien, se deterioren o fallen, provocando cambios en su estructura y función. En el caso de deterioro asociado a otro tipo de materiales, como polímeros y cerámicas, se denomina degradación o deterioro. (Revie & Uhlig, 2008)

El proceso de corrosión se atribuye a que el material vuelve fácilmente a su estado original (Ver Figura 2), es decir, reaccionará con el ambiente para volver a su forma mineral y combinarse con otros elementos como óxidos, azufre, cloruros, sulfatos o carbonatos. En otras palabras, la pérdida de metal por corrosión es un desperdicio no solo del metal, sino que también desperdicia la energía, el agua y la mano de obra originalmente utilizados para producir y fabricar estructuras metálicas. (Salazar,2015)



Figura 2. Ejemplo de deterioro de un metal por corrosión. Destek, E. (2021) recuperado de: <https://www.ekoldestek.com/cephe-onarim-izolasyon-ve-korozyon-onleme-hizmetleri/>

Los fenómenos de corrosión se pueden clasificar de acuerdo a diferentes criterios mostrados en la Figura 3.

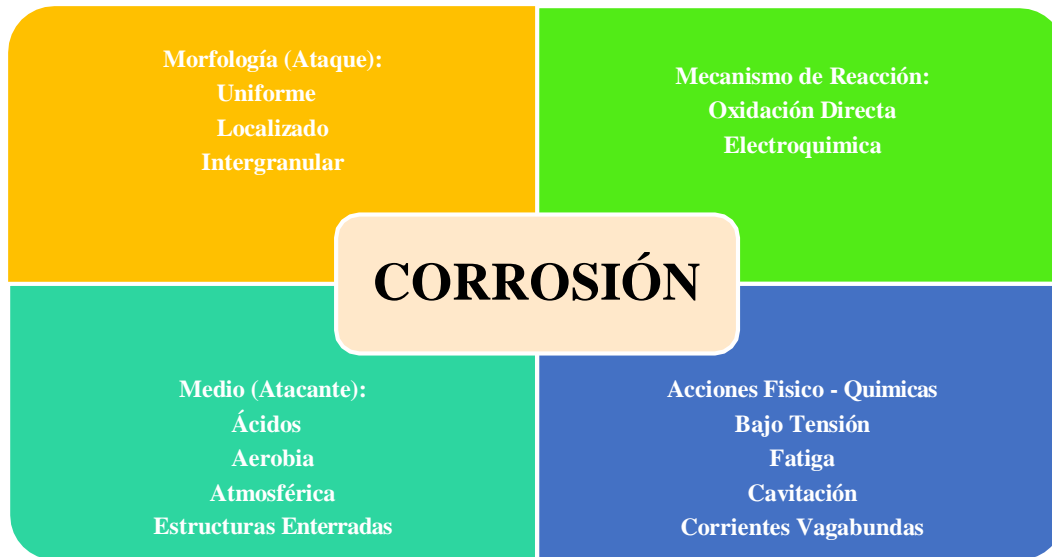


Figura 3. Criterios tomados en cuenta para clasificar la corrosión (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

5.2. Clasificación de los Procesos de Corrosión

La corrosión se puede clasificar según su morfología o según el medio en el que se desarrolla. La Figura 4, muestra dicha clasificación:

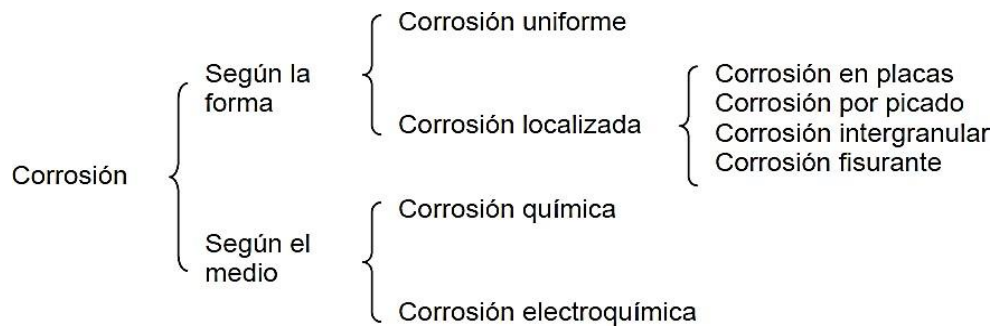


Figura 4. Clasificación de la corrosión. Universidad tecnológica de Pereira (2015) Imagen recuperada de: <https://blog.utp.edu.co/metalografia/files/2015/12/14.png>

5.2.1. Clasificación Según la Forma

Esta clasificación es conveniente cuando se quiere evaluar los daños producidos por la corrosión:

- a) **Corrosión Uniforme.** Es el adelgazamiento uniforme causado por la pérdida periódica de la superficie del metal lo que provoca la corrosión. La erosión se distribuye uniformemente por toda la superficie del metal (Ver Figura 5) y la permeabilidad media es igual en todos los puntos. (Wandelt, 2018)



Figura 5. Ejemplo de corrosión uniforme. Morones, S. V. P. (2017) Imagen recuperada de: <https://amegac.org/corrosion/>

Esta es la forma más benigna de corrosión porque gracias a esta se puede calcular fácilmente la vida útil de los materiales corroídos. Este tipo de corrosión es el que causa la mayor pérdida de material, pero es relativamente fácil de predecir y controlar, por lo que hay pocos accidentes provocados por la corrosión. (Salazar, 2015)

b) **Corrosión Localizada.** A diferencia de la corrosión uniforme, la corrosión localizada tiene un riesgo potencial mayor porque es difícil de detectar porque aparecerá en un área específica del material (Ver Figura 6), lo que depende no solo de la naturaleza del material, su geometría, sino también según el estado del material. Los procesos de corrosión local más comunes son: galvánica, grietas, picaduras, cavitación y microorganismos. (El-Sherik,2017)



Figura 6. Ejemplo de corrosión localizada. Arqhys.com (2018) Imagen tomada de: <http://www.arqhys.com/articulos/corrosion.jpg>

5.2.2. Clasificación Según el Medio

- a) **Corrosión Química.** La corrosión química se refiere a la destrucción de metales u otros materiales mediante la acción de gases o líquidos no electrolíticos, un ejemplo típico de corrosión química es la oxidación de metales a altas temperaturas. Bajo este nombre se estudia la reacción de metales con medios no iónicos (por ejemplo, oxidación en aire a altas temperaturas). Suponiendo que se exponga una superficie metálica limpia al oxígeno, el metal comenzará a reaccionar para formar óxidos. (Britannica,2009) Por ejemplo, una pieza de Hierro calentada al aire seco, por encima de los 500 °C esta se oxidará a una velocidad apreciable. (*Universidad de Buenos Aires*)
- b) **Corrosión Electroquímica.** A temperatura ambiente es la forma de corrosión más frecuente y más seria, este tipo de corrosión implica un transporte de electricidad a través de un electrolito. En los procesos de corrosión electroquímica circulan corrientes eléctricas, sobre el material expuesto. (*Compañía Global de Pinturas, 2017*)

También llamada corrosión galvánica, ocurre cuando existe una unión física o eléctrica, entre metales de diferente naturaleza, lo cuales, en presencia de un electrolito, forman una celda electroquímica donde el material de menor potencial electroquímico es el que se corroe. (Revie W. R., 2011)

La corrosión electroquímica es un proceso espontáneo irreversible que consiste en reacciones simultáneas de oxidación y reducción. Siempre se requiere la presencia de zona anódica (zona oxidada), zona catódica (zona de reducción) y un electrolito. Además, la conexión eléctrica entre el ánodo y el cátodo es necesaria para la aparición de este medio corrosivo. (*Genescá,1986*)

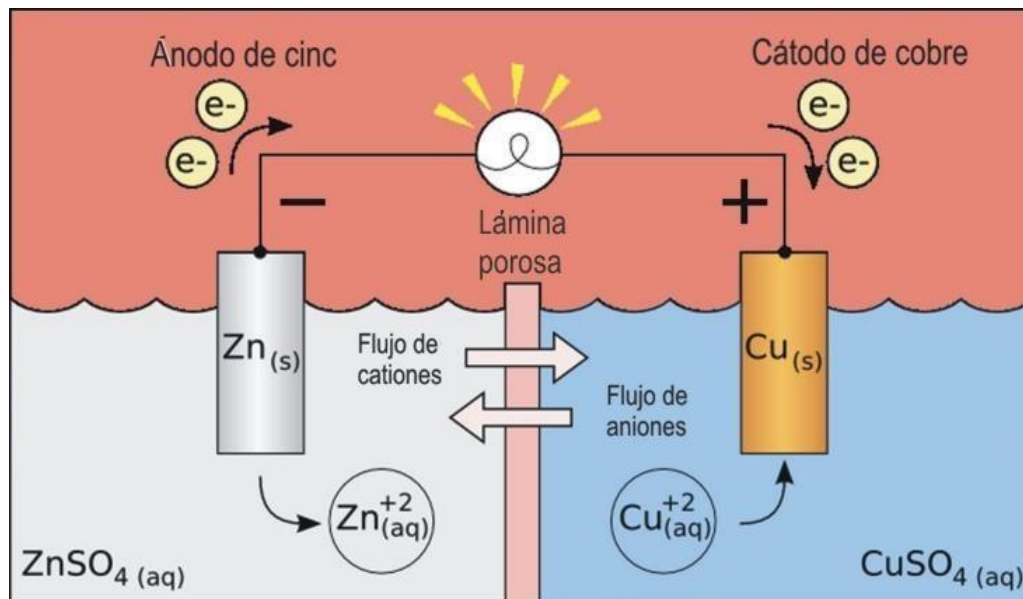


Figura 7. Ejemplo de flujo de corriente electroquímica entre dos pilas. (Galindo, J; Muñoz, M; Sánchez, A) (2020) Imagen tomada de: <https://contigoenladistancia.cultura.gob.mx/assets/uploads/blog/documentos/manual-energia-solar.pdf>

Nota. La figura describe como dos baterías recargables pueden almacenar electricidad en forma de energía química por medio de dos electrodos capaces de intercambiar cargas eléctricas positivas y negativas a través de una interface comúnmente llamada electrolito.

5.3. Corrosión Atmosférica

La corrosión atmosférica es un proceso en el que los metales y las aleaciones reaccionan con sustancias presentes en el medio ambiente, lo que resulta en la formación de varios tipos de productos de corrosión, como óxidos, hidróxidos y sales. (Vera et al; 2012)

Uno de los principales factores que determinan la intensidad de la corrosión en la atmósfera es su composición química. La contaminación del aire depende de la existencia de industrias y núcleos de población. El dióxido de azufre proveniente del uso de combustibles sólidos y líquidos que contienen azufre es uno de los principales contaminantes por su frecuente aparición en el proceso de corrosión. (Genesca & Mariaca, 1999)

El efecto combinado de la contaminación y los factores meteorológicos determina la intensidad y naturaleza del proceso de corrosión, y cuando actúan simultáneamente, su efecto aumenta. También, es importante mencionar otros factores, como las condiciones de exposición, la composición del metal y la naturaleza del óxido formado, que interactúan entre sí en el proceso de corrosión. (*Genesca & Mariaca, 1999*)

Los contaminantes inorgánicos son producidos por los automóviles y la industria; los contaminantes orgánicos dependen de los botes de basura. Las centrales térmicas, las refinerías de petróleo y las fábricas de papel aportan el 85% del dióxido de carbono de la atmósfera. (*Llongueras, 1996, pp. 1-3*)

5.4. Factores que Influyen en la Corrosión

5.4.1. Sales Disueltas.

En el 2015, Salazar señalaba que “cuando se diluye en una solución de electrolito, la sal ácida bajará su pH debido a la influencia del ácido, acelerando así el proceso de corrosión”.

Algunos ejemplos de sales ácidas son:

- Cloruro de aluminio.
- Cloruro de hierro.
- Cloruro de amonio.

Por otro lado, las sales alcalinas, incrementan el pH de la solución electrolítica, por lo que en algunos casos funcionan como inhibidores del proceso de corrosión. Ejemplos de estas sales son el fosfato trisódico, tetraborato de sodio, silicato de sodio y el carbonato de sodio (*Charng y Lansing, 1982*).

5.4.2. Capas Protectoras

La tendencia de un tipo de material a la corrosión se puede reducir mediante la presencia de una capa que protege su superficie. Estas capas pueden ser aplicadas artificialmente, en forma de recubrimientos; o pueden aparecer a través del fenómeno de pasividad, formándose capas de óxidos metálicos que impiden el avance del proceso corrosivo (Charng y Lansing, 1982).

5.4.3. Velocidad de Flujo

En sistemas de transporte de fluidos, al aumentar la velocidad de flujo del medio, por lo general, aumenta la tasa de corrosión, debido a que: (1) permite a las sustancias corrosivas alcanzar y atacar zonas aún no afectadas, y (2) evita en cierta medida la formación y/o acumulación de capas resistentes a la corrosión que protejan al material por efecto erosivo (Charng y Lansing, 1982).

5.4.4. Temperatura

La velocidad de corrosión tiende a aumentar al incrementar la temperatura, debido a que se acelera la difusión del oxígeno del medio hacia el material afectado, inclusive a través de capas de pasivación, fragilizando a este. Experimentalmente se ha demostrado que un aumento en la temperatura de 2° C, incrementa al doble la tasa de corrosión, aproximadamente (Charng y Lansing, 1982).

5.4.5. Concentración de Oxígeno

La concentración de oxígeno en el medio electrolítico puede acelerar o retardar el proceso de corrosión, dependiendo de la naturaleza del material (Charng y Lansing, 1982). Para el caso de materiales ferrosos, al aumentar la concentración de O_2 , aumenta la velocidad de corrosión pues el producto corrosivo no protege al material. Mientras que para materiales pasivables, cuanto mayor sea la concentración de O_2 , mayor capacidad tendrá el material de formar la capa protectora que lo caracteriza. (Salazar, 2015)

5.5. Tipos de Atmósferas

Las atmósferas varían considerablemente con respecto a la humedad, la temperatura y los contaminantes. Al acercarse a la costa, el aire está cargado con cantidades crecientes de sal marina, en particular NaCl. En áreas industriales, se encuentran SO_2 , H_2S , NH_3 , NO_2 y varias sales suspendidas. Los ácidos que pueden formarse a partir de estos gases incluyen ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido nítrico (HNO_3) y ácidos orgánicos, como ácido fórmico ($HCOOH$) y ácido acético (CH_3COOH). Los principales tipos de atmósferas son Marina, Industrial, Rural, mientras que la corrosividad de la atmósfera se divide en seis categorías que son: C1 (Muy Baja), C2 (Baja), C3 (Media), C4 (Alta), C5 (Muy Alta), CX (Extrema), (ISO 9223, 2012). También hay subdivisiones en cuanto a los tipos de atmósfera, como tropical húmedo y seco, con grandes diferencias en la corrosividad. (Revie & Uhlig, 2008)

5.6. Ensayo CLIMAT o “Alambre sobre tornillo”

El ensayo CLIMAT (iniciales de Classification of Industrial and Marine Atmospheres), denominado también técnica de “alambre sobre tornillo”, desarrollado por la empresa canadiense Alcan Research and Development Ltd. Se utiliza para medir posibles efectos galvánicos entre cables conductores de aluminio y el refuerzo interior de acero. (Diaz Ocaña, 2013)

Este es un método relativamente rápido para estudiar la corrosividad atmosférica y consiste en evaluar la pérdida de peso que experimenta un alambre arrollado en la rosca de un tornillo metálico (Ver Figura 8) que suele tener comportamiento catódico con respecto al alambre (ánodo). (Flores & Palma, 1993)



Figura 8. Ensayo CLIMAT o ensayo de “Alambre sobre tornillo”. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

6. Estado del arte

A nivel mundial, se han realizado estudios de corrosión atmosférica utilizando el método CLIMAT, uno de los estudios citados fue una investigación realizada por Del Ángel Meraz, Veleva, & M Acosta (2009), en la que se menciona la corrosión atmosférica del cobre y el acero en dos localidades de Villahermosa, Tabasco, México. Estos realizaron seis meses de pruebas, además, determinaron contaminantes mediante el método de la candela húmeda y platos de sulfatación para la determinación de cloruros y dióxidos de azufre respectivamente, y el microscopio electrónico de barrido acoplado con energía dispersante para analizar la morfología en los productos de corrosión formados en las probetas de tornillo. Los resultados mostraron productos de corrosión en forma de ampollas, una tasa de deposición de dióxido de azufre (SO₂) y NaCl en el ambiente de las dos localidades estudiadas en Villahermosa, y una clasificación propuesta por la norma ISO 9223: 93, en la que ambos ambientes son ligeramente corrosivos.

Gallardo, Galicia, Lugo, Pérez, & Rosas (2014), utilizaron el método CLIMAT para evaluar la corrosividad atmosférica, el sistema fue expuesto a la erosión atmosférica en el techo del edificio de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Biológicas de Tuxpan a principios de 2012. Se usaron tubos de ensayo durante un año en cada estación. Concluyendo que, aunque se encontró que el índice de corrosión estaba dentro del rango permitido, los agentes corrosivos (como el cloruro) tienden a destruir la película protectora de aluminio, promoviendo así la corrosión local, sin embargo, todavía se considera que Tuxpan tiene una atmósfera oceánica muy corrosiva debido a su ubicación.

Padilla (1999), realizó un estudio que se basó en el método de “alambre sobre tornillo” en el que se estimó la corrosión de materiales en la atmósfera de Lima, la investigación se ejecutó sobre la línea (postes) de Electro Lima que abarca 60 km. De Lima costera y 43,5 km al interior.

Los resultados encontrados del índice de corrosión marina con respecto a la distancia del océano se realizaron mediante el uso de un modelo matemático. Se pudo concluir que, el modelo matemático utilizado indicaba que a medida que se alejen del océano la corrosión disminuye, que el acero inoxidable es muy resistente a las condiciones más severas del ambiente, lo cual asegura su utilización y que el par galvánico Aluminio/Plástico es más resistente a la corrosión que el par Cobre/Plástico.

En Colombia, Correa Bedoya et. Al (2007), utilizaron el método CLIMAT, en distintos sitios de exposición, entre ellas 3 ciudades representativas del país (Bogotá, Medellín y Barranquilla).

La clasificación de las atmósferas en la zona industrial de la ciudad de Bogotá presentó un Índice de Corrosión Industrial “Moderada Severa”. La estación ubicada en la ciudad de Barranquilla presentó agresividad “Despreciable” para los tres primeros periodos de estudio, y “Moderada” el último periodo, las estaciones 3 y 5 ubicadas en la misma ciudad presentaron agresividades “Moderada”, y “Moderada Severa” en los últimos dos periodos de estudio, en los que igualmente se midió la mayor concentración de cloruros. Por lo tanto, al ser altas las concentraciones de cloruros, las pérdidas de masa para el acero al carbono fueron elevadas durante los meses de exposición, arrojando índices de corrosión más agresivos en la ciudad de Barranquilla.

Capítulo 3

7. Parte Experimental

7.1. Delimitación de las Zonas de Estudio

El estudio se realizó en la Universidad de la Costa (CUC) ubicada en la Calle 58 # 55 - 66 de la ciudad de Barranquilla, la cual se encuentra situada a orilla occidental del río Magdalena, a 7,5 km de su desembocadura en el mar Caribe (Ver Figura 9), se encuentra a una latitud de $10^{\circ} 59' 16''$ al norte de la línea ecuatorial y longitud de $74^{\circ} 47' 20''$ al occidente del meridiano de Greenwich. Las zonas de estudio dentro de las instalaciones de la Universidad más específicamente en el *Bloque 9, Bloque 11, Bloque A Cul.* (Ver Figura 10)

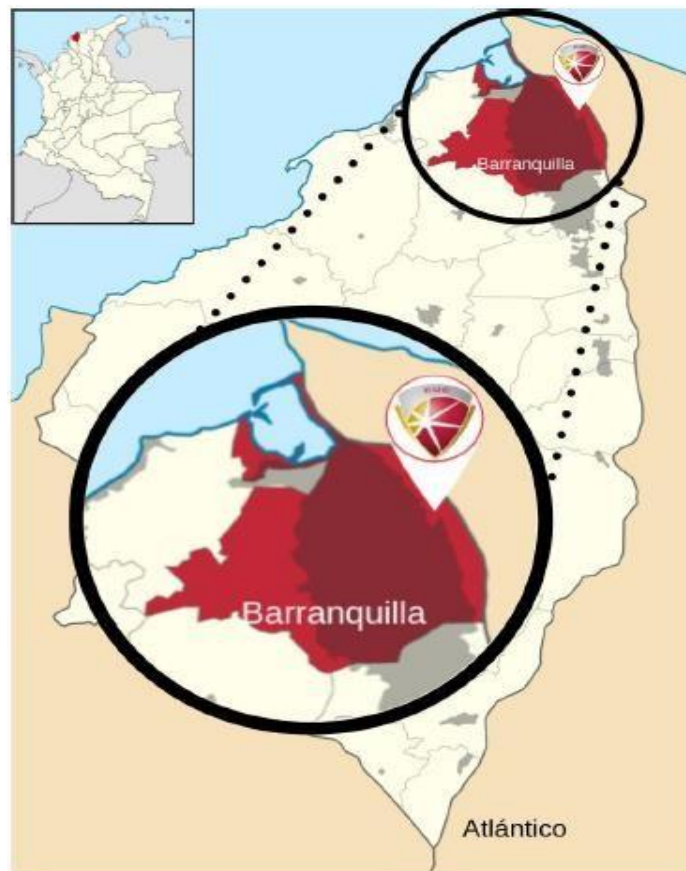


Figura 9. Mapa de localización de la Universidad de la Costa en Barranquilla. (Romero Samper & Fuentes Gutierrez, 2019) Imagen tomada de: <http://hdl.handle.net/11323/3227>



Figura 10. Ubicación de las diferentes estaciones dentro de la Universidad de la Costa. (Romero Samper & Fuentes Gutierrez, 2019) Imagen tomada de: <http://hdl.handle.net/11323/3227>

En la anterior imagen, se observa cómo la estación 1 (E1) corresponde a las probetas instaladas en el bloque 11 de la Universidad de la Costa (Ver Figura 11), la estación 2 (E2) se encuentra ubicada en el bloque 9 (Ver Figura 12), y la estación 3 (E3) se encuentra ubicada en el bloque A de la Corporación Universitaria Latinoamericana (CUL) (Ver Figura 13).



Figura 11. Estación 1 (E1) ubicada en la azotea del bloque 11 dentro de la Universidad de la Costa. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)



Figura 12. Estación 2 (E2) ubicada en la azotea del bloque 9 dentro de la Universidad de la Costa. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)



Figura 13. Estación 3 (E3) ubicada en la azotea del bloque A dentro de la Corporación Universitaria Latinoamericana. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)

7.2. Información Meteorológica

Durante el año de exposición en el que se desarrolló de la parte experimental se realizaron mediciones meteorológicas por medio de la estación meteorológica ubicada en la azotea del bloque 9 dentro de las instalaciones de la Universidad de la Costa. (Ver Figura 14) Cabe resaltar que los datos obtenidos por medio de esta estación presentan algunas alteraciones pues debido a la pandemia por covid-19 en el 2020 se dejaron de registrar algunos datos.



Figura 14. Estación meteorológica ubicada en la azotea del bloque 9 dentro de la Universidad de la Costa. (Romero Samper & Fuentes Gutierrez, 2019)

7.3. Determinación de la Corrosión

7.3.1. Ensayo CLIMAT o “Alambre sobre tornillo”

Este consiste en la determinación de la pérdida de masa de un alambre de aluminio al 99.5% (Ver Figura 15) expuesto durante 3 meses a la atmósfera de la zona estudiada, dichos alambres de aluminio se encuentran enrollados a tornillos de diferentes materiales (Hierro, Cobre, PVC) formando así pares galvánicos como se muestra en la Figura 16.



Figura 15. Aluminio 99,5% puro, utilizado para formar los pares galvánicos para el estudio. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)



Figura 16. Probetas limpias y enrolladas a nuevos aluminios esperando ser instaladas en las diferentes estaciones. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)

Los alambres de aluminio expuestos fueron guardados y reemplazados cada tres meses durante un año de experimentación, las probetas o tornillos utilizados en cada una de las estaciones fueron limpiadas cada 3 meses como se observa en la Figura 17 para retirar los productos de corrosión que estas tenían (Ver Figura 18).



Figura 17. Proceso de limpieza de cada una de las probetas en laboratorio. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)



Figura 18. Productos de corrosión o ganancia de masa adheridas a las probetas de la estación 3. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Posteriormente para limpiar las probetas que se utilizarían para los ensayos se utilizaron diferentes soluciones que se encuentran descritas en la Tabla 1.

Tabla 1.

Procedimientos de limpieza química para la eliminación de productos de corrosión. (ISO 9226, 2012)

MATERIAL	QUIMICO	TIEMPO	TEMPERATURA	OBSERVACIONES
ACERO	500 ML DE ACIDO CLORIDRICO (HCL, $\rho=1,19$ GR/ML) 3,5 GR DE TETRAMINA DE HEXAMETILENO. AGUA DESTILADA PARA COMPLETAR HASTA 1000 ML	10 MINUTOS	20 °C A 25 °C	EN DETERMINADAS CIRCUNSTANCIAS, PUEDE SER NECESARIO UN MAYOR NUMERO DE INTERVALOS DE DECAPADO O TIEMPOS MAS PROLONGADOS.
ZINC	250 GR DE GLICINA (NH ₂ CH ₂ COOH). AGUA DESTILADA PARA COMPLETAR 1000 ML. (SOLUCION SATURADA)	1 MINUTO A 10 MINUTOS	20 °C A 25 °C	
COBRE	50 GR DE ACIDO AMIDOSULFONICO (ACIDO SULFAMICO). AGUA DESTILADA PARA COMPLETAR HASTA 1000 ML.	5 MINUTOS A 10 MINUTOS	20 °C A 25 °C	
ALUMINIO	50 ML DE ACIDO FOSFORICO (H ₃ PO ₄ , $\rho=1,69$ GR/ML) 20 GR DE TRIOXIDO DE CROMO (CrO ₃). AGUA DESTILADA PARA COMPLETAR HASTA 1000 ML.	5 MINUTOS A 10 MINUTOS	80 °C	SI QUEDAN PRODUCTOS DE CORROSION, SIGA EL PROCEDIMIENTO A CONTINUACION.
ALUMINIO	ACIDO NITRICO (HNO ₃ , $\rho=1,42$ GR/ML)	1 MINUTO A 5 MINUTOS	20 °C A 25 °C	PARA EVITAR REACCIONES QUE PUEDE RESULTAR EN LA REMOCION EXCESIVA DE METAL BASE, REMOVER DEPOSITOS EXTRAÑOS Y PRODUCTOS DE CORROSION VOLUMINOSOS.

Fuente: elaboración propia.

Para limpiar las probetas de Hierro se utilizaron 50 ml de Ácido clorhídrico (HCL) y 0.35 gramos de Hexametileno para una solución cuyo volumen final fue de 100 ml. (Ver Figura 19)



Figura 19. Proceso de limpieza de probetas de hierro en solución de ácido clorhídrico y Tetramina de Hexametileno. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)

A continuación, se muestran los cálculos realizados para determinar la cantidad de sustancias químicas usadas para la limpieza.

- **Cantidad de HCl:**

$$100 \text{ g} \times \frac{500 \text{ g}}{1000 \text{ g}} = 50 \text{ g}$$

- **Cantidad de Tetramina de Hexametileno:**

$$100 \text{ g} \times \frac{3,5 \text{ g}}{1000 \text{ g}} = 0,35 \text{ g}$$

Luego de preparada la solución se sumergió cada uno de los tornillos por 10 minutos, una vez pasados los 10 minutos se lavó cada tornillo de hierro sobre dos beakers llenos de agua destilada que cubrieron la totalidad de los tornillos y luego sobre un beaker con etanol como se puede observar en la Figura 20.

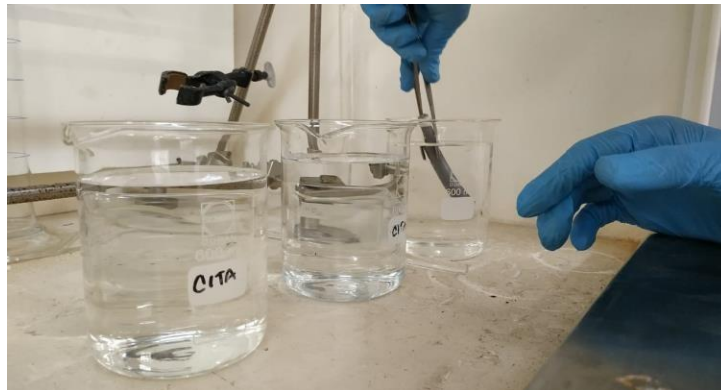


Figura 20. Limpieza realizada a cada una de las probetas con dos beakers llenos de agua destilada y uno con etanol para eliminar cualquier rastro de la solución utilizada. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Para lavar las probetas de cobre se utilizó ácido sulfámico en agua destilada. Se preparó una solución de 250 ml y se sumergieron los tornillos por 10 minutos en ella. A continuación, se muestran los cálculos. La Figura 21, refleja el proceso de limpieza.



Figura 21. Probeta de cobre siendo limpiada con solución de ácido sulfámico. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

$$250 \text{ ml} \times \frac{50 \text{ g}}{1000 \text{ ml}} = 12,5 \text{ g}$$

Las probetas de PVC se limpiaron con agua y jabón hasta retirar cualquier suciedad que estas pudiesen presentar (Ver Figura 22). Al final de cada cambio trimestral, se realizó una limpieza en el laboratorio de los alambres de aluminio expuestos para hacer la diferencia de masa inicial (antes de la exposición) como se observa en la Figura 23 respecto a la masa final (después de la exposición a la atmósfera) (Ver Figura 24).



Figura 22. Probetas de PVC luego de ser limpiadas con abundante agua y jabón. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)



Figura 23. Probetas limpias y recién instaladas sin ningún producto de corrosión. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)



Figura 24. Aluminio retirado con evidente adherencia de productos de corrosión. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)

7.4. Cálculos

Como lo indica (Gallardo, Galicia, Lugo, Pérez, & Rosas, 2014) los índices de corrosión experimentados por el alambre sobre el tornillo se calculan a través de una relación entre la diferencia de masas del aluminio (al inicio de la exposición y luego de someterse al decapado final en el que se limpia el aluminio y se decapa la cantidad de veces que sea necesario hasta que sea evidente que estos no tienen productos de corrosión aún) y la masa original del aluminio, como se puede observar en la Ecuación 1.

$$IC = \frac{\Delta m}{m_0} * 100 \quad (1)$$




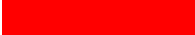
Donde IC es el índice de corrosividad. (ISO 9223, 2012)

$$\Delta m = m_1 - m_0 \quad (2)$$

La simbología para la identificación de los índices de corrosividad se encuentra en la norma ISO 9223 como lo muestra la **Tabla 2**:

Tabla 2.

Clasificación de la corrosividad basado en la norma ISO 9223. (Tejero Rivas, Del Ángel Meraz, Bautista Margulis, & Hernández Morales, 2015)

Simbología	Corrosividad	Atmósfera	Estándar
	Baja	Costera	0.4 - 9
	Aceptable	Industrial	0.15 - 1.8
	Agresiva	Rural	1 a 2
	Muy agresiva		

Fuente: elaboración propia.

Al ser el ensayo CLIMAT, un mecanismo para clasificar los índices de corrosión marina e industrial se utilizan las siguientes Tablas expuestas por Doyle & Wright en 1982 para catalogar las diferentes atmósferas.

Tabla 3.

Clasificación de los niveles de corrosividad industrial basada en datos CLIMAT (I.C.I). (Doyle & Wright, 1982)

<i>I.C.I</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Significado</i>
0-1	Despreciable	Areas rurales y suburbanas
>1-2	Moderada	Areas Urbanas
>2-4	Moderadamente severa	Areas Urbano-Industriales
>4-7	Severa	Areas industriales
>7	Muy severa	Areas muy industriales

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.

Clasificación de los niveles de corrosividad marina basada en datos CLIMAT (I.C.M). (Doyle & Wright, 1982)

<i>I.C.M</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Significado</i>
0-2	Despreciable	Areas rurales y suburbanas
>2-5	Moderada	Areas Urbanas
>5-10	Moderadamente severa	Areas Urbano-Industriales
>10-20	Severa	Areas industriales
>20	Muy severa	Areas muy industriales

Fuente: elaboración propia.

8. Resultados y Discusión

8.1. Influencia de las Variables Meteorológicas

En un clima tropical-húmedo, las fuertes variaciones de los parámetros climáticos, tales como la humedad relativa, la temperatura, la velocidad del viento, las precipitaciones pluviales, la radiación solar, entre otros, afectan de una manera relevante muchos procesos físicos, químicos y biológicos. En el caso de los materiales, el proceso electroquímico de la corrosión de metales y aleaciones es fuertemente influenciado por dichos parámetros climáticos. (Meraz, Veleva, & M Acosta, 2009)

Son diversos los aspectos que afectan los cambios en la corrosión atmosférica, sin embargo, una de las mayores influencias son las generadas por las variables meteorológicas las cuales son estudiadas a continuación.

Es importante volver a recalcar que los datos que aquí se estudiarán fueron tomados de la estación meteorológica ubicada en el bloque 9 de la Universidad de la Costa, dichos datos dejaron de ser tomados durante el año 2020 por el estado de cuarentena obligatoria debido a la pandemia del Covid-19.

8.1.1. *Temperatura*

Una de las principales variables que influye en los índices de corrosión atmosférica sin duda es la temperatura, pues, un cambio de temperatura puede afectar directa o indirectamente a la corrosión metálica en la atmósfera. Al subir la temperatura, aumenta la velocidad de las reacciones electroquímicas, pero al mismo tiempo, se acelera la evaporación de la humedad depositada sobre el metal. (Morcillo Linares & Feliu Matas, 1993)

Al ser Barranquilla una ciudad costera, las temperaturas tienden a ser elevadas como se presenta en la Figura 25, en la que se señala como los valores promedios de dichas temperaturas oscilan entre 27 °C y 30 °C, en el gráfico señalado se puede observar también como en promedio el segundo trimestre comprendido por el mes de (julio, agosto y septiembre) fue el que presentó mayor temperatura con valores que en promedios trimestrales serian superiores a los 29 °C, sabiendo que las más altas temperaturas se presentaron en el mes de agosto. Mientras que el trimestre con menor temperatura fue el cuarto alcanzando temperaturas promedio de 27,23 °C como se puede observar en la Tabla 5, esta disminución en temperatura se debe en parte al aumento de las brisas que para esta parte del año aumentan.

Tabla 5.

Datos de temperatura obtenidos durante el tiempo de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Datos Meteorológicos Durante Exposición.		
Fecha	Meses	Temperatura (°C)
02-abr-2019--02-may-2019	Abril	27,86
02-may-2019--02-jun-2019	Mayo	28,25
02-jun-2019--02-jul-2019	Junio	28,69
02-jul-2019--02-ago-2019	Julio	28,52
02-ago-2019--02-sep-2019	Agosto	29,30
02-sep-2019--02-oct-2019	Septiembre	29,13
02-oct-2019--02-nov-2019	Octubre	28,63
02-nov-2019--02-dic-2019	Noviembre	28,80
02-dic-2019--02-ene-2020	Diciembre	28,35
02-ene-2020--02-feb-2020	Enero	27,38
02-feb-2020--02-mar-2020	Febrero	27,14
02-mar-2020--02-abr-2020	Marzo	27,18

Fuente: elaboración propia.

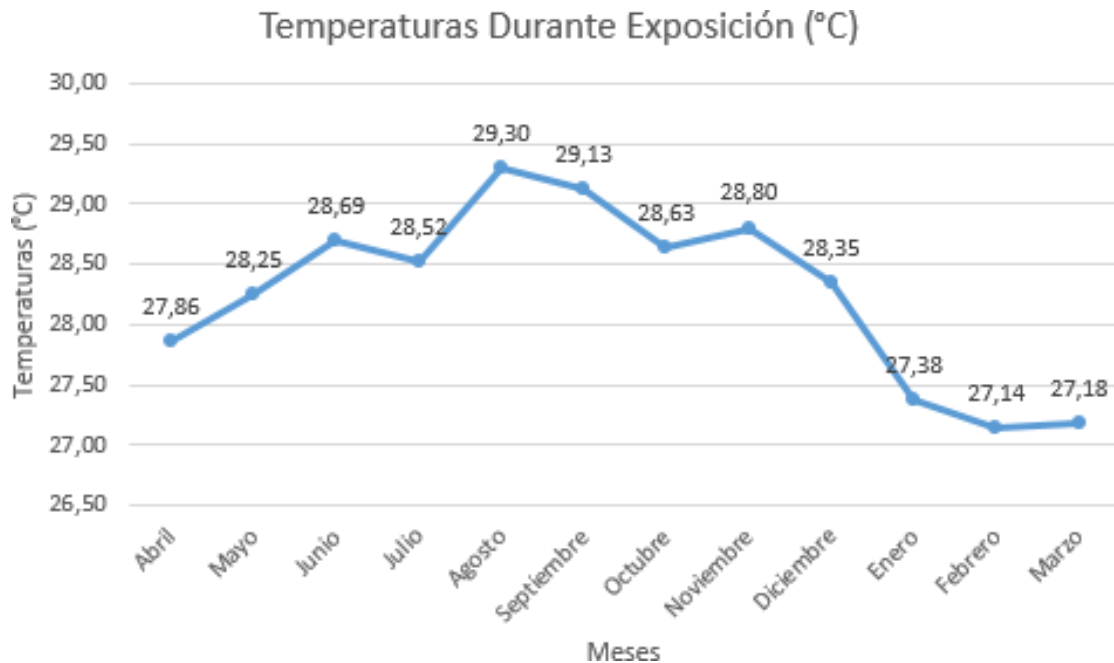


Figura 25. Promedios de temperaturas obtenidas durante el periodo de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

La temperatura también tiene efecto sobre la humedad relativa, debido a que la cantidad de vapor de agua que puede contener una masa de aire, depende de dicho factor. A medida que va aumentando la temperatura del aire, este es capaz de contener más vapor de agua. (Romero Samper & Fuentes Gutierrez, 2019)

8.1.2. Humedad Relativa

La humedad relativa es un dato cuya obtención es fácil de encontrar, y es que esta repercute en la frecuencia y duración de los periodos de lluvia, rocío y niebla, durante los cuales las superficies metálicas aparecen visiblemente mojadas y las micropilas de corrosión desarrollan plenamente su actividad. (Morcillo Linares & Feliu Matas, 1993)

La Tabla 6 recopila la información obtenida durante los cuatro diferentes trimestres en el que los pares galvánicos fueron expuestos. Se puede observar que la humedad relativa se

mantuvo en un rango entre 81 y 85 % como puntos más bajos y altos respectivamente, sin embargo, a pesar de que el primer trimestre (abril, mayo, junio) obtuvo el mayor porcentaje de humedad relativa con un 84,7% el segundo y tercer trimestre también tiene porcentajes ligeramente superiores al 83 % pues las temperaturas de estos fueron relativamente parecidas, solo el cuarto trimestre en el que se obtuvo las menores temperaturas también ocuparon los menores valores en cuanto a humedad relativa con un 81,33%. La Figura 26 muestra los promedios de humedades relativas obtenidas durante el tiempo de exposición.

Tabla 6.

Datos de humedad relativa obtenidos durante el tiempo de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Datos Metereológicos Durante Exposición.		
Fecha	Meses	Humedad Relativa (%)
02-abr-2019---02-may-2019	Abril	83,59
02-may-2019---02-jun-2019	Mayo	85,90
02-jun-2019---02-jul-2019	Junio	84,61
02-jul-2019---02-ago-2019	Julio	83,56
02-ago-2019---02-sep-2019	Agosto	83,75
02-sep-2019---02-oct-2019	Septiembre	83,98
02-oct-2019---02-nov-2019	Octubre	83,76
02-nov-2019---02-dic-2019	Noviembre	83,24
02-dic-2019---02-ene-2020	Diciembre	83,48
02-ene-2020---02-feb-2020	Enero	81,39
02-feb-2020---02-mar-2020	Febrero	81,57
02-mar-2020---02-abr-2020	Marzo	81,03

Fuente: elaboración propia.

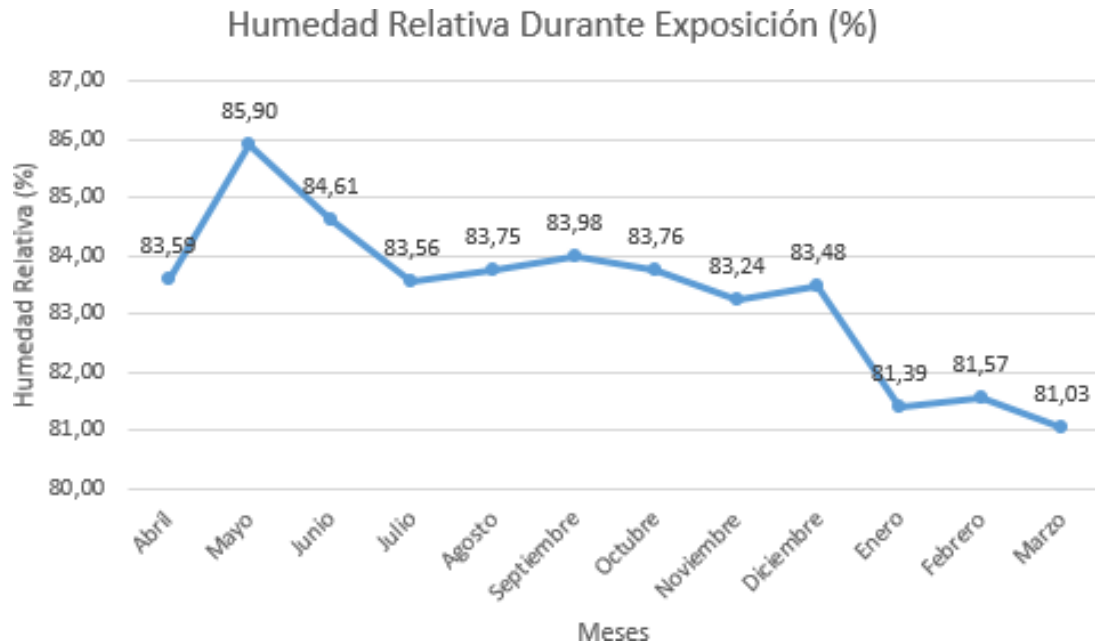


Figura 26. Promedios de humedades relativas obtenidas durante el tiempo de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

8.1.3. Tiempo de Humectación

Sabiendo que el tiempo de humectación se define como la cantidad de horas ya sea en meses o años en las que se cumplen simultáneamente las condiciones de $HR > 80\%$ y temperatura mayor a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta última condición está motivada porque la congelación del electrolito a temperaturas bajo cero detiene el funcionamiento de las pilas de corrosión. (Morcillo Linares & Feliu Matas, 1993). De esta forma se determina el tiempo durante el cual la superficie de un metal permanece húmeda.

Con base a lo establecido previamente, se puede observar en la Figura 27 la variación del tiempo de humectación a lo largo del año de exposición, en la que durante gran parte del año los valores se mantuvieron en un rango entre 500 y 600 h/mes esto es debido a los valores promedios de humedades relativas parecidos durante gran parte del año, humedades que a su vez

están directamente relacionadas con las temperaturas a las que la estación meteorológica se encontraba expuesta. Con respecto a los resultados obtenidos durante los meses de diciembre de 2019 y marzo de 2020, se evidencia una notable disminución en los valores obtenidos, ya que, al ser el tiempo de humectación una relación que depende de la cantidad de horas medidas en las que se cumplen dos condiciones específicas de temperatura ($> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$) y humedad relativa ($> 80\%$); los resultados de esta relación se verán afectados por la falta de datos durante el desarrollo experimental, por ejemplo, los valores obtenidos para el mes de diciembre solo pudieron ser recopilados hasta el 12 de diciembre por mantenimiento de los equipos de medición, mientras que, los datos para el mes de marzo solo pudieron ser compilados hasta el 8 de marzo, puesto que, por motivos de pandemia estos dejaron de ser guardados en la base de datos.

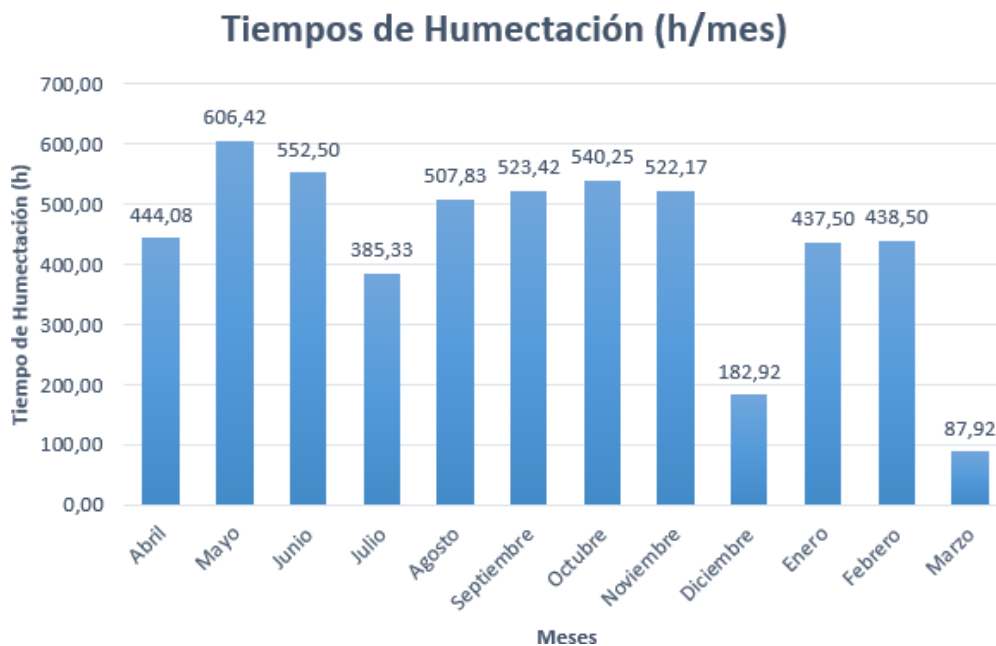


Figura 27. Tiempos de humectación durante tiempo de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Al hacer la sumatoria de las horas por año en las que la humedad relativa fue mayor al 80% obviando los valores de temperatura promedio, ya que, al hacerse la medición en una ciudad costera como Barranquilla, las temperaturas nunca estarán por debajo de los 0 °C. El valor anual calculado de acuerdo a los datos obtenidos es de 5228,83 h/año, según la ISO 9223 en la Tabla 7. Se muestra la clasificación para este tipo de atmósferas, la cual es clasificada como (\square_4), el cual representa una atmósfera altamente agresiva, normalmente manifestada en lugares con atmósferas abiertas expuestas a cualquier clase de clima con altos tiempos de humedad, acelerando los procesos de corrosión.

Tabla 7.

Tabla B.1 de la norma ISO 9223 donde se clasifican los tiempos de humectación de superficies metálicas que se corroen. (ISO 9223, 2012)

TIEMPO DE HUMECTACION (HR/AÑO)	NIVEL	EJEMPLO DE OCURRENCIA
$\tau \leq 10$	τ_1	MICROCLIMAS INTERNOS CON CONTROL CLIMATICO.
$10 < \tau \leq 250$	τ_2	MICROCLIMAS INTERNOS SIN CONTROL CLIMATICO EXCEPTO PARA ESPACIOS INTERNOS SIN AIRE ACONDICIONADO EN CLIMAS HUMEDOS.
$250 < \tau \leq 2500$	τ_3	ATMOSFERAS EXTERIORES EN SECO. CLIMAS FRIOS Y ALGUNAS ZONAS DE CLIMAS TEMPLADOS; COBERTIZOS DEBIDAMENTE VENTILADOS EN CLIMAS TEMPLADOS.
$2500 < \tau \leq 5500$	τ_4	ATMOSFERAS AL AIRE LIBRE EN TODOS LOS CLIMAS (EXCEPTO EN CLIMAS SECOS Y FRIOS); GALPONES VENTILADOS EN CONDICIONES HUMEDAS; COBERTIZOS SIN VENTILACION EN CLIMAS TEMPLADOS.
$5500 < \tau$	τ_5	ALGUNAS ZONAS DE CLIMAS HUMEDOS; GALPONES SIN VENTILACION EN CONDICIONES HUMEDAS.
<p>NOTA 1. EL TIEMPO DE HUMEDAD DE UNA LOCALIDAD DETERMINADA DEPENDE DE UN COMPLEJO DE TEMPERATURA-HUMEDAD DE LA ATMOSFERA AL AIRE LIBRE Y LA CATEGORIA DE LA UBICACIÓN Y SE EXPRESA EN HORAS POR AÑO (HR/AÑO).</p> <p>NOTA 2. LAS SUPERFICIES PROTEGIDAS EN ATMOSFERAS MARINAS, DONDE SE DEPOSITAN CLORUROS, PUEDEN EXPERIMENTAR UNA HUMEDAD SUSTANCIALMENTE MAYOR, DEBIDO A LA PRESENCIA DE SALES HIGROSCOPICAS.</p> <p>NOTA 3. EN ATMOSFERAS INTERIORES SIN CONTROL CLIMATICO, LAS FUENTES DE VAPOR DE AGUA PROVOCAN MAYORES TIEMPOS DE HUMEDAD.</p>		

Fuente: elaboración propia.

8.1.4. Velocidad del viento y dirección del viento

Las altas velocidades de viento que se presentan en la ciudad de Barranquilla, se deben a múltiples factores entre los que cabe destacar el fenómeno del niño, incrementando las velocidades del viento entre los periodos finales e inicios de año. Este fenómeno hace que haya menos precipitaciones (lo que ocurre en gran parte de la región Caribe) y al no existir nubosidad la velocidad del viento tiende a aumentar. Esto tiene que ver también con factores secundarios que incidirían en el incremento de la fuerza de las brisas. Como lo explica Daniel Escorcía en una publicación hecha en el 2015 (Escorcía Lugo, 2015).

Ahora bien, en un artículo más actualizado por (Navarro, 2021) expone que se registrarán vientos con velocidades de hasta 55 kilómetros por hora y ráfagas que alcanzarán los 60 km/h. Según el reporte del Ideam descritos para el periódico El Heraldó.

Todos estos datos (Ver Tabla 8) son necesarios saberlos, ya que la dirección y velocidad del viento determinan la acumulación de partículas sobre la superficie del metal y la dispersión de contaminantes. Aunque, hay que tener en cuenta que la acción del viento depende de la situación del foco contaminante con respecto al lugar de exposición.

Tabla 8.

Velocidades de viento recopiladas durante meses de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Datos Meteorológicos Durante Exposición.		
Fecha	Meses	Velocidad Viento (km/h)
02-abr-2019---02-may-2019	Abril	15,74
02-may-2019---02-jun-2019	Mayo	7,92
02-jun-2019---02-jul-2019	Junio	9,65
02-jul-2019---02-ago-2019	Julio	11,31
02-ago-2019---02-sep-2019	Agosto	6,98
02-sep-2019---02-oct-2019	Septiembre	5,12
02-oct-2019---02-nov-2019	Octubre	4,87
02-nov-2019---02-dic-2019	Noviembre	9,95
02-dic-2019---02-ene-2020	Diciembre	16,76
02-ene-2020---02-feb-2020	Enero	18,93
02-feb-2020---02-mar-2020	Febrero	20,36
02-mar-2020---02-abr-2020	Marzo	18,88

Fuente: elaboración propia.

Por último, resaltar que este parámetro ocasiona el transporte de partículas sólidas hasta las superficies metálicas, lo que puede dar lugar a erosiones en las superficies, creación de zonas capilares, deterioro de los recubrimientos protectores, etc. Teniendo en cuenta el carácter de las partículas arrastradas, estas pueden aumentar la velocidad de corrosión debido a su carácter higroscópico (cemento, yesos, etc.) o por su posible actividad química. (Espada & Sanchez, 1995). Otra forma en la que la velocidad y la dirección del viento puede incidir al aumento de la corrosión es la relación tan directa que estas variables tienen con el aumento o disminución de lluvias en la zona, pues al aumentar las velocidades del viento las nubes cargadas son arrastradas y las lluvias tienden a disminuir y viceversa. Este fenómeno es más notorio al comparar los datos de velocidad del viento (Ver Figura 28) con los índices de lluvia, en el que se puede notar como en los meses en los que los vientos disminuyeron notablemente, las intensidades de las lluvias aumentaron como se podrá notar en el ítem presentado más adelante.

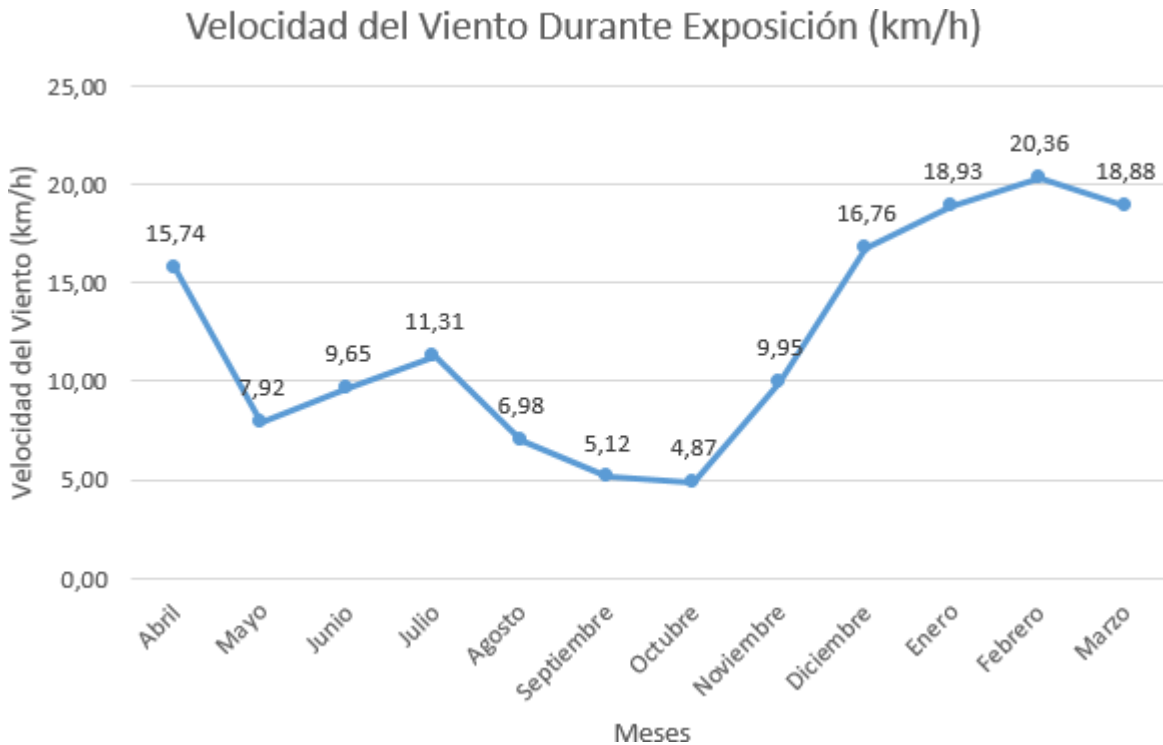


Figura 28. Velocidades de viento durante tiempo de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

En cuanto a la dirección del viento en el tiempo de estudio, se pudo observar que esta varía a lo largo del año de exposición. Durante el primer trimestre comprendido entre los meses de (abril, mayo, junio) se observa como a pesar de empezar con velocidades de viento altas con promedios de 15 km/h hubo una evidente disminución en los siguientes meses, sin embargo, empezó a manifestarse una tendencia (Ver Figura 29) en la que los vientos en su mayoría provenientes de Este-noreste donde se encuentra la vía 40 y detrás de esta el río Magdalena buscando su desembocadura hacia el mar Caribe, al Este los vientos provienen de zonas como la vía 40 en conexión con la calle 45 o calle Murillo una zona con alta industrialización, estas afectarían de forma continua los bloques 9 y A de la CUL en los índices de corrosión, como se podrá observar más adelante.

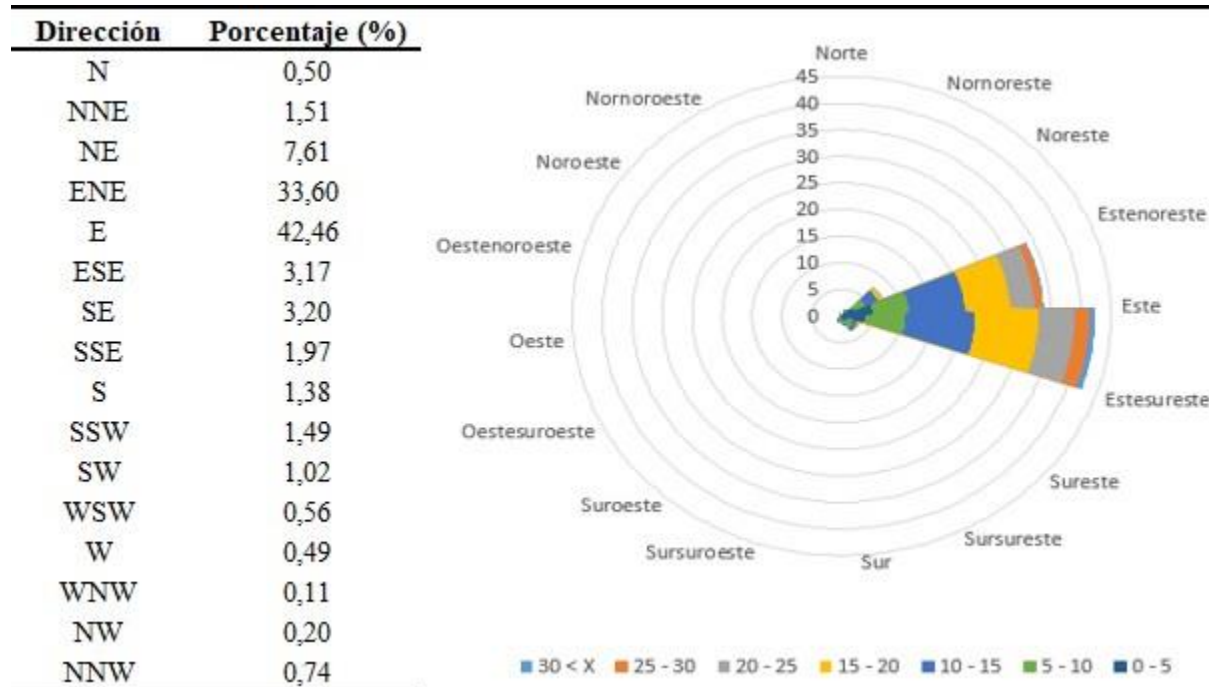


Figura 29. Rosa de viento para primer trimestre del 2 de abril de 2019 al 2 de Julio de 2019. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Durante el segundo trimestre comprendido entre los meses de (julio, agosto, septiembre) se registraron unas de las cifras más bajas de velocidades de viento durante todo el año, efecto evidentemente notorio, pues las temperaturas aumentaron marcando los valores más altos registrados en esta época del año y las precipitaciones empezaron a aumentar su intensidad, desatando efectos que se observaran más adelante. En cuanto a las direcciones predominantes del viento para este trimestre se puede observar que esta mantuvo la línea de tendencia con vientos provenientes del Este, Estenoreste e inclinando sus valores un poco hacía en Noreste donde también se encuentran ubicadas diversas cantidades de fábricas de la vía 40 y detrás de estas el río Magdalena en dirección hacia el mar Caribe como se puede observar en la Figura 30.

Dirección	Porcentaje (%)
N	1,07
NNE	3,60
NE	13,33
ENE	33,74
E	29,76
ESE	3,31
SE	3,82
SSE	1,75
S	1,31
SSW	1,92
SW	1,39
WSW	0,83
W	0,75
WNW	0,42
NW	1,68
NNW	1,32

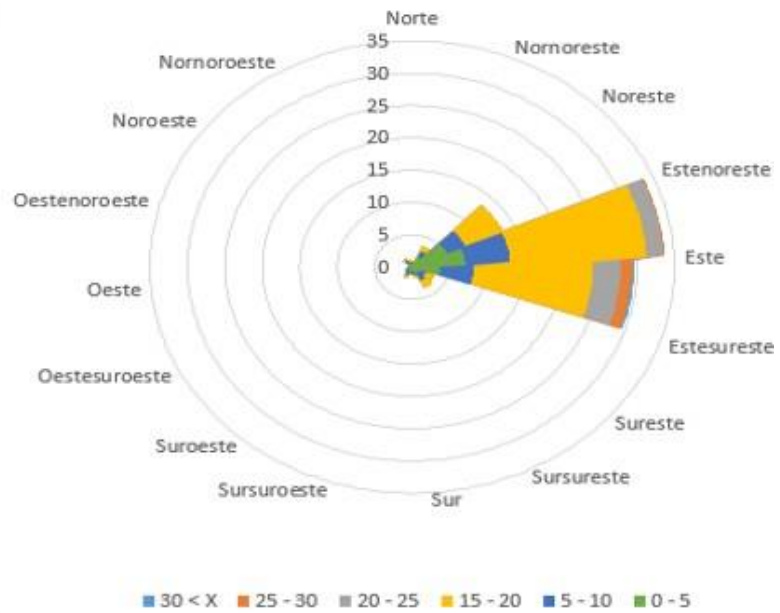


Figura 30. Rosa de viento para segundo trimestre del 2 de Julio de 2019 al 2 de octubre de 2019. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)

Durante el tercer trimestre de exposición las velocidades de viento inclinaron su línea de tendencia hacia arriba (Ver Figura 28), indicando un aumento notorio en las velocidades de viento que son muy comunes en la ciudad de Barranquilla durante la etapa final del año, vientos coloquialmente llamados “brisas de diciembre” que alcanzaron velocidades promedio de 16,76 km/h y que en mayor porcentaje son vientos provenientes desde el Nornoroeste hasta el este pasando por el Norte y en Noreste, zonas altamente industrializadas y que traen vientos directamente del mar caribe (Ver Figura 31).

Dirección	Porcentaje (%)
N	20,00
NNE	18,43
NE	8,71
ENE	15,62
E	10,83
ESE	1,91
SE	2,60
SSE	1,77
S	1,76
SSW	1,87
SW	1,31
WSW	0,91
W	0,71
WNW	0,30
NW	2,90
NNW	10,38

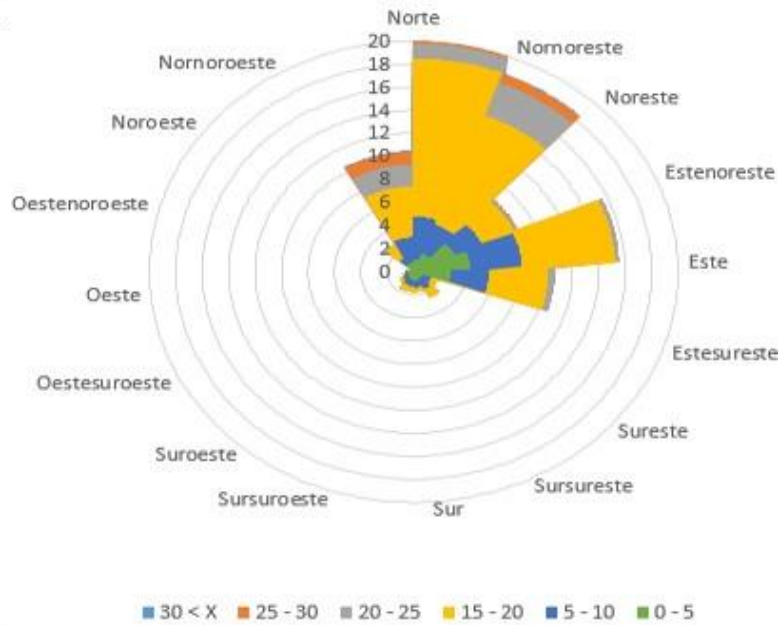


Figura 31. Rosa de viento para tercer trimestre del 2 de octubre de 2019 al 2 de enero de 2020. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

El cuarto y último trimestre, se presentó durante el mes de febrero el registro de viento más alto tomado durante toda la exposición con una velocidad promedio de 20,36 km/h además fue el trimestre con los vientos más altos, por lo que evidentemente no hubo lluvia y se registraron las temperaturas más bajas, y donde la dirección del viento siguió la tendencia hacia del Noroeste hacia el Norte sitio en el que también se encuentra la vía 40 y toda gran parte de la zona industrial de la ciudad. (Ver Figura 32)

Dirección	Porcentaje (%)
N	9,68
NNE	1,13
NE	0,65
ENE	0,31
E	0,17
ESE	0,10
SE	0,07
SSE	0,04
S	0,01
SSW	0,02
SW	0,14
WSW	0,28
W	1,22
WNW	4,20
NW	22,61
NNW	59,37

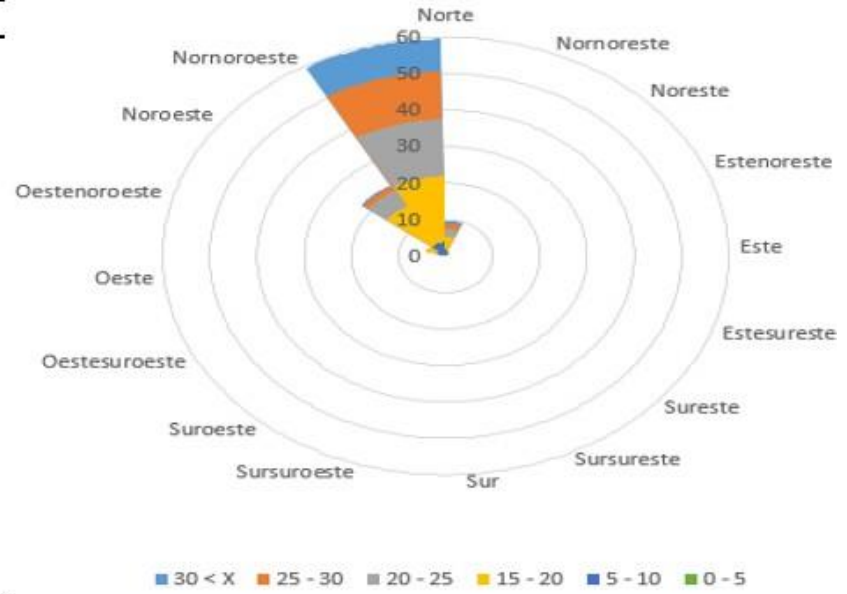


Figura 32. Rosa de viento para cuarto trimestre del 2 de enero de 2020 al 2 de abril de 2020. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

8.1.5. Lluvias

Una de las variables meteorológicas cuyo efecto es más notorio en el proceso de corrosión es sin duda alguna el de las lluvias, pues bajo condiciones en las que se presenten capas visibles de humedad como periodos de lluvia, rocíos, etc. Las capas del metal pueden variar de 10 a 50 μm en superficies verticales, ya que capas de mayor espesor que aparecen (50-100 μm) pueden aparecer en superficies horizontales, esto hace que el metal siga con el mismo método de difusión para la corrosión por medio del electrolito. (Espada & Sanchez, 1995). La Tabla 9 muestra las intensidades de lluvia durante meses de exposición.

Tabla 9.

Intensidades de lluvia durante meses de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Datos Meteorológicos Durante Exposición.			
Fecha	Meses	Lluvia (mm/mes)	Intensidad Lluvia (mm/h)
02-abr-2019---02-may-2019	Abril	0	0,00
02-may-2019---02-jun-2019	Mayo	47,2	0,11
02-jun-2019---02-jul-2019	Junio	1,8	0,11
02-jul-2019---02-ago-2019	Julio	0,8	0,00
02-ago-2019---02-sep-2019	Agosto	55	0,13
02-sep-2019---02-oct-2019	Septiembre	162,4	0,42
02-oct-2019---02-nov-2019	Octubre	120	0,30
02-nov-2019---02-dic-2019	Noviembre	18,4	0,41
02-dic-2019---02-ene-2020	Diciembre	0	0,00
02-ene-2020---02-feb-2020	Enero	0	0,00
02-feb-2020---02-mar-2020	Febrero	0	0,00
02-mar-2020---02-abr-2020	Marzo	0	0,00

Fuente: elaboración propia.

Al analizar los datos mostrados en la Figura 33 arrojados por el equipo meteorológico, se puede observar como las intensidades de las lluvias representadas en mm/h durante los meses que se encontraron expuestas las probetas son prácticamente nulas en gran parte del año; no obstante, se observa como durante el segundo y tercer trimestre aumentan las precipitaciones incrementando también las intensidades de lluvias, diferente a lo que se podría esperar.

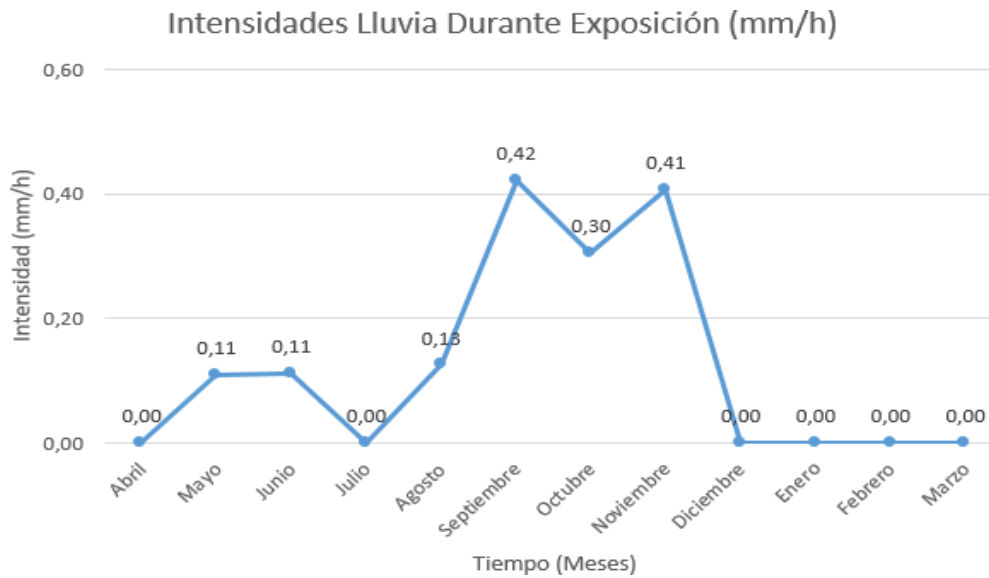


Figura 33. Intensidades de lluvia durante tiempo de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Este aumento en las precipitaciones no aumenta los niveles de corrosión atmosférica como se puede observar en las Figuras 35 y 36, sino todo lo contrario, esto se debe en parte a que realmente aunque la capa del electrolito aumenta haciendo el metal más susceptible a los efectos de la corrosión, estas lluvias lo que hacen en realidad es lavar los contaminantes que se encuentren en el metal, debido a que a pesar de realizar la experimentación en una zona con mucha cercanía aparte del área industrial de la ciudad, los contaminantes que elevan los índices de corrosión industrial no son tantos como lo sería la salinidad de la zona por su proximidad al mar; para que este efecto de corrosión por medio de la lluvia se pudiese manifestar sería necesario el efecto de la lluvia ácida en el que los niveles de pH del agua se ven alterados o estas lluvias traen consigo partículas contaminantes que acelerarían el proceso de corrosión. (Espada & Sanchez, 1995)

8.1.6. Velocidad de Deposición de Cloruros

Existen diferentes tipos de partículas que, al ser arrastradas por el viento, incrementan los índices de corrosión atmosférica, sin embargo, una de las partículas más importante, son los cloruros, de las cuales se puede afirmar que estas abundan en atmósferas marinas, haciéndose menor su presencia en el aire, a medida que aumenta la distancia al mar. A pesar de ello, a algunos kilómetros del litoral, se detectaron, en ciertos casos, cantidades importantes de cloruros. Este hecho fue explicado con base a la particular orografía de determinadas zonas, y a la intensidad y dirección de los vientos, predominantes en las mismas. Son únicamente las partículas de sal y gotitas salinas de tamaño superior a 10 μm las que, depositándose sobre la superficie metálica, afectan a la corrosión. (Espada & Sanchez, 1995)

En el 2019 se realizó un estudio en las instalaciones de la Universidad de la Costa en el que se medía la velocidad de deposición de cloruros, las estaciones utilizadas para esta estimación fueron las mismas que se utilizaron para la estimación de la corrosión atmosférica mediante el ensayo CLIMAT. Los resultados obtenidos demostraron como la estación 3 (E3) fue la que presentó mayor velocidad de deposición de cloruros durante el tiempo de exposición (Ver Figura 34).

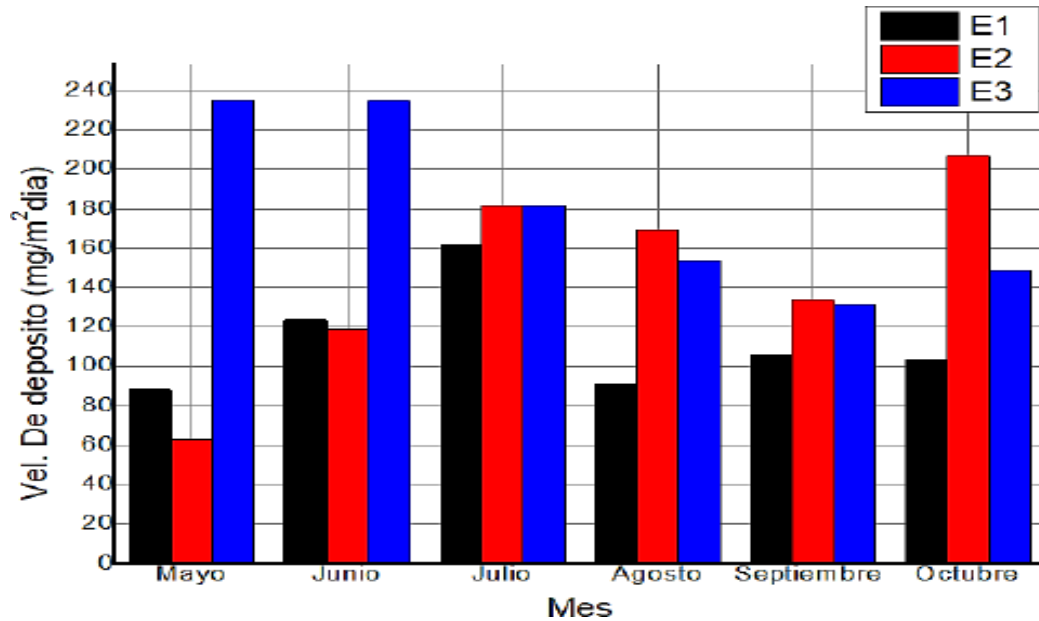


Figura 34. Diagrama de barras de la velocidad de deposición de cloruros en los meses de exposición para cada estación. (Romero Samper & Fuentes Gutiérrez, 2019)

Además, al comparar los valores obtenidos en la Tabla 10 con la clasificación de la contaminación por salinidad en el aire representada por cloruros la cual se encuentra en la ISO 9223, encontraron que las zonas estudiadas se encuentran clasificadas en la categoría S₂, lo que representa que la Universidad de la Costa se encuentra ubicado en una zona de alta velocidad de deposición de cloruros sobre las estructuras. (Romero Samper & Fuentes Gutiérrez, 2019)

Tabla 10.

Velocidad de deposición de cloruros en los meses de exposición para cada estación (mg/m²·día). (Romero Samper & Fuentes Gutiérrez, 2019)

	Marzo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Desviación estándar
E1	88,35	123,69	161,56	90,88	106,02	103,50	16,37
E2	63,11	118,65	181,76	169,13	133,79	207,00	22,61
E3	234,77	234,77	181,76	153,99	131,27	148,94	22,71

Fuente: elaboración propia.

8.2. Determinación de los Índices de Corrosión

Las Tablas 12, 13, 14 y 15 muestran la variación de los pesos del aluminio expuesto a la corrosión en las diferentes estaciones y los pesos de estos mismos después de someterse al decapado final.

Tabla 11.

Meses correspondientes a cada trimestre de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Meses	Trimestres			
	Primer Trimestre	Segundo Trimestre	Tercer Trimestre	Cuarto Trimestre
	Abril, Mayo, Junio.	Julio, Agosto, Septiembre.	Octubre, Noviembre, Diciembre.	Enero, Febrero, Marzo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12.

Datos obtenidos de las probetas utilizadas durante el primer trimestre de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Bloque 9					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 1er Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Δm (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,146	2,203	2,086	0,060	2,787
Cu-Al	2,084	2,200	2,042	0,042	2,020
Pvc-Al	2,192	2,202	2,187	0,005	0,233
Bloque 11					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 1er Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Δm (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,138	2,156	2,129	0,009	0,416
Cu-Al	2,171	2,203	2,153	0,018	0,825
Pvc-Al	2,314	2,311	2,304	0,010	0,424
Bloque A Cul					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 1er Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Δm (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,149	2,166	2,120	0,029	1,336
Cu-Al	2,176	2,259	2,150	0,026	1,204
Pvc-Al	2,254	2,265	2,189	0,065	2,889

Nota. La diferencia de masas (Δm) es el resultado de la resta entre el peso original del aluminio y el peso después de decapado como se observa en la ecuación 2.

Tabla 13.

Datos obtenidos de las probetas utilizadas durante el segundo trimestre de exposición. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)

Bloque 9					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 2do Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Δm (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,097	2,149	2,095	0,002	0,114
Cu-Al	2,108	2,234	2,097	0,011	0,508
Pvc-Al	2,072	2,072	2,067	0,005	0,261
Bloque 11					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 2do Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Δm (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,077	2,093	2,069	0,008	0,400
Cu-Al	2,083	2,141	2,074	0,009	0,451
Pvc-Al	2,064	2,064	2,063	0,001	0,053
Bloque A Cul					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 2do Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Δm (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,061	2,111	2,045	0,016	0,786
Cu-Al	2,082	2,135	2,073	0,009	0,418
Pvc-Al	2,078	2,081	2,076	0,002	0,101

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14.

Datos obtenidos de las probetas utilizadas durante el tercer trimestre de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

Bloque 9					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 3er Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Am (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,099	2,169	2,063	0,036	1,724
Cu-Al	2,100	2,122	2,087	0,012	0,586
Pvc-Al	2,128	2,128	2,113	0,014	0,677
Bloque 11					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 3er Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Am (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,104	2,149	2,104	0,001	0,038
Cu-Al	2,126	2,149	2,106	0,020	0,931
Pvc-Al	2,123	2,124	2,114	0,009	0,415
Bloque A Cul					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 3er Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Am (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,104	2,149	2,099	0,005	0,233
Cu-Al	2,110	2,149	2,102	0,008	0,393
Pvc-Al	2,118	2,124	2,102	0,015	0,718

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15.

Datos obtenidos de las probetas utilizadas durante el cuarto trimestre de exposición. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)

Bloque 9					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 4to Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Am (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	1,993	2,006	1,908	0,085	4,280
Cu-Al	1,970	1,730	1,933	0,037	1,863
Pvc-Al	1,969		1,947	0,022	1,102
Bloque 11					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 4to Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Am (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,033	2,006	2,027	0,006	0,290
Cu-Al	2,068	1,730	2,052	0,015	0,745
Pvc-Al	2,014		2,007	0,007	0,362
Bloque A Cul					
<i>Par-Galvánico</i>	<i>Peso-Original (gr)</i>	<i>Peso 4to Trimestre (gr)</i>	<i>Peso Decapado (gr)</i>	<i>Am (gr)</i>	<i>IC</i>
Fe-Al	2,028	2,059	1,965	0,063	3,096
Cu-Al	2,039				0,000
Pvc-Al	2,021				0,000

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 35 y 36, se puede observar como variaron los índices de corrosión a lo largo del año de exposición, evidenciando como el primer y el cuarto trimestre fueron los que mayor índice de corrosividad obtuvieron, mientras que el segundo y tercer trimestre presentaron menores índices. Diversos factores pueden llevar a que estos índices disminuyan entre los que cabe destacar uno de los principales que es el efecto de la lluvia, pues contrario a lo que se pudo haber pensado al comienzo de la exposición, el aumento de las precipitaciones alteró el efecto de la corrosión, lavando los productos de corrosión existentes y las posibles deposiciones de cloruros arrastradas por los fuertes vientos de los demás meses. En la Tabla 8, se evidencia como durante el primer y el cuarto trimestre los vientos aumentaron en su gran mayoría con contaminantes provenientes de las zonas industriales de la ciudad y por supuesto del mar caribe aumentando los niveles de corrosión en esas temporadas del año.

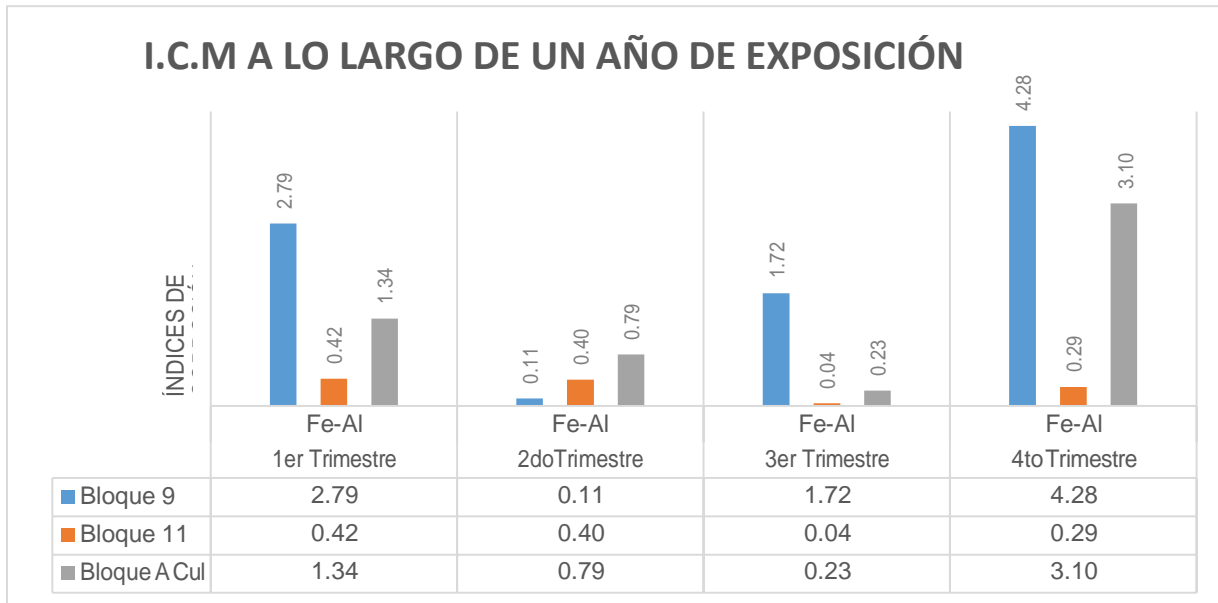


Figura 35. Índices de corrosión marina obtenidos a lo largo de un año de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

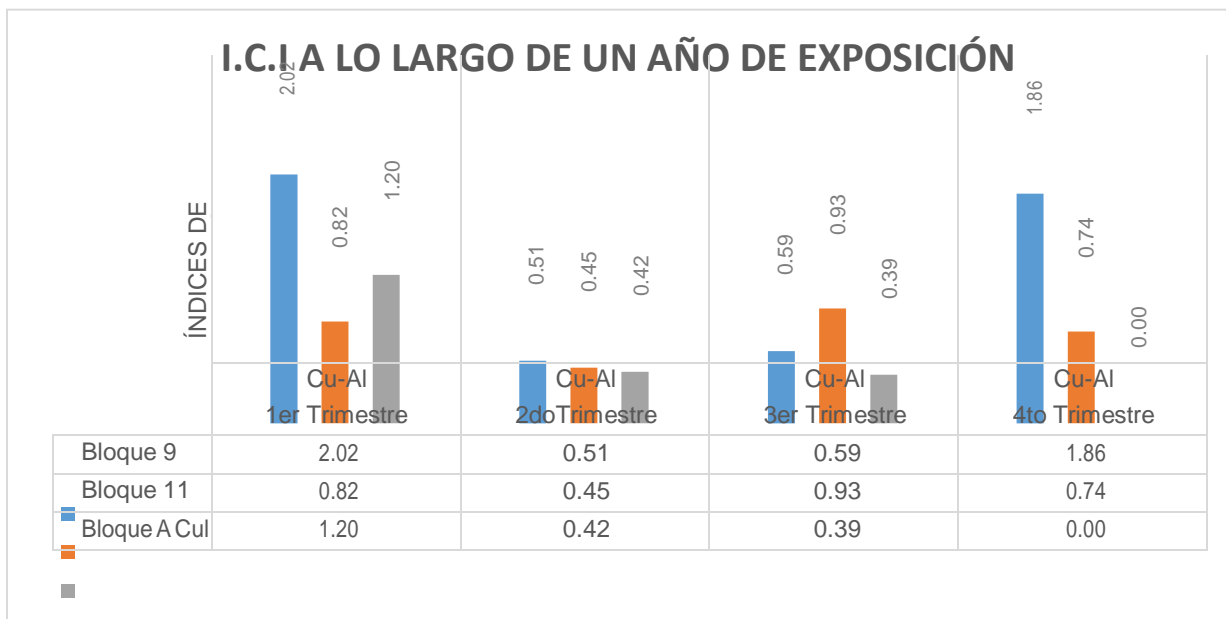


Figura 36. Índices de corrosión industrial obtenidos a lo largo de un año de exposición. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)

También se puede observar como las estaciones (E2) y (E3) correspondientes al bloque 9 y al bloque A de la CUL respectivamente, obtenían mayores índices de corrosión, y es que a pesar de que la estación 1 se encuentra en el segundo edificio más alto de la universidad, las ráfagas de viento que en su mayoría provenían del este y del norte no afectaban directamente esta estación, pues se encontraba “Protegida” por la misma estructura como se evidencia en la Figura 37. Caso muy diferente al que se presenta en la estación 2 y 3 el cual a pesar de ser edificios de tan solo 5 pisos se encuentran en una posición más expuesta permitiendo que los niveles de contaminación sean más altos, este fenómeno se puede observar en la Figura 38 en la que se muestra la panorámica tan expuesta que tiene la estación 2 con respecto a las ráfagas de viento provenientes del Este que arrastran salinidad del Mar caribe y por último, en la Figura 39 en la que se observa cómo se encuentra de expuesta la estación 3.



Figura 37. Estación 1 (E1) “protegida” por ráfagas de viento provenientes del Este y Norte. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)



Figura 38. Vista desde la estación 2 (E2) en la que se observa la gran exposición a cualquier contaminante arrastrado por el viento. (Paz Oñate & Velez Mendoza, Elaboración Propia)



Figura 39. Vista desde la estación 3. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia)

Ahora bien, según estudios realizados por Doyle y Wright indican que el par galvánico Al/Fe es muy sensible a las atmósferas marinas y poco a las atmósferas industriales, denominándose índice de corrosión marina (ICM) al porcentaje de pérdida de masa del alambre de aluminio en este par. En cuanto a la probeta Al/Cu es sensible a ambos tipos de atmósfera, industrial y marina, denominándose índice de corrosión industrial (ICI) al porcentaje de pérdida

de masa del alambre de aluminio en el par galvánico Al/Cu. (Díaz Ocaña, 2013) Por lo que al hacer la clasificación de los índices de corrosión se utilizaron las Tablas 3 y 4 sugeridas por Doyle y Wright. El resultado de estas clasificaciones se puede observar en la Tabla 16.

Tabla 16.

Clasificación atmosférica de la zona por medio de los I.C.M y los I.C.I. (Paz Oñate & Vélez Mendoza, Elaboración Propia).

1er Trimestre		
	Fe-Al (I.C.M)	Cu-AL (I.C.I)
Bloque 9	Moderada.	Moderadamente severa.
Bloque 11	Despreciable.	Despreciable.
Bloque A Cul	Despreciable.	Moderada.
2do Trimestre		
	Fe-Al (I.C.M)	Cu-AL (I.C.I)
Bloque 9	Despreciable.	Despreciable.
Bloque 11	Despreciable.	Despreciable.
Bloque A Cul	Despreciable.	Despreciable.
3er Trimestre		
	Fe-Al (I.C.M)	Cu-AL (I.C.I)
Bloque 9	Despreciable.	Despreciable.
Bloque 11	Despreciable.	Despreciable.
Bloque A Cul	Despreciable.	Despreciable.
4to Trimestre		
	Fe-Al (I.C.M)	Cu-AL (I.C.I)
Bloque 9	Moderada.	Muy severa.
Bloque 11	Despreciable.	Despreciable.
Bloque A Cul	Moderada.	-

Nota: El cuarto trimestre presenta ausencia de los datos para el par galvánico Cu-Al en el bloque A de la Cul debido a que, por acción del viento esta probeta se cayó y se perdió antes de realizar su proceso de limpieza.

A pesar de que evidentemente la ciudad se encuentra en una zona costera con altos niveles de salinidad y alta velocidad en la deposición de cloruros, los índices de corrosión tanto marina como industrial se mantienen en niveles despreciables y moderados, niveles cuyo significado descrito por Doyle y Wright en 1982 indican que el área de estudio es habitable y cercana a zonas costeras.

9. Conclusiones

Durante la realización de este trabajo, se efectuaron estimaciones que permitieron conocer los índices de corrosión tanto marina como industrial en la zona Noreste de la ciudad de Barranquilla, y aunque los valores obtenidos indicaron una clasificación despreciable y moderada, los efectos de la corrosión industrial y marina a largo plazo pueden llegar a afectar las estructuras metálicas que se encuentren en la zona si estas no tienen un buen mantenimiento o un buen recubrimiento que permita su mayor durabilidad.

Los factores de contaminación (contaminantes gaseosos y sólidos), junto con los factores meteorológicos (humedad, lluvia, temperatura y viento), determinan la intensidad de los procesos corrosivos, potenciando a menudo sus efectos al actuar simultáneamente.

Los datos obtenidos gracias a la velocidad y dirección del viento, demostraron que, dichas ráfagas de viento venían desde el Noroeste hasta el Este donde se encuentra la zona industrial de la vía 40 y el río Magdalena en conexión con el Mar Caribe. Además, se pudo observar cómo las precipitaciones aumentaron significativamente al disminuir las velocidades del viento que llegaron a alcanzar un valor mínimo promedio de 4,87 km/h y un máximo de 20,36 km/h, mientras que, las lluvias llegaron a intensidades máximas de 162,4 mm/mes.

En cuanto a las temperaturas, se mantuvieron en un rango muy poco variable entre 27,14 y 29,30 °C. Esta constante se vio reflejada en la humedad relativa que se mantuvo entre el 81,03 y el 85,90 % y, por último, el tiempo de humectación que fue de 5228,83 h/año indicando una clasificación \square_4 que según la norma ISO 9223 que representa una atmósfera altamente agresiva.

También, se debe resaltar que, a pesar de haberse clasificado una atmósfera moderada, pudo haber afectado a esta clasificación el hecho de haber ubicado la probeta de la estación 1 en

una zona donde la mayor parte de las ráfagas de viento no la afectaran de forma directa, además, una de las probetas se extravió antes de poderse realizar el proceso de decapado.

En cuanto al ensayo CLIMAT, se puede concluir que, a pesar de ser un ensayo cuya ejecución es relativamente sencilla y no acarrea muchos gastos, tiene diversas ventajas entre las que cabe destacar la posibilidad de realizar exposiciones cada tres meses, permitiendo así analizar los resultados en diferentes estaciones del año. De igual manera, merece ser mencionada la ventaja que poseen los dispositivos utilizados en el ensayo CLIMAT con respecto a las muestras planas al momento de realizar estudios de corrosión galvánica, ya que, las probetas utilizadas en el ensayo CLIMAT permiten que todas las superficies de ambos metales estén en estrecha proximidad o en íntimo contacto. Además, las superficies de ambos metales están más expuestas a la acción de la atmósfera. Por otra parte, la forma que genera la unión entre el alambre y el tornillo posibilita la acumulación de mayores productos de corrosión acelerando así dicho proceso.

10. Recomendaciones

Según los resultados obtenidos del ensayo se pudo determinar la clasificación de la atmósfera como moderada, no obstante, el comportamiento más evidente que se pudo obtener durante el desarrollo experimental del mismo, es el aumento de la velocidad de corrosión en los trimestres 1 y 4 en las probetas expuestas en los bloques 9 y CUL de la universidad de La Costa, lo que en relación con la prevención lleva a tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Es evidente que la velocidad del viento y la exposición directa a esta, aumentará significativamente el índice de corrosión atmosférica, por lo tanto, se recomienda tener en cuenta la dirección ubicación y exposición en la cual se utilizarán estos materiales.
- En un contacto más directo con el viento y una velocidad alta del mismo, se deberá utilizar un recubrimiento óptimo para evitar o prolongar la corrosión de los materiales, en caso de que sean estructuras metálicas estos recubrimientos se utilizan para darle una vida útil más prolongada.
 - La norma UNE-EN-ISO 1461 recomienda, "Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero". (UNE EN ISO 1491, 2010)
 - Se recomienda usar el sistema Dúplex el cual es un sistema de protección contra la corrosión, utilizado en casos en los que se necesita una protección muy eficaz, por ejemplo, cuando el elemento que se va a galvanizar, se va a ubicar en un ambiente C5. Para su implementación se utilizan dos sistemas distintos de protección, tales como, los recubrimientos galvanizados y los revestimientos de pintura, los cuales se complementan y generan una protección anticorrosiva mucho más significativa que la que podría calcularse sumando las duraciones estimadas de los dos procesos por separado, creando un proceso que produce una

complementariedad sustentada en la eficiencia de su combinación. (Asociación de Empresarios de Colombia, 2014)

- En caso contrario, si el contacto con el viento no es tan directo y tenemos una velocidad del viento moderada, con una pintura anticorrosiva será suficiente para alargar la vida útil del material, no sin tener en cuenta un mantenimiento periódico.
- La norma ISO 12944 es uno de los principales estándares internacionales para la protección contra la corrosión del acero mediante pintura. Sirve de guía a los profesionales a la hora de especificar y aplicar sistemas de recubrimiento, y ayuda a asegurar una protección adecuada contra la corrosión en equipamientos y estructuras de acero en diferentes localizaciones. (UNE EN ISO 12944, 2018)

Las superficies que se van a pintar se deberán limpiar cuidadosamente con un cepillo de acero. La capa inferior deberá consistir en un imprimador basado en zinc. La segunda y tercera capas deberán consistir en una pintura de epoxi sobre base de brea. (Sciortino, 1995)

- Utilizar materiales que sean más resistentes a este tipo de fenómenos o, utilizar componentes que ayuden a contrarrestar los efectos de la corrosión. Dentro de las acciones más notorias que se pueden llevar a cabo para evitar los efectos del deterioro por corrosión se encuentra el uso de acero inoxidable en lugar de acero al carbono, pues el acero inoxidable Austenoferrítico es acero normal mezclado con otros metales como níquel y cromo que lo hacen más resistente a los ataques de la corrosión. Es importante resaltar que el acero inoxidable debería emplearse solo para usos donde no se requiera tanto material, pues evaluando su resistencia a la corrosión en función al costo, el precio de este último es más elevado que el del acero al carbono.

- Utilizar el recubrimiento de acero al carbono con zinc, que es otro metal, es un procedimiento que se conoce generalmente como galvanizado y es la forma comúnmente empleada para proteger el acero. El recubrimiento del acero con plásticos especiales resistentes al desgaste constituye otra forma de protección contra la corrosión; sin embargo, el alto costo que implica el proceso de recubrimiento (en talleres especializados) hace que este método no sea práctico para uso diario.

Ahora bien, dentro del campo de la ingeniería civil es importante recomendar mecanismos que ayuden a prevenir el deterioro de los materiales utilizados normalmente como acero de refuerzo para las estructuras de concreto reforzado. Estas recomendaciones consisten en:

- Evitar las grietas y reemplazar los empalmes con tornillos y remaches por soldaduras de tope. También, se debe impedir el acceso de agentes corrosivos rellenando las grietas de un material hermético que impida el paso de dichas sustancias o pintado las piezas que han de estar en contacto antes del montaje. (Vallejo Figueroa, 2006)
- Utilizar recubrimientos interiores el cual están generalmente expuestos de forma continua al medio corrosivo y a variaciones de exposición, ya sea por medio de cambios en la temperatura o de agentes corrosivos. También se pueden usar recubrimientos exteriores los cuales trabajan generalmente en condiciones variables, aunque, no tan severas si se les compara con los recubrimientos interiores que se usan para proteger contra: condiciones atmosféricas, vapores corrosivos y algunos casos de derrames y salpicaduras de sustancias corrosivas. También se pueden utilizar recubrimientos ya sean laminados o líquidos. (Vallejo Figueroa, 2006)

11. Referencias.

- Asociación de Empresarios de Colombia, A. (2014). Guía práctica de galvanizado por inmersión en caliente. *Instituto de Desarrollo Urbano*, 21-22.
- Bedoya, E. C., Vega, C. B., Restrepo, A. H., Delgado, J., Castaño, J. G., & Echeverría, F. (2007). *Corrosión del acero al carbono, acero galvanizado y aluminio en diferentes atmósferas colombianas*. *Scientia et Technica*, 1(36).
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2009). *Corrosion*. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/corrosion>
- Carranza, R. M., Duffo, G., Farina, S., & Kirschenbaum, J. M. (2010). *Nada es para siempre: Química de la degradación de los materiales*. Buenos Aires: Ministerio de Educación de la Nación. Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- CIQUIME, o. (S.f). *Centro de Información Química para Emergencias*. Obtenido de CIQUIME.org: <https://www.ciquime.org/files/at004.pdf>
- Codimec, S. (21 de Diciembre de 2016). *Codimec SAS Compañía de Ingenieros Mecanicos y Civiles*. Obtenido de Codimec.com: <https://www.codimec.com/single-post/2016/12/21/c2bfquc389-es-una-estructura-metalica>
- Compañía Global de Pinturas, S. (1 de Agosto de 2017). *Pintuco*. Obtenido de Pintico.com: <https://pintuco.com.co/blog-pintuco/como-la-corrosion-puede-afectar-sus-estructuras-de-acero/#:~:text=Corrosi%C3%B3n%20Electroqu%C3%ADmica,a%20trav%C3%A9s%20de%20un%20electrolito>.

- Correa Bedoya, E., Botero Vega, C., Restrepo, A. H., Delgado L., J., Castaño, J. G., & Echeverría E., F. (2007). Corrosión del acero al carbono, acero galvanizado y aluminio en diferentes atmósferas colombianas. *Scientia Et Technica*, 7-12.
- Del Ángel Meraz, E., Veleza, L., & M Acosta, A. (2009). AGRESIVIDAD ATMOSFÉRICA BASADA EN EL TIEMPO DE HUMECTACIÓN DEL CLIMA TROPICAL HÚMEDO DEL ESTADO DE TABASCO. *Universidad y Ciencia*, 111-120.
- Díaz Ocaña, I. (2013). CORROSIÓN ATMOSFÉRICA DE ACEROS PATINABLES DE NUEVA GENERACION. *Universidad Complutense de Madrid*.
- Dinero, R. (7 de Julio de 2014). *Dinero*. Obtenido de Dinero:
<https://www.dinero.com/pais/articulo/estructura-metalica-para-edificaciones-colombia/198747>
- Escorcía Lugo, D. (11 de Noviembre de 2015). *Las brisas decembrinas en Barranquilla podrían ser más fuertes*. Obtenido de El Tiempo:
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16427412>
- Espada, L., & Sanchez, A. (1995). Influencia de la lluvia ácida en la corrosión de los metales. *Electroquímica y medio ambiente en el umbral del siglo XXI*, 145-171.
- Feliu, S., & Andrade, M. (1991). *Corrosion y proteccion metalicas*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- Flores, S., & Palma, E. (1993). Estimación rápida de la corrosión atmosférica mediante la técnica "Alambre sobre tornillo". En M. Morcillo Linares, & S. Feliu Matas, *Mapas de España de Corrosividad Atmosferica* (págs. 381-393). Madrid: CYTED.

- Gallardo, E., Galicia, A., Lugo, G., Pérez, J., & Rosas, M. (2014). Evaluación de Corrosividad Atmosférica en la Ciudad de Tuxpan Veracruz, mediante el metodo CLIMAT. *Ciencias de la Ingeniería y Tecnología, Handbook*, 10-16.
- García Bello, D. (28 de Noviembre de 2019). *Cuaderno de Cultura Científica*. Obtenido de Cultura Científica.com: <https://culturacientifica.com/2019/11/28/que-es-el-ph/>
- Ing. Ceballos Arana, M. (2016). Voz del Experto. *Revista Cyt*, 24.
- Ingenieros de la crisis, W. (23 de Marzo de 2012). *Ingenierosdelacrisis Wordpress*. Obtenido de Ingenierosdelacrisis Wordpress Web site: <https://ingenierodelacrisis.wordpress.com/2012/03/23/inhibidores-de-corrosion/>
- ISO 9223, C. (2012). Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification, determination and estimation. *CEN-CENELEC*, 9-10.
- ISO 9226, C. (2012). Corrosion of metals and alloys - corrosivity of atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity. 4.
- Lopez, O. (7 de Abril de 2010). *La Guía Química*. Obtenido de Química la Guía : <https://quimica.laguia2000.com/general/celdas-electroquimicas>
- Meraz, E. d., Veleza, L., & M Acosta, A. (2009). Agresividad atmosférica basada en el tiempo de humectación del clima tropical húmedo del estado de Tabasco. *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Dirección de Investigación y Posgrado*, 112.
- Morcillo Linares, M., & Feliu Matas, S. (1993). Mapas de España de Corrosividad Atmosférica. Madrid: Editorial CSIC.

Navarro, A. (10 de Marzo de 2021). *Nueva alerta roja por fuertes vientos en Barranquilla*.

Obtenido de El Heraldo: <https://www.elheraldo.co/barranquilla/nueva-alerta-roja-por-fuertes-vientos-en-barranquilla-800402>

Padilla, E. D. (1999). Estudio de la Corrosión de Materiales en Atmósfera de Lima - Método ALCAN. *RIIGEO*, 123-136.

Perez, J. M. (6 de Noviembre de 2017). Postes deteriorados que afean la ciudad. *El heraldo*.

Perez, J. M. (10 de Junio de 2018). Desmontan por riesgo el puente de la Autónoma. *El heraldo*.

Revie, R., & Uhlig, H. (2008). Corrosion and Corrosion Control. An Introduction to Corrosion Science and Engineering. *John Wiley & Sons*.

Revie, W. R. (2011). Uhlig's Corrosion Handbook, Third Edition. *John Wiley & Sons*.

Rivas Cardenas, D. (2018). El clima, caracteres, causas, clasificación, fenómenos y alteraciones climaticas aplicacion didactica. *Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle*, 30-31.

Romero Samper, N. P., & Fuentes Gutierrez, I. M. (2019). Estimación de la velocidad de deposición de cloruros en la zona noreste de la ciudad de Barranquilla. *Universidad de la Costa*, 44.

Saavedra T, B. (3 de Septiembre de 2020). Advierten falta de mantenimiento en el nuevo Puente Pumarejo. *Caracol Radio*.

Sciortino, J. (1995). Construcción y mantenimiento de puertos y desembarcaderos para buques pesqueros. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de Fao.

Significados, .. (7 de Agosto de 2019). *Significados.com*. Obtenido de Significados.com:

<https://www.significados.com/solucion-quimica/>

Syscom, B. (18 de Mayo de 2018). *Syscom Blog*. Obtenido de Syscom Blog Web site:

<https://www.syscomblog.com/2018/05/par-galvanico-un-problema-de.html>

Tejero Rivas, M. C., Del Ángel Meraz, E., Bautista Margulis, R. G., & Hernández Morales, N. E.

(2015). Corrosividad atmosférica del cobre y del acero en dos localidades de

Villahermosa, Tabasco. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*.

UNE EN ISO 12944, I. (2018). Pinturas y barnices protección de estructuras de acero frente a la

corrosión mediante sistemas de pinturas protectoras . *UNE*, 10-14.

UNE EN ISO 1491, I. (2010). Recubrimientos de galvanización en caliente sobre piezas de

hierro y acero Especificaciones y métodos de ensayo. *AENOR*, 9-14.

Universidad de Buenos Aires, U. (s.f.). *Universidad de buenos aires*. Obtenido de Universidad

de buenos aires: <http://materias.fi.uba.ar/6303/TPN3.pdf>

Vallejo Figueroa, J. C. (2006). CONOCIMIENTO Y PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Vasquez, M. (2018). *La Corrosión: El peor de los villanos cuando dominan los metales*. Mar de

la Plata: EUDEM.

Yepes Piqueras, V. (4 de Enero de 2017). *Universitat Politecnica de Valencia*. Obtenido de

Universitat Politecnica de Valencia: [https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/04/los-](https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/04/los-origenes-del-hormigon/)

[origenes-del-hormigon/](https://victoryepes.blogs.upv.es/2017/01/04/los-origenes-del-hormigon/)