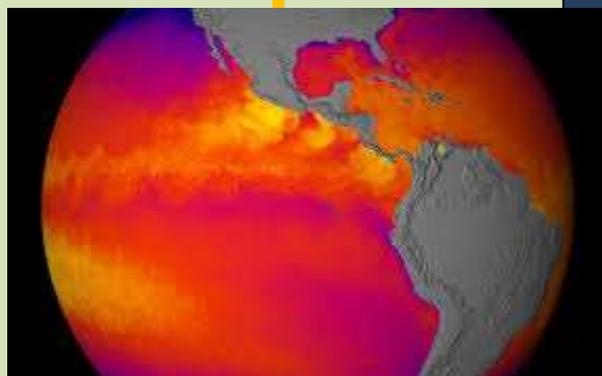


ARTICULO RES004



Artículo

CARACTERIZACIÓN DE LOS EVENTOS METEOROLÓGICOS DEL ESTADO MÉRIDA QUE INCIDEN EN LA CORROSIÓN DE MATERIALES

*Classification of weather events in the state of Mérida
impacting on the corrosion of materials*

KEYLA DANIELA TORRES PABÓN¹ y LUIS MANUEL NEREY CARVAJAL¹

¹ Universidad de los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Escuela de Diseño Industrial, Departamento de Tecnología para el Diseño industrial, Laboratorio de Acabados superficiales. Mérida, Venezuela, E-mails: keyla.torres@gmail.com; luisnerey@ula.ve

Recibido: 30/05/15. Aceptado: 19/10/15.

RESUMEN

Actualmente, en el Estado Mérida se ejecutan proyectos en los que se aplican tratamientos finales o acabados superficiales, vinculados en principio a factores visuales y no a parámetros técnicos; las decisiones sobre los materiales empleados en la elaboración de productos, no buscan mejorar la durabilidad, ni prevén problemas en el ciclo de vida de los mismos, un ejemplo claro es la corrosión producida por la exposición directa a la atmósfera; pues las decisiones se limitan a la materia prima ofertada en el mercado y no a factores técnicos, dejando de lado aquella que garantice la calidad. Para ello será necesario conocer las zonas climáticas más destacadas del Estado, evaluar la data estadística de los eventos meteorológicos registrados en un período de seis meses, pretendiendo determinar cuáles de los eventos que resultan agresivos para los materiales y aplicar normativas internacionales en el desarrollo de un ensayo de corrosión ambiental en atmósfera directa. Con base en esta información científica se pretende generar un listado esencial de consideraciones técnicas aplicables a la hora de realizar acabados superficiales especialmente sobre materiales metálicos, que permitan mejorar la estabilidad de su comportamiento.

PALABRAS CLAVE: Corrosión, acabados superficiales, meteorología, ensayo, metal.

SUMMARY

Currently in the State of Mérida, surface finishes or final treatments have been applied to works being undertaken. Decisions on these finishes have been mainly linked to visual factors rather than technical parameters. Decisions

about the materials used to manufacture products are not based on qualities to improve the durability of the products or predict their life cycle. A clear example of this is the corrosion caused by direct exposure to the elements, which indicates that decisions on the materials have been guided by market prices rather than technical factors. This will require a knowledge of the most relevant climatic zones of the state, the assessment of statistical data related to meteorological events recorded over a period of six months, in an attempt to determine which of the events cause an impact on the materials and apply international standards in the development of an environmental corrosion test in direct contact with the atmosphere. Based on this scientific information, we intend to produce a list of essential technical criteria to be applied when performing surface finish, particularly on metal materials, which may improve their metal stability.

KEY WORDS: Corrosion, surface finishes, meteorology, trial, metal.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un evento de carácter global que ha afectado un sin fin de actividades humanas, tanto en la vida diaria individual, como la colectiva e incluso los avances tecnológicos que se han desarrollado para minimizar su impacto, no ha de extrañar entonces que las variaciones climáticas en cortos, medianos y largos períodos de tiempo, hayan aumentado progresiva y exponencialmente, limitando la fiabilidad de las proyecciones.

A pesar de esta situación es determinante conocer cuáles son los eventos meteorológicos del Estado Mérida que inciden en la corrosión de materiales, con la finalidad de minimizar sus efectos en los productos mediante la adecuada selección y aplicación de los diferentes acabados superficiales. De ahí, que se haga necesario conocer las condiciones meteorológicas del Estado en la zona de planicie de clima cálido (Ciudad de Mérida – ambiente urbano), zona de bosque húmedo tropical de clima tropical seco (El Vigía – ambiente industrial) y zona montañosa de clima húmedo - frío (ambiente rural) (Gabler *et al.*, 2007). Con el análisis de los datos obtenidos en un período de seis (06) meses (desde Diciembre del 2013 hasta Mayo del 2014) y contando con referencias teóricas/estadísticas de la posible incidencia de éstos en la degradación/corrosión de productos, permitirán los datos obtenidos cotejarse con los resultados determinados en el ensayo de corrosión ambiental en atmosfera directa.

Otro aspecto de relevancia y aval técnico para el desarrollo de esta investigación es el hecho de que el Estado Mérida se caracteriza por ser receptor de materiales, bienes de consumo y materia prima de origen nacional o foráneo, sin realizar en ellos ningún tipo de evaluación, ni adaptación técnica acerca de su comportamiento y desempeño bajo ésta atmósfera; restringiendo a los usuarios el goce de la ejecución de garantías y tiempos de vida útil de los productos adquiridos, convirtiéndose ésta situación, en un quiebre de la línea de mercado y por

ende en una de las principales preocupaciones del sector industrial y gubernamental, quienes buscan ávidamente especificaciones técnicas que les permitan tomar medidas correctivas en los acabados superficiales que garanticen una mayor calidad de su oferta.

Y es que en Venezuela, al igual que en otros países de América y Europa, se siguen empleando acabados superficiales como: *fosfatado, satinado, niquelado, pinturas orgánicas*, entre otros. En diversos casos, la comunidad científica se ha abocado a evaluar y determinar el comportamiento de los materiales ante los eventos meteorológicos de distintas localidades, algunas de las referencias más destacadas son: Puerto Ordaz – Venezuela (Ortiz y Gil, 2012); Perú (Carrera, 1999); Chile (Vera *et al.*, 2012); México (López-Badilla, 2011); y España (Díaz, 2001). Para algunos de estos estudios fueron empleadas las normas ASTM, las cuales son aceptadas internacionalmente como un estándar de calidad y veracidad, pues según la ASTM International (2014), el objetivo de ellos es *determinar parámetros para una evaluación objetiva de las investigaciones sea cual sea la latitud en la que esta se desarrolle*.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo a Hernandis e Iribarren (2000), la sistémica permite entender la realidad a través de la Teoría General de los Sistemas como modelo de representación objetivo de las relaciones. Por ello, en su libro *Diseño de productos – Una perspectiva sistémica*, se especifica que ésta cuenta con dos grandes etapas, por un lado se encuentra el *modelado de sistemas* donde se describen teóricamente los sistemas y subsistemas vinculados al problema (Sistema exterior, variables de entrada y salida, sistema de referencia, subsistemas fundamentales - formal, funcional y ergonómico-); y por otro, está el *modelado de las etapas y fases de desarrollo del producto (etapa de diseño)*. En el caso de la presente investigación, se trabajará específicamente en el *Modelado de los Sistemas*, de acuerdo a la secuencia de fases que se describen en los sub puntos siguientes.

2.1. FASE DE REVISIÓN DOCUMENTAL

Permitió indagar acerca del estado del arte, normativas internacionales vinculadas al tema, pertinencia y actualidad científica, entre otros aspectos.

2.2. FASE DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se recolectaron datos estadísticos registrados en tres estaciones meteorológicas del Estado Mérida (Ciudad de Mérida, El Vigía y Llano del Hato) y luego se procesaron a través de una estadística descriptiva, con la finalidad de determinar cuál es el grado de agresividad de los diferentes eventos meteorológicos sobre los materiales, especialmente los relacionados a la corrosión de los metales.

De acuerdo a la estructura metodológica empleada, tanto la primera como la segunda fase, pertenecen al denominado *Sistema Exterior*, quien según Hernandis e Iribarren (2000), está constituido por los diferentes sistemas y subsistemas que existen en el entorno y que tienen relación con el sistema en estudio. De allí que los datos de la revisión documental y los resultados estadísticos de la *caracterización de los eventos meteorológicos del Estado Mérida*, se transforman y van de forma directa a la matriz metodológica como *Variables de entrada* al sistema de referencia (sistema de estudio).

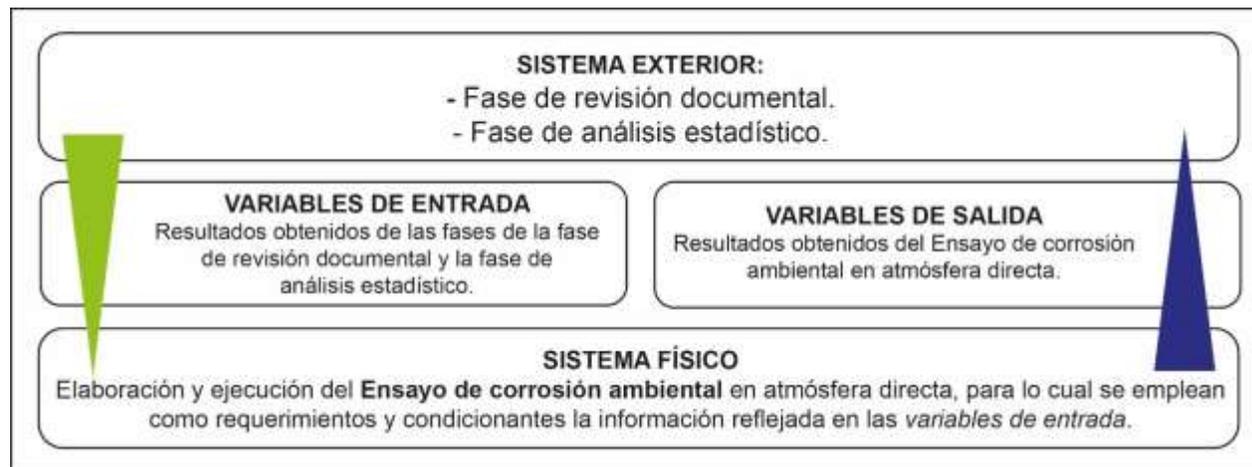
2.3. FASE DE ENSAYO

El desarrollo de un ensayo de corrosión ambiental en atmosfera directa, permitió validar los datos obtenidos de la estadística descriptiva y observar el comportamiento del material (Acero A36) durante la exposición a una atmosfera directa, por un período de tiempo de seis (06) meses. Para la elaboración y desarrollo del mismo se trabajará sistemáticamente de acuerdo a las Normas ASTM para ensayos de este tipo; lo que ubica ésta fase en el denominado *Sistema de referencia* (Sistema de estudio).

2.4. FASE DE RESULTADOS

Por último los resultados obtenidos del estudio de corrosión ambiental serán entregados a los representantes de la industria local y entes gubernamentales interesados, como una lista de consideraciones técnicas acerca de los diferentes acabados superficiales a emplear en estructuras y/o productos fabricados en la entidad; dentro de la metodología empleada, ésta fase se considera como las *Variables de salida*.

FIGURA 1. Grafico descriptivo del *modelado de los sistemas* de la estructura metodológica sistémica, basado en el Modelo de Ashby (Hernandis y Iribarren, 2000).



2.4.1. REVISIÓN DOCUMENTAL – FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.4.2. INCIDENCIA DE LOS EVENTOS METEOROLÓGICOS DEL ESTADO MÉRIDA EN LA CORROSIÓN DE LOS MATERIALES

Considerando que la corrosión ambiental es un proceso en el cual intervienen un sinfín de factores naturales y artificiales, entre los que se pueden mencionar: el material de estudio, el entorno y la relación que se establece entre ambos (Proceso electroquímico), derivando esta última en productos o sustancias químicas que afectan el material y pueden llegar a alterar la composición química tanto de los acabados superficiales como de la capa externa del material base, dependiendo de la penetración que esta relación alcance (Figura 2).

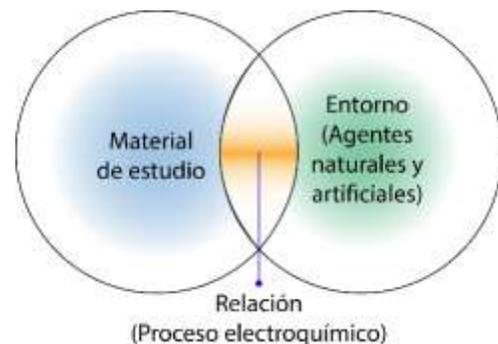


FIGURA 2. Elementos que intervienen en el proceso de corrosión. Fuente: Elaboración propia.

Con base en lo anteriormente expuesto, la revisión documental se convierte en una herramienta objetiva para dilucidar la importancia e incidencia de los eventos meteorológicos en la corrosión de los materiales, principalmente de los metales, permitiendo así proyectar el comportamiento de estos en diferentes localidades. Una referencia importante de dicha incidencia es lo destacado por algunas investigaciones científicas, donde plantean que la humedad representa el evento meteorológico más agresivo en el proceso de corrosión ambiental y su incidencia

depende del porcentaje de la misma en las zonas de estudio, este debe ser mayor al 80% para que la película electrolítica en el metal sea apreciable o esté húmeda, pues es una condición sin ecua non del proceso electrolítico.

Existen diversas clasificaciones y tipos de corrosión ambiental en los cuales la humedad es un factor de reacción determinante, entre los más destacados a efectos de ésta investigación se encuentran: **Corrosión seca.** Reacción directa de un metal con el oxígeno (oxidación directa), para formar óxido (Gómez y Alcaraz, 2004); **Corrosión húmeda o mojada.** Es el tipo de corrosión más común, ocurre en presencia de un líquido o electrolito (Pazos, 2006) y la misma aumenta cuando la humedad excede de un valor crítico por encima del 70% (Chico *et al.*, 2005).

2.4.3. POSIBILIDADES DE PREDECIR EL COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES

Los ensayos de corrosión ambiental se pueden realizar y monitorear por diversos métodos (físicos o matemáticos). Los más utilizados por su fidelidad con la realidad y la fiabilidad en los resultados son los ensayos físicos: **1.** La simulación de las condiciones climáticas de la localidad seleccionada en laboratorios que estén destinados para estos fines; **2.** La exposición directa a la atmosfera natural de probetas o muestras del material que se pretende evaluar.

Estos procedimientos se encuentran estandarizados y estructurados sistemáticamente en normativas internacionales como las ISO, ASTM, entre otras; avalando los resultados obtenidos de la investigación con valor científico ante toda la comunidad internacional.

Adicional a estos métodos de ensayos físicos (destrutivos), se pueden encontrar métodos matemáticos como los de la cinética de las reacciones químicas o isoterma de absorción, siendo algunos de los más destacados: Modelo de Freundlich ($\theta A = K_1 C^{1/K_2}$); Modelo de Langmuir ($D = K_1 C / (1 + K_2 C)$); Modelo Isoterma de Temkin: ($D = K_1 \ln (K_2 C)$). Éstos buscan explicar matemáticamente la reacción química y concentración de la relación entre el material absorbente (probeta), materiales absorbidos (gases, líquidos, entre otros) y factores físicos a los que se estima estarán sometidos (presión, temperatura, entre otros) (Izquierdo *et al.*, 2004).

Estos métodos matemáticos permiten obtener resultados altamente confiables en el aspecto que cada uno de ellos enfatiza, sin embargo ninguno de estos métodos matemáticos puede reproducir y evaluar a cabalidad cada uno eventos naturales que se pueden encontrar en el entorno directo. Con base en ésta información y en pro de obtener resultados altamente confiables, se determina realizar un ensayo de corrosión ambiental en atmósfera directa.

2.4.4. ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA - CARACTERIZACIÓN DE LOS EVENTOS METEOROLÓGICOS DEL ESTADO MÉRIDA

En pro de contar con datos cuantitativos referenciales y proyecciones del comportamiento de los materiales durante el ensayo de corrosión por exposición a una atmósfera directa, se recolecta la data estadística de los eventos meteorológicos registrados en tres (03) estaciones del Estado Mérida propuestas por Gabler *et al.* (2007): **A.** Zona de planicie de clima cálido (Mérida – ambiente urbano); **B.** Zonas de bosques húmedos tropicales de clima tropical seco (El Vigía – ambiente industrial); **C.** Zonas montañosas de climas húmedos y fríos (Llano del Hato - ambiente rural). Posteriormente se realiza un análisis estadístico de tipo descriptivo que proyectaría las características cuantitativas de los eventos meteorológicos más agresivos e influyentes a ser considerados en la corrosión ambiental de los materiales.

2.4.5. ENSAYO DE CORROSIÓN AMBIENTAL

La construcción y ejecución del ensayo de corrosión ambiental, se llevó a cabo tomando como guía de trabajo las normas internacionales ASTM. Para la etapa inicial correspondiente a la construcción y montaje se trabajó con la Práctica estándar ASTM G1, donde se especifican los siguientes aspectos:

2.4.5.1. PROBETAS

Composición química del material. Acero ASTM A36, compuesto por Carbón, C - 0.25 - 0.29 %; Cobre, Cu 0.20 %; Hierro, Fe 98%; Manganeso, Mn 1.03 %; Fosforo, P <= 0.040 %; Sílice, Si 0.28 %; Sulfuro, S <= 0.050 %.

Proceso de fabricación y dimensiones. A partir de láminas de 1200 x 2400mm x 3mm de espesor, se cortaron las probetas en un formato promedio de 50mm x 50mm x 3mm, usando una guillotina hidráulica.

Marcas de identificación. Realizadas con esmeril por técnica de grabado.

Tratamientos mecánicos previos al acabado superficial. Para los diferentes acabados superficiales que se aplicaran (Niquelado, fosfatado, satinado y pintado), se requiere seguir el siguiente procedimiento previo: Desbastar la superficie con papel lija de grano 200, 220, 360; en los casos que se requiera se usa cepillo eléctrico

de cerdas metálicas. Luego se realiza un proceso de pulido con lijas de grano de 1000 a 3200, para finalmente bruñir la superficie con trapo y pastas abrasivas.

Tratamientos químicos o acabados superficiales. Acabado orgánico – Fondo acrílico poliamida II, (HB), Línea B72. Marca Sherwin Williams, acabado *Físico* – Satinado, *Acabado Óxidos Químico Térmico* – Fosfatado, *Acabado electroquímico* – Niquelado.

2.4.5.2. CONSTRUCCIÓN DEL ESTANTE DE EXPOSICIÓN

Dimensiones del estante. Considerando las dimensiones de las probetas y que entre cada una de las muestras debe haber una separación mínima de 3cm, las dimensiones del panel resultan: 400mm de ancho, 500mm de largo, 800mm de altura posterior, 130mm de altura frontal y un ángulo de inclinación de 45°.

Materiales empleados. Para el marco y los soportes se usaron perfiles en ánulo de 90° de aluminio, 1 pulgada de ancho y espesor de la pared de 1,3mm. Para los sistemas de sujeción tornillos y doble tuercas cincadas y para el soporte/amarre de las probetas se empleó hilo nylon de 1mm de diámetro.

Montaje. Se instalaron tres estantes de exposición en tiempo paralelo, ubicados en tres zonas del Estado Mérida – Mérida/urbana, El Vigía/industrial y Llano del Hato/rural; cada uno de ellos contentivos de veintiséis probetas de Acero al carbono A36, con dimensiones promedio de 50x60x3mm; estas se distribuyeron de la siguiente manera (*Tabla 1*): cinco (05) probetas con acabado orgánico – (*FA*) Fondo acrílico poliamida II, (HB), Línea B72. Marca Sherwin Williams, cinco (05) probetas con acabado *Físico* – (*S*) Satinado, cinco (05) probetas con *Acabado Óxidos Químico Térmico* – (*F*) Fosfatado, cinco (05) probetas con *Acabado electroquímico* – (*N*) Niquelado y una probeta de control sin aplicación de acabados superficiales. Éste montaje con el que se realizó el ensayo de corrosión ambiental en atmósfera directa, tuvo un *Tiempo de duración de la exposición* de seis (6) meses, iniciando en el mes de marzo del año 2015.

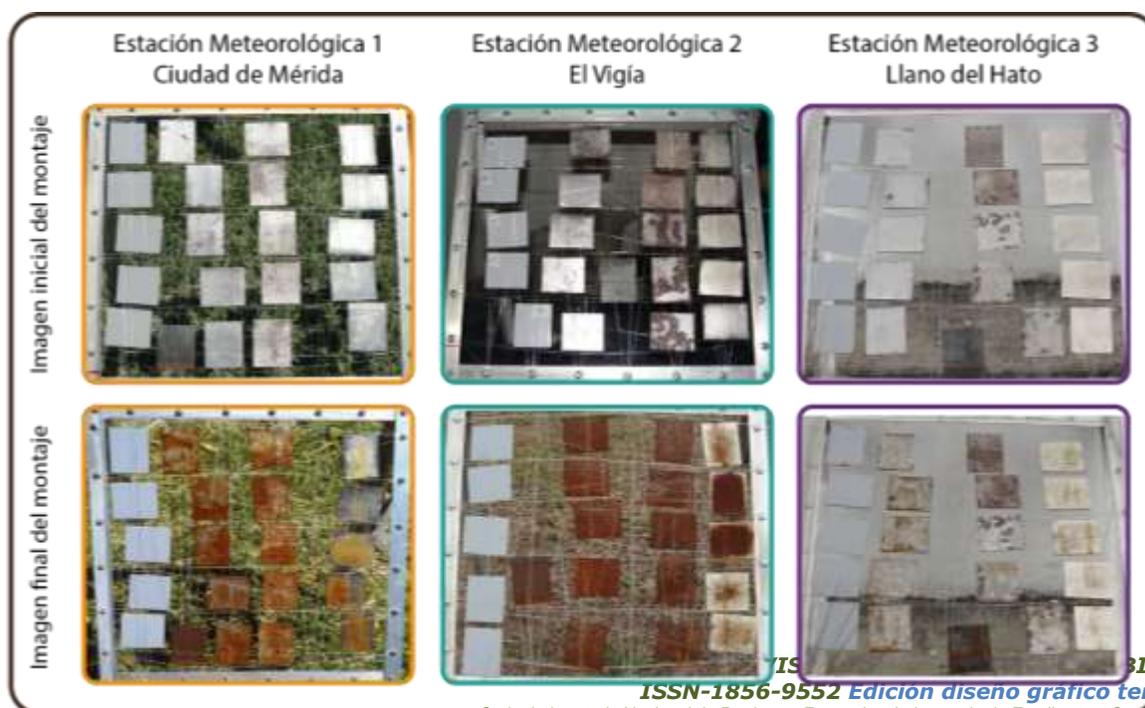
2.4.5.3. MAPA DE UBICACIÓN EN EL ESTANTE DE EXPOSICIÓN

CUADRO 1. Mapa de ubicación de las probetas en el estante de exposición. Fuente: Elaboración propia.

N°	Fondo Acrílico	N°	Satinado	N°	Fosfatado	N°	Niquelado
1	FA-X-1	6	SA-X-1	11	F-X-1	16	N-X-1
2	FA-X-2	7	SA-X-2	12	F-X-2	17	N-X-2
3	FA-X-3	8	SA-X-3	13	F-X-3	18	N-X-3
4	FA-X-4	9	SA-X-4	14	F-X-4	19	N-X-4
5	FA-X-5	10	SA-X-5	15	F-X-5	20	N-X-5
Nota: X=Zona de ensayo				26	Prueba de control		
M - Mérida / V - El Vigía / LL - Llano del Hato							

Una vez instalado el estante de exposición (Figura 3), se requirió de una supervisión mensual, ya que era de vital importancia garantizar que el ensayo se estaba desarrollando sin novedad alguna.

FIGURA 3. Registro inicial y final del montaje de exposición del ensayo de corrosión ambiental en atmosfera directa. Fuente: Elaboración propia.



Para la etapa final correspondiente a la eliminación del montaje y limpieza de las probetas para determinar los efectos de la corrosión se trabajó con la Práctica estándar ASTM G4-01 (2008), donde se especifican los siguientes aspectos:

Registro del levantamiento del montaje. Fotografiar el estado final en el que se encontró el ensayo de corrosión una vez pasado los seis meses es fundamental para garantizar que las probetas no han sido movidas de su ubicación inicial y dar una idea general de los efectos e incidencia de los eventos meteorológicos en el material de estudio.

Eliminación de los productos de la corrosión. Existen tres procedimientos para la eliminación de los productos de la corrosión: mecánicos, químicos y electrolíticos. A efectos del enfoque de la investigación y la disponibilidad del Laboratorio de acabados, se seleccionó el proceso químico específico para acero, denominado C.3.2., para el cual se emplean 50g de Hidróxido de Sodio (NaOH), 200g de Zinc granulado y 1000ml de agua destilada; todo ello se ubica en un vaso precipitado y se eleva la temperatura entre 80 y 90°C, por un tiempo de 30 y 40min. Este procedimiento debe repetirse tantas veces como sea necesario para eliminar los productos de la corrosión.

Pérdida de masa y tasa de corrosión. A fin de contar con registros fiables científicamente hablando y lograr determinar de manera precisa la pérdida de masa en cada una de las probetas de estudio, es necesario pesar las probetas una vez que han sido retiradas del estante de exposición y después de cada aplicación del proceso químico para la eliminación de los productos de la corrosión; con ésta información se determinará la tasa de corrosión = $(KxW)/(AxTx)$

(K) Constante = Milímetros por año (mm/y) - 8.76×10^2

(T) tiempo de exposición en horas (determinado de acuerdo a la exposición en cada una de las estaciones)

(A) Área en cm² (Promedio de cada grupo de probetas)

(W) Pérdida de masa en gramos (Promedio de cada grupo de probetas)

(D) densidad del Acero A36 = 7,85 g / cm³

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS EVENTOS METEOROLÓGICOS DEL ESTADO MÉRIDA

El cuadro 2, reporta los resultados meteorológicos obtenidos en las tres estaciones definidas en el proceso metodológico del presente estudio.

CUADRO 2. Datos meteorológicos obtenidos de la estadística descriptiva de tres estaciones del Estado Mérida, desde Diciembre 2013 hasta Mayo 2014. Fuente Elaboración propia.

Eventos meteorológicos de relevancia en estudios de corrosión ambiental			
1. Temperatura media (°C)			
Factor estadístico	Estación 1 Mérida Aeropuerto “Alberto Carnevall”	Estación 2 El Vigía Aeropuerto “Juan Pablo Pérez Alfonso”	Estación 3 Llano del Hato Centro de Investigaciones de Astronomía “Francisco J. Duarte”.
Promedio	19,80 °C	27,67 °C	06,80 °C
Varianza	0,47 °C	0,55 °C	0,05 °C
La <i>temperatura media</i> de las tres estaciones presenta una diferencia de más de 20 ° C.			
2. Velocidad media del viento (Km/h)			
Promedio	02,57 Km/h	0,93 Km/h	17,33 Km/h
Varianza	0,15 Km/h	0,004 Km/h	03,84 Km/h
La <i>Velocidad media del viento</i> de las tres estaciones presenta una diferencia de más de 15 km/h.			
3. Insolación media (hrs.)			
Promedio	2,57 hrs.	4,80 hrs.	----
Varianza	0,15 hrs.	0,05 hrs.	----
La <i>Insolación media</i> se logró medir en dos de las tres estaciones (inconvenientes técnicos), esta presenta una diferencia de 2,23 hrs.			
4. Radiación media (MJm⁻²)			
Promedio	17,56 MJm ⁻²	8,97 MJm ⁻²	----
Varianza	2,54 MJm ⁻²	0,94 MJm ⁻²	----
La <i>Radiación media</i> se logró medir en dos de las tres estaciones (inconvenientes técnicos en la Estación 3), esta presenta una diferencia de 8,59 MJm ⁻²			
5. Humedad media (%)			
Promedio	83,00 %	82,79 %	---
Varianza	08,40 %	08,82 %	----
La <i>Humedad media</i> se logró medir en dos de las tres estaciones (inconvenientes técnicos), esta presenta una diferencia de 0,21 %, lo cual no representa una diferencia significativa. Sin embargo como dato a considerar la humedad en la Estación N°3 es: máxima 100% y mínima 7% (Reporte anual del tiempo – marzo 2014 a marzo 2015).			
6. Precipitación total (mm)			
Promedio	88,47 mm	177,45 mm	13,45 mm
Varianza	3.635,53 mm	33.693,56 mm	321 mm
La <i>Precipitación total</i> de las tres estaciones presenta una diferencia importante de más de 100 mm.			
Leyenda: Valores críticos COLOR ROJO / Valores sin riesgo aparente COLOR VERDE			

Los valores presentados en el cuadro 2, fueron obtenidos a partir de una estadística descriptiva, resultando en la proyección cualitativa de las *características cuantitativas de los eventos meteorológicos* del Estado Mérida, donde se evidencian los valores más relevantes e incidentes en el objetivo central de la investigación que es el *proceso de corrosión ambiental*, destacando por su condición de agresividad los siguientes eventos: La *Temperatura* que presenta una diferencia considerable de más de 20 °C, siendo la más baja 06,80°C (Estación Llano del Hato) y la más alta 27,67°C (El Vigía); la *Velocidad del viento* que muestra una diferencia de más de 15 km/h, siendo la más baja 0,93 Km/h (El Vigía) y la más alta 17,33 Km/h (Llano del Hato); la *Humedad* que presenta una diferencia de al menos 5%, siendo la más baja 82,79% (El Vigía) y la más alta 100% anual (Mérida); la *Precipitación total* que cuenta con una diferencia importante de más de 100 mm, siendo la más baja 13,45 mm (El Vigía) y la más alta 177,45 mm (Llano del Hato); logrando ser plenamente compatible con lo presentado en el artículo de Vera, Puentes, Araya y Carvajal (2012), denominado *Mapa de corrosión atmosférica de Chile: resultados después de un año de exposición*.

La información obtenida en la estadística descriptiva es de gran relevancia y ayuda para el sector industrial del Estado Mérida, ya que la corrosión es una situación de particular atención y representa uno de los problemas más notables en la pérdida o deterioro de materiales, pues plantea un punto de orientación a soluciones idóneas para contra atacar las condiciones de deterioro que alcanzan los materiales una vez que comienzan a ser afectados por los factores ambientales a los que se encuentran sometidos; sin estos datos es realmente cuesta arriba para los fabricantes tomar previsiones en el proceso de producción, desde la obtención de la materia prima, la aplicación de tratamientos y acabados superficiales, hasta el mantenimiento pre - postventa de los productos; que les ayuden a minimizar y/o retardar el proceso de corrosión y garanticen la calidad, seguridad y economía de la oferta que se presenta al cliente. Ésta sinergia entre la industria local y el Laboratorio de Acabados Superficiales de la Escuela de Diseño Industrial de la Universidad de Los Andes, ha representado un gran paso para la vinculación de ambos factores y el posible desarrollo de futuros proyectos, usando la ciencia y la tecnología en favor de la sociedad.

Con base en los resultados obtenidos se logró determinar que el Estado Mérida presenta condiciones meteorológicas idóneas para que el proceso de corrosión en ambientes naturales se desarrolle de forma acelerada, principalmente porque es un ambiente que no se encuentra en equilibrio termodinámico debido a la alta humedad reportada, superando el porcentaje crítico que se ubica entre 70% y 80%, confirmando así que en el Estado se genera una **corrosión de tipo húmeda**.

Adicionalmente, es importante destacar que para la fecha, los días de lluvia y sol no están contundentemente estacionados en determinados meses del año como en épocas anteriores, observando días de lluvia en temporadas de sequía y viceversa, además existen otros factores o agentes que influyen en la corrosión como lo son: contaminantes, polución, salinidad entre otros; que para la fecha no están siendo registrados en ninguna de las estaciones del Estado.

Finalmente se puede inferir que la Estación de El Vigía permitirá una alta velocidad de corrosión ya que presenta una alta humedad y alta temperatura y *“al subir la temperatura aumenta la velocidad de las reacciones electroquímicas...se acelera la evaporación de la humedad, desciende la concentración de oxígeno y otros gases corrosivos disueltos en ella e incluso pueden producirse cambios en las propiedades protectoras”* (Chico et al., 2005). Esto viene a resaltar que existe una estrecha relación entre el acelerado proceso de corrosión y la proximidad de esta estación con la costa venezolana del Sur del Lago de Maracaibo, donde predomina la incidencia indirecta del Cloruro de sodio, otras sales y sílice (arena), principalmente en aquellos episodios en los que la velocidad del viento contribuye al traslado y deposición de materiales (Coatl, 2009).

3.2. PÉRDIDA DE MASA Y TASA DE CORROSIÓN

El cuadro 3, reporta los resultados de la pérdida de masa y la tasa de corrosión obtenidos en las tres estaciones definidas en el proceso metodológico del presente estudio.

Los resultados presentados en el cuadro 3, fueron obtenidos a partir de los lineamientos presentados en la Práctica estándar ASTM G4-01 (2008), donde se indican los parámetros matemáticos con los cuales se debe determinar la *Tasa de corrosión*. De acuerdo a esto se pueden exaltar algunos aspectos, entre los más importantes se encuentran: La confirmación de la información arrojada en la estadística descriptiva, donde se determina que la zona de bosque húmedo tropical de clima tropical seco en El Vigía (ambiente industrial), es la zona que presenta una mayor velocidad de corrosión debido a sus condiciones meteorológicas; siendo ésta de *1,370 mm/y*, y de *0,265 mm/y* para la zona de planicie de clima cálido en la Ciudad de Mérida – (ambiente urbano), evidenciándose una diferencia importante de *1,105 mm/y*. Adicionalmente se determinó que la tasa de corrosión más alta fue presentada por el grupo de probetas con acabado satinado ubicadas en la estación meteorológica N° 2 – El Vigía.

CUADRO 3. Resultados de la pérdida de masa y la tasa de corrosión en las tres (03) Estaciones meteorológicas más representativas. Fuente: Elaboración propia.

Resultados de la Estación Meteorológica 1: Mérida (Zona urbana)			
Tiempo de exposición (T): 4513,583 h.			
Denominación de la Probeta	Área Promedio (A) (cm ²)	Pérdida de masa en gramos (W)	Tasa de Corrosión $(K \times W) / (A \times T \times D) =$ (mm/y)
Grupo FA-M	68,89	0,010	No aplica No hay Pérdida de masa (g.)
Grupo S-M	67,52	-0,220	0,0081
Grupo F-M	67,76	-0,852	0,0311
Grupo N-M	71,10	0,002	0,0001
Promedio de pérdida de masa de la zona		-0,265	
Resultados de la Estación Meteorológica 2: El Vigía (Zona industrial)			
Tiempo de exposición (T): 4587,400 h.			
Grupo FA-V	68,08	-0,006	0,0002
Grupo S-V	68,32	-2,912	0,1037
Grupo F-V	70,88	-2,280	0,0782
Grupo N-V	67,17	-0,280	0,0101
Promedio de pérdida de masa de la zona		-1,370	
Resultados de la Estación Meteorológica 3: Llano del Hato (Zona rural)			
Tiempo de exposición (T): 4753,617 h.			
Grupo FA-LL	70,45	0,002	No aplica No hay Pérdida de masa (g.)
Grupo S-LL	68,29	-0,132	0,0045
Grupo F-LL	68,51	-0,092	0,0032
Grupo N-LL	68,72	-0,012	0,0004
Promedio de pérdida de masa de la zona		-0,058	

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La data estadística recolectada en tres (03) de las estaciones meteorológicas más importantes del Estado Mérida, permitieron inferir el futuro comportamiento de los materiales expuestos directamente en atmósfera natural, donde los eventos meteorológicos más agresivos son: *La temperatura, Velocidad del viento, humedad y precipitación total.*

Tomando estos datos como punto de partida se tomaron decisiones técnicas respecto a las propiedades y características de los materiales que se debían emplear tanto para las probetas de estudio tanto como para el estante de exposición de las mismas y adicionalmente se evaluaron los posibles acabados superficiales que era conveniente estudiar en un ensayo de corrosión ambiental.

Para el desarrollo de investigaciones o ensayos de corrosión posteriores se sugiere que se empleen métodos de ensayos físicos de tipo destructivo, pues aunque el tiempo de duración es prolongado, los resultados que se obtienen cuentan con un mayor porcentaje de fiabilidad que los métodos matemáticos, quienes difícilmente pueden replicar la totalidad de las variables involucradas en un entorno natural. Es por ello que en el caso del Estado Mérida era de suma importancia conocer los resultados de la incidencia directa de los eventos meteorológicos sobre el material (Acero A36) y los diferentes acabados estudiados, debido a que los registros meteorológicos omiten la medición de agentes contaminantes (gases, sales, óxidos, entre otros) y éste dato puede generar variaciones importantes en los resultados matemáticos, ya que deja un vacío de información que dificultaría la predicción del comportamiento de los materiales a través de éstos métodos.

Por definición teórica el Estado Mérida presenta una humedad mayor al 70%, lo que supera el límite crítico, es decir que ésta es una localidad propia para el desarrollo de la *corrosión húmeda*. Así se pudo evidenciar en la data estadística, para ser más específicos, es la estación meteorológica de El Vigía la que presenta una mayor velocidad de corrosión debido a la alta humedad (>80% - crítica) y alta temperatura (entre 25 y 29°C respectivamente); siendo este entorno perfecto para la generación acelerada del proceso electroquímico de la corrosión, constatándose así en el ensayo de corrosión ambiental donde en ésta estación se encontraron las probetas con mayor pérdida de masa (entre 2 y 2,9 g. respectivamente).

No menos importante se observó que la pérdida de masa depende en gran medida de las características metalúrgicas del material, el procedimiento pre tratamiento, tiempo de aplicación y espesor de la capa protectora del acabado superficial, la calidad de las soluciones y reactivos; probándose esto en la velocidad de corrosión alcanzada en las diferentes zonas de exposición. Para el caso de los acabados superficiales empleados en éste ensayo de corrosión ambiental se ubican en el siguiente orden de mayor a menor: Satinado > Fosfatado > Niquelado > Fondo acrílico.

Este estudio de corrosión ambiental es un aporte científico para la sociedad merideña, sirviendo como una guía práctica para aquellas industrias y entes gubernamentales interesados en

minimizar el impacto o la incidencia de los eventos meteorológicos en los productos que desarrollan, ya que se presentan aspectos básicos a considerar en la aplicación de acabados superficiales y los resultados de dicho proceso, donde pueden apoyarse para analizar los procesos, materiales y modos de aplicación, a fin de determinar si en la cadena productiva existen variables que no se esté desarrollando técnicamente correcta o si en su defecto no se están aplicando los acabados superficiales idóneos para los materiales base que están empleando.

Finalmente, se expone como recomendación que la totalidad de los datos meteorológicos son importantes a la hora de realizar un estudio relacionado a la corrosión, es por ello sería de gran apoyo científico que tanto los entes públicos como privados doten a las estaciones meteorológicas con los equipos especializados necesarios para medir contaminantes como cloruro, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono entre otros.

5. AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones de Astronomía Francisco J. Duarte (CIDA), principalmente al Ing. Hernán y a la Estación meteorológica del Aeropuerto de El Vigía y a la Estación meteorológica del Aeropuerto de Mérida “Alberto Carnevall”, por el apoyo técnico en lo referente a los datos meteorológicos y por permitir el uso de las instalaciones para ubicar los estantes de exposición por un período de seis (06) meses.

A las diferentes instancias y personal de la Universidad de Los Andes por el apoyo incondicional, especialmente a la Escuela de Diseño Industrial, los Talleres de Producción, al Laboratorio de Acabados superficiales, a la Oficina de Intercambio Científico de la mano de la Licenciada Lesbia Avendaño por el apoyo logístico y a la Profesora María Elena Owen de Contreras por su asesoría.

A la empresa privada Industrias Free Ways c.a., por su incondicional colaboración y apoyo técnico, que va desde el suministro de la materia prima que hizo factible la configuración de las probetas de ensayo, hasta el acceso a los acabados superficiales empleados en sus productos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM G1-03. 2011. Práctica Estándar para la Preparación, limpieza y evaluación de la corrosión Muestras de Ensayo.

ASTM G4-01. 2008. Guía para la realización de ensayos de corrosión en aplicaciones de campo.

ASTM G4-01. 2008. para la realización de ensayos de corrosión en aplicaciones de campo.

ASTM G46-94. 2013. Guía estándar para el Examen y Evaluación de corrosión por picadura.

ASTM G50-10. 2010. Práctica estándar para la realización de pruebas de corrosión atmosférica sobre metales.

ASTM G84-89. 2012. Práctica Estándar para la Medición del Tiempo de humedad en las superficies expuestas a la humedad condiciones que en el Ensayo de corrosión atmosférica.

ASTM G92-86. 2010. Práctica Estándar para la caracterización de la Atmósfera donde se realizará en ensayo.

ASTM. 2014. Manual: What is ASTM Spanish. En línea: http://www.astm.org/GLOBAL/images/What_is_ASTM_Spanish.pdf [Consultado: 11/05/2015].

CARRERA, P. y A. PAJUELO. 1999. Ensayos para determinación de la corrosión de metales en diferentes ambientes de Lima y el Callao. *Revista Per. Quim. Ing. Quim.* 2 (1): 63-71.

CHICO, B., DE LA FUENTE, D., SIMANCAS J. y M. MORCILLO. 2005. *Corrosión atmosférica de metales. efecto de parámetros meteorológicos y de contaminación.* Departamento de Ingeniería de Materiales. Degradación y Durabilidad Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas (CENIM/CSIC). Madrid, España. 159 p.

COALT, M. 2009. Estudio de velocidad de corrosión del acero al carbón en soluciones acuosas de alcanolaminas y sales térmicamente estables. Universidad de las Américas Puebla, México. En línea: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lqi/coatl_p_m/portada.html [Consultado: 17/04/2015].

DÍAZ, F. 2001. Estudio de la corrosión atmosférica del cinc y el acero galvanizado. Tenerife, España. En línea: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=938> [Consultado: 12/06/2015].

DICCIONARIO ENCICLOPÉDICO DOMINICANO DE MEDIO AMBIENTE. 2014. Factores Climáticos. En línea: <http://www.dominicanaonline.org/DiccionarioMedioAmbiente/es/definicionVer.asp?id=396> [Consultado: 26/11/2014].

GABLER, R. E., PETERSON, J. y L. M. TRAPASSO. 2007. Essentials of physical geography. En línea: <https://books.google.co.ve/books?id=cQBh93ibpscC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false> [Consultado: 12/09/2015].

GÓMEZ, F. y G. ALCARAZ. 2004. Manual básico de corrosión para ingenieros. línea: https://books.google.co.ve/books?id=B6tV_j4ofmQC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false [Consultado: 21/03/2014].

HERNANDIS, B. y E. IRIBARREN. 1999. *Diseño de nuevos productos. Una perspectiva sistémica*. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 47 p.

IZQUIERDO, J., CUNILL, F., TEJERO, J., IBORRA, M. y C. FITÉ. 2004. Cinética de las reacciones químicas. En línea: <https://books.google.co.ve/books?id=IdJ03bLyxH4C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false> [Consultado: 12/09/2015].

LÓPEZ-BADILLA, G., SÁNCHEZ, J. A. y C.A. CASTRO. 2007. Análisis de EEA en la corrosión de cobre utilizado en la industria electrónica de ambientes áridos y marinos. En línea: <http://www.aliatuniversidades.com.mx/conexxion/images/pdf/revista5.pdf> [Consultado: 05/03/2015].

MATWEB. 2014. Acero al carbón ASTM A36. En línea: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=afc003f4fb40465fa3df05129f0e88e6&ckck=1> [Consultado: 26/11/2014].

NEREY, L. 2011. *Los acabados superficiales en el diseño de productos*. Vicerrectorado académico. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. 128 p.

ORTIZ, B. y L. GIL. 2012. *Comportamiento corrosivo de distintas aleaciones metálicas y sistemas de recubrimientos poliméricos, en atmosferas marino - industrial*. Centro de Estudios de Corrosión-Unexpo. Puerto Ordaz, Venezuela. p. 294-302.

PAZOS, N. 2006. Tecnología de los metales y procesos de manufactura. En línea: <https://books.google.co.ve/books?id=Sx3GrOhecS4C&dq=corrosi%C3%B3n+hmeda&sitesec=reviews> [Consultado: 05/03/2015].

SECTOR TRATAMIENTO DE SUPERFICIES. 1999. Aplicaciones del manual media a sectores industriales. Madrid, España. En línea:

http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:75600/componente75598.pdf [Consultado: 26/11/2014].

VÁZQUEZ, J. A. y J. DE DAMBORENEA. 2000. Ciencia e ingeniería de la superficie de los materiales metálicos. En línea: https://books.google.co.ve/books?id=8VEmE0MX9mkC&redir_esc=y [Consultado: 26/11/2014].

VERA, R., PUENTES, M., ARAYA, R., ROJAS, P. y A. CARVAJAL. 2012. Mapa de corrosión atmosférica de Chile: resultados después de un año de exposición. *Revista de la Construcción* 12 (22): 61- 82.

PIZARRA-CABRERA, R. y A. ANAYA-PAJUELO. 1999. Ensayos para determinación de la corrosión de metales en diferentes ambientes de Lima y Callao. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Química e Ingeniería Química p: 63-71.