



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“ENSAYOS DE CORROSIÓN ACELERADA PARA
EVALUAR UN RECUBRIMIENTO
ALQUIDÁLICO UTILIZANDO COMO CARGA
ALOE VERA Y NOPAL”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO

PRESENTA

JAVIER FRANCISCO ANDRADE BAENA

DIRECTORES DE TESIS

DR. FRANCISCO JAVIER RODRÍGUEZ GÓMEZ
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

DRA. EBELIA DEL ANGEL MERAZ
UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO
DIVISIÓN ACADÉMICA DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Ciudad Universitaria, CD, MX, 2018





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: **Profesor Francisco Javier Rodríguez Gómez**
VOCAL: **Profesor Carlos Rodríguez Rivera**
SECRETARIO: **Profesor Paola Roncagliolo Barrera**
1° SUPLENTE: **Profesor José Fernando Flores Álvarez**
2° SUPLENTE: **Profesor Ebelia Del Ángel Meraz**

LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA INVESTIGACIÓN:

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
División Académica de Ingeniería y Arquitectura
Lic. en Ingeniería Química
Laboratorio de Investigación

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Francisco Javier Rodríguez Gómez

CO - DIRECTOR DE TESIS:

Dra. Ebelia del Ángel Meraz

SUSTENTANTE:

Javier Francisco Andrade Baena

AGRADECIMIENTOS

A DIOS: *Por estar conmigo en todo momento y ser el guía de mi vida, en la toma de las mejores decisiones para mi presente y mi futuro de la manera más positiva.*

A MIS PADRES

MAMÁ: *Gina Laura María de Lourdes Baena Paz, infinitas gracias por todo el apoyo y amor incondicional que me has brindado en todo momento de mi vida, siendo una persona de ejemplo a seguir. Pero sobre todo por darme la vida. Te amo.*

PAPÁ: *Javier Avelino Andrade Rodríguez, gracias por brindarme los valores que me hacen ser una persona honesta y buena, por ser el guía que me direcciona hacia el camino correcto y proporcionarme todas las herramientas que he necesitado a través de estos años.*

A MIS HERMANOS: *Gina y Luis por formar parte de mi ciclo de vida y saber que no estoy solo que los tengo a ustedes en los buenos y malos momentos, los quiero.*

A MIS ASESORES:

Dr. Francisco Javier Rodríguez Gómez: *Por confiar en mí y darme el respaldo en un momento crucial de mi vida, brindarme todo su apoyo, consejos y conocimientos a través de mi etapa universitaria.*

Dra. Ebelia del Ángel Meraz: *Por abrirme las puertas y adoptarme en este gran proyecto, por ser la guía y la luz al final del camino que se había complicado y darme la oportunidad de adquirir sus conocimientos.*

A MIS AMIGOS

Mónica Montes Guadarrama *gracias por formar parte de mi vida siendo tú la que nunca me dejó caer convirtiéndote en mi respaldo en todo momento brindándome tu cariño, te quiero. A tu familia por brindarme su amor y cariño abriéndome las puertas de su casa.*

Azarhel de la Cruz López *gracias por tu esfuerzo y conocimientos, ya que fueron fundamentales para la terminación de este proyecto de investigación, gracias.*

Gracias a todos los brothers (Pachele Unit, defeños y chilangos) ustedes que formaron parte de mi vida en esta etapa, por el apoyo, los consejos, los reclamos, los regaños y su amistad incondicional que me hicieron sentir que nunca estuve solo en una ciudad tan grande, los adopté como mi familia.

A Pascal y Orejas que fueron mis luces, siempre dándome su amor sin pedir nada a cambio, los amo.

RESUMEN

En esta investigación se verificó la influencia de la resina de aloe vera y del nopal al agregarse a un recubrimiento. Se utilizó una pintura alquidámica anticorrosiva comercial, a la cual se le agregó la resina de aloe vera y nopal en dos concentraciones masa/volumen, de 2 y 5 gramos en 100 ml. Para el estudio de la degradación del material en la atmósfera, se utilizaron placas de metal de acero al carbón que fueron expuestas durante tres meses a la intemperie, rociándolas con baños continuos de agua y sal de acuerdo con la Norma ISO 11474 de corrosión acelerada, posteriormente se realizó gravimetría a las placas de acero sin pintar siguiendo la Norma ISO 8407. Las técnicas utilizadas para caracterizar al recubrimiento fueron pruebas reológicas como son tixotropía, densidad y viscosidad. Para evaluar la protección del recubrimiento en las placas de acero al carbono, se utilizó la Microscopía Electrónica de Barrido y la Espectroscopia de Infrarrojo y se utilizaron ensayos de corrosión acelerada como la ASTM 610 y la ASTM D 714. Los resultados muestran que al final de la investigación se obtuvo que la mejor formulación en las condiciones y medios desarrollados para inhibir la corrosión fue la formulación 4 de 5 gramos de nopal.

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
ÍNDICE	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
ÍNDICE DE ANEXOS.....	9
HIPÓTESIS.....	10
OBJETIVOS	11
Objetivo General.....	11
Objetivos específicos	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Generalidades del Acero 1010	12
1.2 Producción de Acero	12
1.3 Corrosión.....	13
1.4 Corrosión atmosférica.....	15
1.5 Generalidades del Aloe Vera	16
1.6 Generalidades del Nopal	18
1.7 Recubrimientos.....	19
1.7.1 Tiempo de secado de pintura.....	20
1.7.2 Alquidálicos	22
1.7.3 Adherencia	24
1.7.4 Ensayos de Corrosión.....	25
1.8 Espectroscopia de Infrarrojo (IR)	26
1.9 Microscopia Eletrônica de Barrido (MEB)	27
1.10 Pruebas reológicas	28
1.11 Normas para evaluación de la corrosión.....	28
1.11.1 Norma ASTM 610	28

1.11.2 Norma ASTM D 714.....	30
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	31
2.1 Descripción del área de ensayo.....	31
2.2 Obtención de la resina del Nopal y Aloe Vera.....	32
2.3 Formulaciones.....	33
2.4 Preparación de las placas de acero.....	34
2.4.1 Primer Método (SSPC-SP3).....	34
2.4.2 Segundo Método (SSPC-SP2).....	35
2.4.3 Tercer Método (SSPC-SP1).....	35
2.4.4 Cuarto Método (ASTM G1).....	35
2.5 Preparación de la pintura.....	36
2.6 Aplicación de la pintura.....	37
2.7 Exposición de las placas de acero al carbono.....	39
2.8 Corrosión acelerada.....	39
2.9 Técnica de pérdida de peso por método gravimétrico.....	40
2.10 Caracterización del recubrimiento.....	41
2.10.1 Densidad.....	41
2.10.2 Viscosidad.....	41
2.10.3 Tixotropía.....	44
2.10.4 Espesor de la película.....	45
2.10.5 Brochabilidad.....	45
2.10.6 Adherencia.....	46
2.10.7 Tiempo de secado.....	47
2.11 Caracterización de las placas.....	48
2.11.1 Infrarrojo (IR).....	48
2.11.2 Microscopía Electrónica de Barrido (MEB).....	48
2.12 Normas para evaluación de corrosión.....	49
2.12.1 Norma ASTM 610.....	49
2.12.2 Norma ASTM D 714.....	50
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	51
3.1 Pérdida de peso.....	51

3.2 Velocidad de corrosión	54
3.3 Pruebas reológicas	56
3.3.1 Densidad	56
3.3.2 Viscosidad	57
3.3.3 Tixotropía.....	61
3.3.4 Espesor de Película	62
3.3.5 Brochabilidad.....	66
3.3.6 Adherencia	67
3.3.7 Tempo de secado	68
3.4 Infrarrojo	68
3.5 Microscopía Electrónica de Barrido	71
3.6 Normas para la evaluación del grado de corrosión	75
3.6.1 ASTM 610.....	76
3.6.2 ASTM D 714.....	77
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....	79
BIBLIOGRAFIA	80
ANEXOS.....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Placa de acero al carbono comercial.....	12
Figura 2 Diagrama de Pourbaix para el hierro	14
Figura 3 Planta de Aloe Vera	17
Figura 4 Planta de Nopal	18
Figura 5 Ubicación geográfica del municipio de Cunduacán	31
Figura 6 Obtención de las resinas del Aloe Vera y Nopal.....	32
Figura 7 Proceso de secado y deshidratación de las resinas	32
Figura 8 Pintura Primario 2	33
Figura 9 Preparación de las placas de acero al carbón (150mm x 100 mm x0.989mm)	34
Figura 10 Método SSPC-SP 2	35

Figura 11 Aplicación de la norma ASTM G1	36
Figura 12 Material y equipo de agitación.....	37
Figura 13 Formulaciones envasadas y etiquetadas	37
Figura 14 Placa antes de ser pintada.....	38
Figura 15 Placas pintadas con las diferentes formulaciones	38
Figura 16 Exposición de las placas	39
Figura 17 Rocío de las placas de acero	40
Figura 18 Picnómetro.....	42
Figura 19 Viscosímetro Brookfield.....	44
Figura 20 Prueba de tixotropía aplicada a las formulaciones	45
Figura 21 Análisis de Brochabilidad	46
Figura 22 Corte y adherencia de las muestras.....	47
Figura 23 Muestras para determinar tiempo de secado en minutos	47
Figura 24 Microscopio Electrónico de Barrido	48
Figura 25 Pérdida de peso del mes uno, para las placas 2, 3 y 4	51
Figura 26 Pérdida de peso del mes dos, para las placas 5, 6 y 7	52
Figura 27 Pérdida de peso del mes tres, para las placas 10, 11 y 12.....	53
Figura 28 Curva de viscosidad de la formulación testigo.....	58
Figura 29 Viscosidad de las formulaciones 1, 2 y 3.....	59
Figura 30 Viscosidad de las formulaciones 4, 5 y 6.....	60
Figura 31 Espesor de la pintura	62
Figura 32 IR de la resina del aloe vera.....	68
Figura 33 IR de la resina del nopal.....	69
Figura 34 Análisis de los espectros de la formulación testigo durante los 3 meses de exposición	70
Figura 35 Análisis de los espectros de la formulación F3 durante los 3 meses de exposición.....	71
Figura 36 Análisis de los espectros de la formulación F4 durante los 3 meses de exposición.....	71
Figura 37 Muestras de imágenes MEB realizadas a la placa de acero (1). al aloe vera (2) y al nopal (3)	72

Figura 38 Análisis morfológico de las placas de acero con la formulación testigo del mes uno (M1), mes dos (M2) y mes tres (M3)	72
Figura 39 Análisis EDS de las placas de acero con la formulación testigo del mes uno M1, mes dos M2 y mes tres M3	73
Figura 40 Análisis morfológico de las placas de acero con la formulación tres F3 del mes uno M1, mes dos M2 y mes tres M3	73
Figura 41 Análisis EDS de las placas de acero con la formulación tres F3 del mes uno M1, del mes dos M2 y del mes tres M3	74
Figura 42 Análisis morfológico de las placas de acero con la formulación cuatro F4 del mes uno M1, mes dos M2 y mes tres M3	74
Figura 43 Análisis EDS de las placas de acero con la formulación cuatro F4 del mes uno M1, del mes dos M2 y del mes tres M3	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Países con mayor producción de acero durante el año 2014 y 2015.....	13
Tabla 2 Equilibrios químicos del hierro (Fe)	15
Tabla 3 Composición química del Aloe Vera	17
Tabla 4 Composición química del Nopal	19
Tabla 5 Formulaciones de la pintura alquídica variando la concentración de Aloe Vera y Nopal	33
Tabla 6 Escala y descripción de las clasificaciones de óxido	50
Tabla 7 Pérdida de peso promedio calculado para los tres meses de exposición	53
Tabla 8 Resultados de las densidades para las formulaciones	56
Tabla 9 Comparación de las densidades de las formulaciones con pinturas comerciales.....	57
Tabla 10 Determinación de la viscosidad del testigo	58
Tabla 11 Viscosidad de las formulaciones 1, 2 y 3	59
Tabla 12 Viscosidad de las formulaciones 4, 5 y 6	60
Tabla 13 Resultados de las pruebas de tixotropía aplicada a las formulaciones ..	61
Tabla 14 Resultados obtenidos para el mes uno.....	63
Tabla 15 Resultados para el mes dos	64

Tabla 16 Resultados para el mes tres	65
Tabla 17 Resultados visuales de la brochabilidad	66
Tabla 18 Resultados de la prueba de adherencia	67
Tabla 19 Tiempo de secado al tacto	68
Tabla 20 Resultados de la norma ASTM 610	76
Tabla 21 Resultados de la norma ASTM D 714	77

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Diferencia de masas	40
Ecuación 2 Velocidad de Corrosión	41
Ecuación 3 Cálculo de la Densidad	42

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1 ASTM 610
ANEXO 2 ASTM D 714

HIPÓTESIS

Al modificar la formulación de un recubrimiento alquidático adicionando diferentes cargas del aloe vera y nopal se puede inhibir la corrosión.

OBJETIVOS

Objetivo General

Formular recubrimientos alquidáticos para inhibir la corrosión, adicionando aloe vera y nopal para incrementar la protección anticorrosiva.

Objetivos específicos

1. Utilizar la técnica de gravimetría para determinar la velocidad de corrosión del acero 1010 a ocupar.
2. Caracterizar la pintura alquidática mediante pruebas reológicas para determinar las propiedades que presentan en las distintas formulaciones.
3. Analizar el efecto inhibidor de la corrosión como función del contenido de aloe vera y nopal.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades del Acero 1010

El acero es una aleación de hierro y carbono que contiene menos del 2% de carbono y 1% de manganeso, además de pequeñas cantidades de silicio, fósforo, azufre y *oxígeno* [1]. Es el material de ingeniería y construcción más importante del mundo (Figura 1).



Figura 1: Placa de acero al carbono comercial [1]

1.2 Producción de Acero

La producción de acero a nivel mundial durante el año 2015 ha ido descendiendo como lo muestra la revista *World Steel Association* [2]; la cual menciona a los principales productores de acero a nivel mundial, calculando un total de **1 212 314** en toneladas de acero entre Enero a Octubre de 2015, mientras que en el año 2014 mostró una mayor producción con un total de **1 610 482** en toneladas de acero; las zonas con mayor producción de acero se muestran a continuación (ver Tabla 1).

Tabla 1 Países con mayor producción de acero durante el año 2014 y 2015 [2]

	Producción de acero (toneladas) 2014	Producción de acero (toneladas) 2015
Unión Europea	169 301	127 473
Resto de Europa	36 199	25 638
Países independientes	105 882	75 931
América del Norte	121 159	85 065
América del Sur	45 043	33 350
África	14 247	10 685
Oriente Medio	28 031	20 908
Asia	1 121 331	828 922
Oceanía	5 488	4 342
Total	1 610 482	1 212 314

Basándonos en los datos publicados, México obtuvo una producción de **18 995** toneladas de acero en el 2014, mientras que en el 2015 disminuyó a **14 006** toneladas.

1.3 Corrosión

La corrosión es la degradación de los materiales metálicos expuestos en medios corrosivos, puede ser el medio ambiente o estar sujeto a condiciones de altas temperaturas o ambientes contaminados [3]. Los metales se degradan inexorablemente con el tiempo de muy diversas formas, dejando de ser funcionales, perdiendo sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. El 25% de la producción mundial anual de acero es destruida por la corrosión.

La corrosión puede describirse como una reacción de oxidación, se clasifica en dos tipos: **corrosión química** o seca, que es la reacción de los metales con el oxígeno y otros gases en ausencia de humedad y la **corrosión electroquímica** o húmeda que requiere la presencia de un electrolito, esta última es la más frecuente y resulta de la formación de infinidad de zonas anódicas y catódicas sobre la superficie metálica.

En el caso de la corrosión del acero, el diagrama de Pourbaix para el hierro se presenta a continuación (Figura 2).

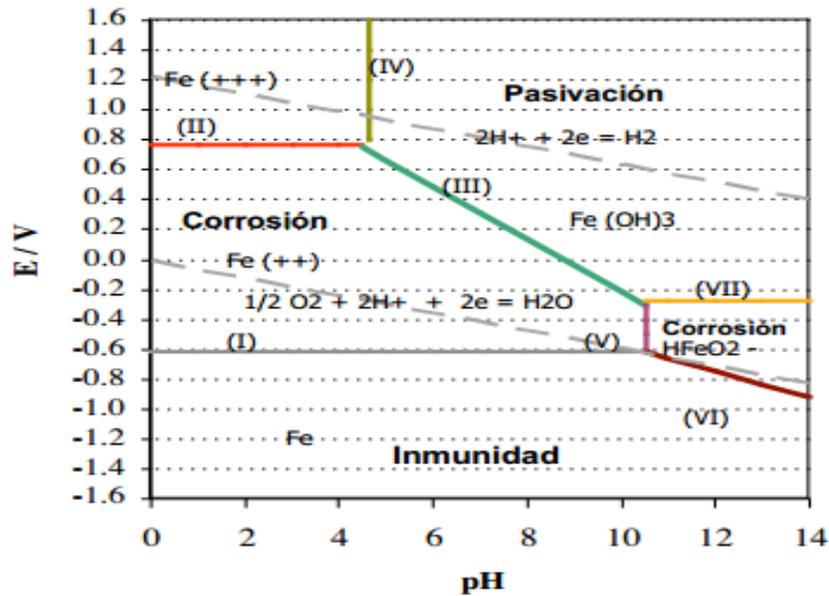


Figura 2 Diagrama de Pourbaix para el hierro [3]

El diagrama de Pourbaix se utiliza para determinar los límites de estabilidad de un metal. Un proceso cuya línea está por debajo de la del oxígeno supone que el oxígeno puede provocar la oxidación correspondiente. Igualmente, con la línea del hidrógeno.

En la Figura 2 la cual muestra el diagrama de Pourbaix para el sistema hierro-agua, el potencial de inmunidad es de $-0.62V$ (en H), si un acero al carbono es sumergido en un electrolito ácido, como el ácido clorhídrico con concentración $1M$, se observará que el acero se disolverá con desprendimiento de hidrógeno [3]. En la Tabla 2 se muestra el equilibrio químico del hierro.

Tabla 2 Equilibrios químicos del hierro (Fe) [3]

(I) $\text{Fe} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
(II) $\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$
(III) $\text{Fe}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + \text{e}^-$
(IV) $\text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+$
(V) $\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HFeO}_2^- + 3\text{H}^+$
(VI) $\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HFeO}_2^- + 3\text{H}^+ + 2\text{e}^-$
(VII) $\text{HFeO}_2^- + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{e}^-$

1.4 Corrosión atmosférica

La composición química de la atmósfera es uno de los factores que determina primariamente la intensidad del fenómeno corrosivo. El SO_2 y el NaCl son los agentes corrosivos más comunes de la atmósfera. El NaCl se incorpora a la atmósfera desde el mar. Lejos de éste, la contaminación atmosférica depende de la presencia de industrias y núcleos de población, siendo el contaminante principal por su frecuencia de incidencia sobre el proceso corrosivo el dióxido de azufre (SO_2), proveniente del empleo de combustibles sólidos y líquidos que contienen azufre.

Proceso de corrosión atmosférica: la corrosión atmosférica es la causa más frecuente de la destrucción de los metales y aleaciones. El mecanismo de corrosión es de naturaleza electroquímica. El electrolito es una capa de humedad sobre la superficie del metal cuyo espesor varía desde capas muy delgadas (invisibles) hasta capas que mojan perceptiblemente el metal. La duración del proceso de corrosión depende sobre todo del tiempo durante el cual la capa de humedad permanece sobre la superficie metálica.

Como el mecanismo de corrosión es electroquímico, su característica principal es la presencia de un proceso anódico y otro catódico, con un electrólito de resistencia óhmica determinada.

En el proceso anódico el metal se disuelve en la capa del electrolito, en la cual la concentración se eleva hasta la precipitación de un compuesto poco soluble.

En el proceso catódico, bajo la capa de humedad, la mayoría de los metales expuestos a la atmósfera se corroen por el proceso de reducción de oxígeno.

La resistencia óhmica entre las zonas anódica y catódica de las minúsculas pilas de corrosión que se distribuyen sobre el metal es grande cuando el espesor de la capa de humedad es pequeño.

La corrosión atmosférica puede ser clasificada en:

a) Corrosión seca. Se produce en los metales que tienen una energía libre de formación de óxidos negativa.

b) Corrosión húmeda. Requiere de la humedad atmosférica, y aumenta cuando la humedad excede de un valor crítico, frecuentemente por encima del 70%.

c) Corrosión por mojado. Se origina cuando se expone el metal a la lluvia o a otras fuentes de agua. [4]

1.5 Generalidades del Aloe Vera

La planta de Aloe vera es originaria de África, su nombre genérico Aloe, proviene del término árabe alloeh que significa sustancia brillante y amarga [5]. Por las características climáticas de México y la amplia adaptación del aloe a diferentes condiciones, su cultivo y explotación puede ser llevado a cabo, por lo que satisface la creciente demanda del Aloe Vera como producto para uso industrial.

Aloe es una planta de hojas alargadas, carnosas y ricas en agua, alcanza una altura de 50 a 70 cm; las hojas están agrupadas hacia el extremo, con tallos de 30 a 40 cm de longitud, poseen el borde espinoso dentado; las flores son tubulares, colgantes y amarillas (Figura 3).



Figura 3 Planta de Aloe Vera [6]

De esta planta se extrae la aloína a partir del acíbar (savia de la penca) para ser utilizada como materia prima en las industrias quedando como subproducto la resina del Aloe [7]. El gel de Aloe vera contiene alrededor de 98,5% de agua, el acíbar es el jugo o exudado de las hojas de la sábila cuando éstas sufren heridas o se les practican incisiones. Presenta una apariencia mucilaginoso, glutinosa y de color amarillo verdoso oscuro, tiene un fuerte olor y de sabor muy amargo [8]. En el caso de los minerales se reportan principalmente los que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 Composición química del Aloe Vera [6]

Elemento	Valor obtenido (ppm)
Na	84.4
K	797
Ca	458
Mg	60.8
Cu	0.11
Fe	1.18
Mn	1.04
P	20.1

1.6 Generalidades del Nopal

El nopal pertenece a la familia de las cactáceas, término que se deriva de Cactus, nombre latino del vocablo griego "káctos", es una planta carnosa y gruesa de formas diversas, con ramas articuladas, (Figura 4) presenta hojas convertidas en espinas lo cual es un rasgo común en las cactáceas; o bien carece de ellas pero en brotes tiernos [9].

Los nopales tienen unas estructuras a partir de las cuales desarrollan más pencas, raíces o flores llamadas areolas, características de las cactáceas y puede tener espinas, pelo, gloquidios y glándulas.



Figura 4 Planta de Nopal [10]

El nopal tiene un alto contenido de agua; más del 90%, por esta cualidad se le utiliza como forraje en tiempos de sequía. Asimismo, en su composición química están incluidos algunos minerales (Tabla 4) [10]. Sin embargo, el contenido puede variar entre las especies, incluso en una misma especie y depende de la composición química del suelo y los fenómenos mediante los que disponen de sus nutrientes. Gracias a sus antioxidantes y nutrientes, de él también se elaboran shampoos, cremas faciales, mascarillas, jabones, e inclusive astringentes. En la industria también se utiliza como colorante, caucho y anticorrosivo. En la construcción, se utiliza como impermeabilizante del adobe.

Tabla 4 Composición química del Nopal [10]

Componentes	Cantidad
Glúcidos	2.86 g
Prótidos	1.45 g
Lípidos	0.21 g
Calorías	19,99 g
Vitamina A	0.41 mg
Tiamina	0.03 mg
Riboflavina	0.03 g
Ácido nicotínico	0.32 mg
Ácido ascórbico	10.76 mg
Calcio	130.00 mg
Fósforo	21.00 mg
Hierro	1.95 mg

1.7 Recubrimientos

El hombre en su lucha contra la corrosión emplea en gran medida los recubrimientos orgánicos. Para una selección correcta de los mismos, se deben tener en cuenta sus propiedades físico-mecánicas, anticorrosivas, de resistencia química y su costeabilidad, por consecuente disminuyen en grado considerable las pérdidas del metal debido a la corrosión.

Los recubrimientos tienen por objetivo aislar la superficie metálica del medio corrosivo, se definen como una mezcla o dispersión relativamente estable de un

pigmento en una solución de resinas y aditivos. Su composición debe ser tal que al ser aplicada una capa delgada sobre un sustrato metálico, sea capaz de formar una película seca uniforme que actúe como una barrera: flexible, adherente y de máxima eficiencia de protección contra la corrosión [11].

Considerando la variedad de recubrimientos anticorrosivos disponibles en el mercado, es posible señalar tres mecanismos generales de protección anticorrosiva:

COMO BARRERA IMPERMEABLE: Dado que las moléculas de resina se unen o enlazan en tres direcciones ocluyendo al pigmento esto da como consecuencia la formación de una barrera que, en mayor o menor grado, dependiendo de la calidad del recubrimiento, impide la difusión de los agentes de la corrosión al sustrato.

PASIVACIÓN: El recubrimiento sobre el sustrato metálico inhibe los procesos anódicos y catódicos de la corrosión, incluso actúa como un material dieléctrico (alta resistencia eléctrica) que impide el flujo de electrones.

PROTECCIÓN CATÓDICA: Cierta tipo de recubrimientos con alto contenido de Zinc como pigmento, actúan anódicamente al ser aplicados sobre el Acero. En este caso el sustrato metálico es sujeto a una protección catódica con el Zinc como electrodo de sacrificio y no por la formación de una película impermeable.

Con frecuencia, la mejor estrategia de la que se dispone para el control de la corrosión en un metal activo es la aplicación de un recubrimiento protector sobre su superficie, lo cual en muchas ocasiones no solo tiene una finalidad de protección sino también decorativa. Así, tenemos que la mayoría de las estructuras y productos de acero están recubiertos por una o más capas de otros metales o de pintura [11].

1.7.1 Tiempo de secado de pintura

Siempre que aplicamos una pintura necesitamos esperar un tiempo en el cual la pintura pasa de un estado líquido a un estado sólido, tiempo que comúnmente conocemos como tiempo de secado, el conocimiento de los mecanismos de curado

de la pintura así como los métodos que se utilizan para disminuir dicho tiempo, nos permitirá seleccionar los materiales y herramientas necesarios para ejecutar un trabajo de calidad en un corto espacio de tiempo.

En numerosas ocasiones se habla indistintamente de secado, curado y endurecimiento de la pintura, pero es importante aclarar cada uno de estos conceptos;

- Secado – El secado de la pintura corresponde al proceso de evaporación de todos los solventes y diluyentes añadidos a la pintura con objeto de hacerla líquida o de reducir su viscosidad.
- Endurecimiento – El endurecimiento de la pintura corresponde al proceso por el cual la resina principal de la pintura se crea y a su vez se endurece con todos los demás pigmentos y aditivos que la compone, creando un recubrimiento sólido y adherente.
- Curado – El curado de la pintura corresponde al proceso que engloba tanto el secado como el endurecimiento de una pintura.

Curado = Secado + Endurecimiento.

Atendiendo a las definiciones anteriores comprendemos cuando en una pintura de 2 componentes no le añadimos el endurecedor correspondiente, observando con el paso del tiempo que la pintura ha secado (no mancha cuando se toca) pero no ha endurecido, permitiendo retirarla fácilmente del sustrato aplicado. En el caso anterior decimos que la pintura ha secado (se ha evaporado los solventes), no ha endurecido (dado a que no se le ha añadido el endurecedor) y por lo tanto la pintura no ha curado.

Uno de los métodos más utilizados para clasificar las familias de pintura existentes en el mercado consiste en identificarlas por su mecanismo de curado, de tal forma que tenemos:

- **Pinturas de curado físico**

Las pinturas de curado físico corresponden al conjunto de pinturas donde la resina principal se encuentra ya formada, para que cure la pintura es necesario únicamente que se evaporen los disolventes introducidos en la propia pintura. Las lacas de nitrocelulosa, lacas acrílicas, pinturas de clorocaucho y pinturas vinílicas son ejemplos de pinturas cuyo curado es físico

- **Pinturas de curado químico**

Las pinturas de curado químico corresponden al conjunto de pinturas donde la resina principal (polímero) se crea a través de reacciones químicas (poli reacciones) entre diversos compuestos, en este tipo de curado es necesario tanto el secado como el endurecimiento. Las pinturas de poliuretano, epoxi, fenólicas y polisiloxanos son ejemplos de pintura cuyo curado es químico.

En todas las pinturas de curado físico o químico se puede acelerar o activar su proceso [12].

1.7.2 Alquidáticos

Una resina alquidática o alquidal se refiere al producto resinoso de la esterificación de alcoholes poli hídricos con ácidos polibásicos, ya que más de un alcohol y de un ácido pueden ser usados para obtener una resina alquidática con propiedades especiales. Sin embargo, el termino resinas alquidáticas incluye una gran variedad de productos resinosos.

El grupo más importante de éste tipo de resinas se refiere a las gliceroftálicas modificadas con aceite.

Una resina alquidálica pura, producto de reacción únicamente de glicerina y anhídrido ftálico sin modificación de aceite, da un producto según el grado de reacción, que va desde el estado convertible al calor y soluble en agua o alcohol, hasta el estado infusible o de gel e insoluble.

Este tipo de resina no encuentra uso en el campo de los acabados orgánicos.

Una resina alquidálica modificada de aceite es un polímero formado por combinación de uno o más ácidos disfuncionales con uno o más alcoholes poli funcionales, y un aceite o un ácido graso, bajo tales condiciones, que el polímero resultante no deberá gelarse o formar una masa insoluble durante el proceso de esterificación. La resina obtenida deberá ser soluble en hidrocarburos, pero dicha solubilidad variara con el porcentaje de la modificación del aceite. Cuando las proporciones o porcentaje del aceite sean relativamente pequeñas, las resinas requerirán hidrocarburos aromáticos para solubilizarse, y cuando las proporciones sean de medio a gran contenido de aceite, las resinas deberán ser solubles en hidrocarburos alifáticos. [13]

Comercialmente algunos fabricantes llaman alquidales puros a las resinas alquidales modificadas con aceite, independientemente de que el aceite usado sea de tipo secante o del tipo no secante, y llaman alquidales modificados a aquellas resinas alquidálicas que además del aceite contienen también como modificador, otro tipo diferente de resina que puede ser natural o sintéticas de la resina alquidálica. [14]

Con frecuencia se usa brea o algún compuesto fenólico en tales tipos de modificación.

1.7.3 Adherencia

Los recubrimientos deben adherirse satisfactoriamente al sustrato donde son aplicados. En la práctica se emplean tres procedimientos de ensayo diferentes para la determinación de la resistencia de las pinturas y recubrimientos al ser separados de los sustratos:

- ✓ Ensayo de corte enrejado, este método especifica el procedimiento para determinar la resistencia a la adherencia de las pinturas y recubrimientos al ser separados del sustrato, realizando cortes en ángulo recto sobre el recubrimiento y penetrando hasta el sustrato. Se usa para un rápido ensayo de pasa / falla. Cuando se aplica un sistema multicapa, se ha de determinar la resistencia a la adhesión de cada capa del recubrimiento individualmente y entre capa y capa.
- ✓ Ensayo de adherencia al rayado, este método de ensayo sirve para evaluar la adherencia de recubrimientos orgánicos tales como pinturas, barnices y lacas, cuando son aplicados sobre superficies lisas y planas. El ensayo de dureza al rayado, es útil para la clasificación de series de paneles recubiertos que muestran significativas diferencias de adherencia. Los materiales a ensayar, se aplican con un espesor de capa uniforme en chapas de metal planas y de textura uniforme. Después del secado, se determina la adherencia, desplazando la chapa por debajo de un punzón o cincel redondeado, el cual, es cargado con pesas hasta que el recubrimiento se desprenda del sustrato.
- ✓ Ensayo de adherencia por tracción. La adherencia de un sistema de recubrimiento unicapa o multicapa de pintura, barniz o productos similares, se determina midiendo la mínima tensión o fuerza necesaria para desenganchar o romper el recubrimiento en dirección perpendicular al sustrato. Este método maximiza la fuerza en vez de emplear la velocidad, que aplican otros métodos tales como la adherencia al rayado, obteniendo resultados que no son comparativos. El ensayo se realiza pegando una

sufridera perpendicularmente a la superficie del recubrimiento. Después que el pegamento se ha secado, el aparato de ensayo se fija y alinea en la sufridera, para aplicar una fuerza perpendicular a la superficie de ensayo. La fuerza aplicada se va incrementando gradualmente hasta que una parte del material se ha desenganchado o se ha alcanzado un valor de fuerza predeterminado.

■ ISO Clasificación: 4 / ASTM Clasificación: 1 B El recubrimiento se ha desconchado a lo largo de los bordes, en parte por todas las tiras y/o en parte o totalmente por todas las esquinas. El área de corte afectado es significativamente mayor del 35%, pero no es significativamente mayor del 65%. ■ ISO Clasificación: 5 / ASTM Clasificación: 0 B Cada grado de una superficie desconchada que no se puede clasificar en el coeficiente 4. El ensayo de corte enrejado es un método sencillo y fácilmente practicable para la evaluación de la adherencia de sistemas unicapa y multicapa. [15]

1.7.4 Ensayos de Corrosión

Casi todo lo que está hecho en metal está potencialmente sujeto a la corrosión. Cuando un metal está expuesto al medioambiente, su comportamiento frente a la corrosión es una propiedad conjunta de ese metal y del entorno que lo rodea. Casi todo lo que está hecho en metal está potencialmente sujeto a la corrosión. Cuando un metal está expuesto al medioambiente, su comportamiento frente a la corrosión es una propiedad conjunta de ese metal y del entorno que lo rodea.

Se define como ensayo de corrosión a la realización de experimentos de laboratorio tales que permitan simular ambientes corrosivos extremos, con el fin de establecer estimaciones que permitan determinar la resistencia de los materiales bajo dichas condiciones.

Tipos de ensayos de corrosión

El ensayo de corrosión suele ser de dos tipos:

1. Naturales
2. Acelerados

1. Tipos de ensayos de corrosión naturales

Existen 3 métodos:

- 1) Testigos de corrosión. Están fabricados "construidos con el mismo material de la estructura o con otro material "
- 2) Sondas de resistencia. Opera con el principio de que cuando un alambre delgado o lámina se corroe, su resistencia eléctrica aumenta debido a una disminución del área de la sección transversal.
- 3) Polarización lineal, hace uso del hecho que la velocidad de corrosión es inversamente proporcional a la pendiente de la densidad de corriente de (polarización). Otros ensayos de planta son los detectores de espesor capaces de medir el metal que queda en los tubos corroídos. Estos normalmente utilizan transductores ultrasónicos disponibles en el mercado.

2. Tipos de ensayos de corrosión acelerados

- 1) Prueba de corrosión por niebla salina. Consiste en la atomización, a temperatura controlada, de una disolución de diversas sales en agua, de las cuales el Cl^+ , es el más representativo a efectos electrolíticos.
- 2) Prueba de corrosión por atmósfera urbana. Consiste en simular la contaminación ambiental existente en los núcleos urbanos, el cual en presencia del oxígeno del aire pasa a S^* , que a su vez en presencia de humedad se ioniza produciendo el ion sulfúrico responsable de la corrosión.
- 3) Prueba de corrosión industrial. Es semejante a la atmósfera urbana, si bien podemos encontrar la presencia de otro tipo de vapores ácidos derivados del H^+ , Cl , etc., los cuales configuran la denominada niebla ácida. [16]

1.8 Espectroscopia de Infrarrojo (IR)

La técnica de Espectroscopia de Infrarrojo permite la identificación de los grupos funcionales de un compuesto. Esto ocurre debido a que una molécula absorbe radiación infrarroja, la vibración intermolecular con frecuencia igual a la de radiación, aumenta en intensidad, lo que produce señales que generalmente corresponden a

la vibración de un enlace específico, la región de IR del espectro electromagnético se encuentra entre $12800-10\text{cm}^{-1}$ [17].

Los espectrómetros infrarrojos son una de las herramientas más importantes para observar espectros vibracionales. Es posible, mediante el uso de dispositivos experimentales adecuados, obtener espectros infrarrojos sin alteración de la muestra, lo que constituye a esta espectroscopia como una herramienta de análisis no destructiva. La región infrarroja se divide en tres regiones denominadas infrarrojo cercano (NIR) $12800-4000\text{ cm}^{-1}$, infrarrojo medio (MIR) $4000-400\text{ cm}^{-1}$ e infrarrojo lejano (FIR) $400-10\text{ cm}^{-1}$ [18].

1.9 Microscopia Eletrônica de Barrido (MEB)

La microscopía electrónica de barrido es utilizada como una de las técnicas más versátiles en el estudio y análisis de las características microestructurales de diferentes muestras. Se requiere utilizar principalmente una fuente generadora de electrones y campos electromagnéticos que actúan como “lentes” concentradoras de los haces de electrones o como ampliadoras de imágenes [19].

Los electrones no atraviesan el espécimen para formar las imágenes, se aceleran y concentran hasta formar un haz sumamente delgado aproximadamente de 5 nm de diámetro que rastrea o “barre” la superficie de la muestra. Los electrones son reflejados por los componentes de la misma o al chocar con ellos generan electrones secundarios. Los electrones se envían e inciden en la superficie de un detector localizado en las cercanías de la muestra. Este aditamento está conectado a un amplificador que envía señales en forma de rayos catódicos a la pantalla de un monitor para registrar la imagen formada. El MEB, ofrece imágenes con una resolución que alcanzan de 10 a 20 nm. El aumento efectivo es de 15,000 a 50,000 X aumentos. Otra ventaja de este microscopio es que forma imágenes con una gran profundidad de foco; de aproximadamente 500 veces que la del microscopio fotónico. Esta propiedad le confiere a la imagen su aspecto tridimensional, por lo que se pueden observar muestras en tres dimensiones, las interacciones pueden

dar información sobre la composición del espécimen, morfología, cristalografía, potencial eléctrico, campo magnético local, etc.

Los beneficios de la técnica son: Se requiere una cantidad de material muy pequeña, el análisis se lleva a cabo en un par de minutos, proporciona información semicuantitativa muy localizada y se puede considerar un análisis no destructivo [20].

1.10 Pruebas reológicas

La reología es una ciencia que se encarga del estudio del flujo y la deformación de la materia, describe la interrelación entre fuerzas, deformaciones y tiempo [21].

La reología puede ser aplicable a todos los materiales, en cualquier estado de materia desde los gases hasta los sólidos. La ciencia de la reología tiene aproximadamente 8 décadas de su fundación los pioneros fueron los profesores Marcus Reiner y Eugene Bingham. La reología de fluidos es usada para describir la consistencia de diferentes fluidos, normalmente mediante dos componentes: la viscosidad y la elasticidad [22].

Por viscosidad se entiende la resistencia a fluir o el “espesamiento” y por elasticidad la “pegajosidad” o “estructura”. La reología es entonces la rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos sometidos a diferentes tipos de esfuerzos. El campo de la reología se extiende desde la mecánica de los fluidos Newtonianos por una parte, hasta la elasticidad de Hooke [23].

1.11 Normas para evaluación de la corrosión

1.11.1 Norma ASTM 610

Este método de prueba cubre la evaluación del grado de oxidación en superficies de acero pintadas. Los ejemplos visuales que representan el porcentaje de

oxidación dado en la especificación escrita forman parte del estándar. En caso de una diferencia, la definición escrita prevalece. Estos ejemplos visuales se desarrollaron en cooperación con la SSPC (Steel Structure Painting Council)

La cantidad de oxidación debajo o a través de una película de pintura es un factor significativo para determinar si un sistema de recubrimiento debe ser reparado o reemplazado. Este método de prueba proporciona medios estandarizados para cuantificar la cantidad y distribución de óxido superficial visible.

El grado de oxidación se evalúa utilizando una escala de cero a diez basada en el porcentaje de óxido superficial visible. La distribución del óxido se clasifica como óxido local, oxidación general, oxidación puntual o mixta.

Los ejemplos visuales que son parte de este método de prueba y la escala de óxido asociada cubre solo la oxidación evidenciada por óxido superficial visible. El uso de los ejemplos visuales requiere las siguientes precauciones:

- a. Algunos acabados están manchados por óxido. Esta tinción debe no se debe confundir con la oxidación real involucrada.
- b. La suciedad acumulada u otro material pueden hacer que la identificación del grado de oxidación se dificulte.
- c. Ciertos tipos de suciedad depositada que contienen hierro o compuestos de hierro pueden causar decoloración de la superficie y pueden ser confundidos con corrosión.
- d. Puede haber variaciones en ciertas áreas por lo tanto se debe seleccionar la mejor área representativa que presente el mayor grado, tamaño y distribución de la oxidación.
- e. El color del revestimiento de acabado debe tomarse en cuenta en la evaluación de superficies, ya que las fallas serán más evidentes en un acabado que muestra el contraste de color con óxido, como el utilizado en estos estándares de referencia, que en un color similar, como un acabado de óxido de hierro [24]

1.11.2 Norma ASTM D 714

Este método de prueba emplea estándares de referencia fotográfica para evaluar el grado de formación de ampollas que pueden desarrollarse cuando los sistemas de pintura están sujetos a condiciones que causan ampollas.

Si bien está destinado principalmente para su uso en metal y otras superficies no porosas, este método de prueba se puede utilizar para evaluar las ampollas en superficies porosas, como la madera. Si el tamaño de ampollas cae dentro del alcance de estos estándares de referencia, se usan como una especificación de Rendimiento el grado permisible de ampollas de la pintura

Un fenómeno peculiar de las superficies pintadas es la formación de ampollas en relación con alguna debilidad del sistema. Este método de prueba proporciona un procedimiento estándar para describir el tamaño y frecuencia de las ampollas. [25]

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Durante el desarrollo experimental de esta investigación se utilizó un rack, el cual sirvió para colocar las placas de acero al carbón previamente caracterizadas y preparadas para la exposición. Se utilizaron las Normas ISO, ASTM y las Normas Mexicanas para desarrollar de manera eficaz este proyecto. La gravimetría de las probetas sin pintar y la caracterización de las formulaciones fueron analizadas con el Microscopio Electrónico de Barrido y con la técnica de Espectroscopia de Infrarrojo permitiendo determinar la eficiencia que tienen el Aloe Vera y el nopal como mecanismo de inhibición para la corrosión, así como los grupos funcionales distribuidos en el recubrimiento. Se realizaron métodos de ensayos de corrosión acelerada para determinar ¿qué formulación es la ideal?. Las fotografías mostradas corresponden a las etapas experimentales en Laboratorio.

2.1 Descripción del área de ensayo

El ensayo se realizó en el municipio de Cunduacán (Figura 5). El clima es el característico de la planicie tabasqueña, cálido-húmedo con abundantes lluvias en verano, el régimen normal de calor; es de temperatura media anual de 26.2 °C, siendo la máxima media mensual en mayo con 30.5 °C, y la mínima media mensual en diciembre y enero con 22.5 °C, alcanzando en mayo temperaturas de 37 °C.



Figura 5 Ubicación geográfica del municipio de Cunduacán [26]

2.2 Obtención de la resina del Nopal y Aloe Vera

1. Se adquirió en el mercado local, 5 Kg de aloe vera fresca y 5 Kg de nopal fresco, posteriormente en el laboratorio se hizo la limpieza debida, al aloe vera y al nopal, para quitar espinas, se lavaron para eliminar impurezas y obtener la pulpa (Figura 6).



Figura 6 Obtención de las resinas del Aloe Vera y Nopal

2. Los recipientes donde se almacenaron los extractos se colocaron en charolas de aluminio. Estas charolas se posicionaron en un secador de túnel de tiro forzado a 180°C de temperatura durante 2 sesiones de 3 horas por día, durante 4 días dando un total de 24 horas en el horno, ubicado en el laboratorio de Operaciones Unitarias UJAT-DAIA; con la finalidad de eliminar la humedad y deshidratar los extractos (Figura 7).



Figura 7 Proceso de secado y deshidratación de las resinas

2.3 Formulaciones

La pintura utilizada fue primario 2 [27], esta es un primario alquidálico anticorrosivo (Figura 8).

Los parámetros empleados en esta investigación son 2g y 5g de soluto en 100 mL de la pintura alquidálica, variando la concentración en 6 diferentes formulaciones más el testigo.



Figura 8 Pintura Primario 2

En la Tabla 5 se muestran las formulaciones de la pintura alquidálica anticorrosiva con aloe vera y nopal como cargas.

Tabla 5 Formulaciones de la pintura alquidálica variando la concentración de Aloe Vera y Nopal

FORMULACIONES	ALOE VERA (g)	NOPAL (g)	PINTURA ALQUIDÁLICA (mL)
1	0	2	100
2	2	0	100
3	1	1	100
4	0	5	100
5	5	0	100
6	2.5	2.5	100
7 (testigo)	0	0	100

Elaboración propia

2.4 Preparación de las placas de acero

Se compró una placa de acero al carbón comercial de 2 metros de ancho por 3 metros de largo; se cortaron las muestras a tamaño de 150 mm de largo por 100 mm de ancho y 0.989 mm de espesor, durante la experimentación se utilizaron 110 placas para las distintas pruebas que se describirán más adelante (Figura 9).



Figura 9 Preparación de las placas de acero al carbón (150mm x 100 mm x0.989mm)

Los trabajos de preparación de superficies están normalizados por varias asociaciones internacionales, que definen los procedimientos y el grado de limpieza a alcanzar [28], para la limpieza del material se optó por ocupar 4 métodos de limpieza que se describen a continuación:

2.4.1 Primer método (SSPC – SP 3) *

Limpieza con herramienta mecánica método SSPC-SP 3, este método se empleó para eliminar los residuos metálicos, rebabas y escamas que quedaron después de haber cortado las placas ya que se eliminó el óxido en áreas de tamaño regular. Para esta limpieza se ocupó una carda especial de acero inoxidable en forma de cepillo el cual fue colocada en un esmeril teniendo cuidado de no dañar la superficie adherente de las placas.

* Steel structure painting council-surface preparation

2.4.2 Segundo método (SSPC – SP2)

Limpieza con herramienta manual (SSPC-SP 2), se utilizó para limpiar pequeñas áreas que tengan óxidos. Para esta limpieza se ocuparon lijas de 240, 400, 600 y 1000 granos, para cada placa utilizando el procedimiento de preparación metalográfica (Figura 10).



Figura 10 Método SSPC-SP 2

2.4.3 Tercer método (SSPC – SP 1)

Limpieza química SSPC-SP 1, se utilizó para la remoción preliminar de contaminantes, como grasa, polvo y otros químicos que se encuentren sobre la superficie a tratar. El producto desengrasante que se utilizó para la limpieza fue un jabón líquido biodegradable, el cual se aplicó con una brocha a las placas y posteriormente se lavó, terminando el enjuague se quitó la humedad con una secadora de cabello y se prosiguió aplicarle alcohol farmacéutico para eliminar cualquier humedad que haya quedado en la superficie de la placa, finalmente se colocó en bolsas herméticas para aislarlas del medio.

2.4.4 Cuarto método (ASTM G1)

Se utilizó la norma ASTM G1 [29] para la preparación, limpieza y evaluación para pruebas de corrosión; específicamente el G1-C.3.3 que se emplea para limpieza de

superficies de aceros, el cual indica la preparación de una solución de 200 g de hidróxido de sodio (NaOH), 20 g de Zinc granulado, en 1 litro de agua destilada, en tiempos de 30-40 minutos y temperaturas de 80-90°C. Al finalizar el proceso se colocaron en bolsas herméticas nuevas y se almacenaron quedando listas para la aplicación del recubrimiento (Figura 11).



Figura 11 Aplicación de la norma ASTM G1

2.5 Preparación de la pintura

Se vertió la pintura alquidámica en los 7 recipientes correspondientes etiquetándolos de manera referenciada al número de formulación. Cada recipiente contenía 100 mL de pintura y la cantidad de resina en polvo del Nopal y el Aloe Vera de cada formulación (ver Tabla 5).

Para preparar la mezcla se fue agregando lentamente la resina tanto del Aloe Vera como la del Nopal a la pintura alquidámica, se utilizó un agitador magnético, hasta lograr homogenizar la mezcla (Figura 12).



Figura 12 Material y equipo de agitación

Ya obtenidas las 7 formulaciones se les colocó su marcada correspondiente para su posterior utilización, es importante mencionar que al momento de utilizar las pinturas se le añadió una pequeña cantidad de Thinner Estándar para adelgazar un 10 % la pintura y lograr obtener una aplicación uniforme (Figura 13).



Figura 13 Formulaciones envasadas y etiquetadas

2.6 Aplicación de la pintura

Este proceso se realizó bajo las especificaciones de la empresa [27] sobre la aplicación de recubrimientos alquídicos. La Figura 14 muestra una de las 110 placas que se utilizaron.

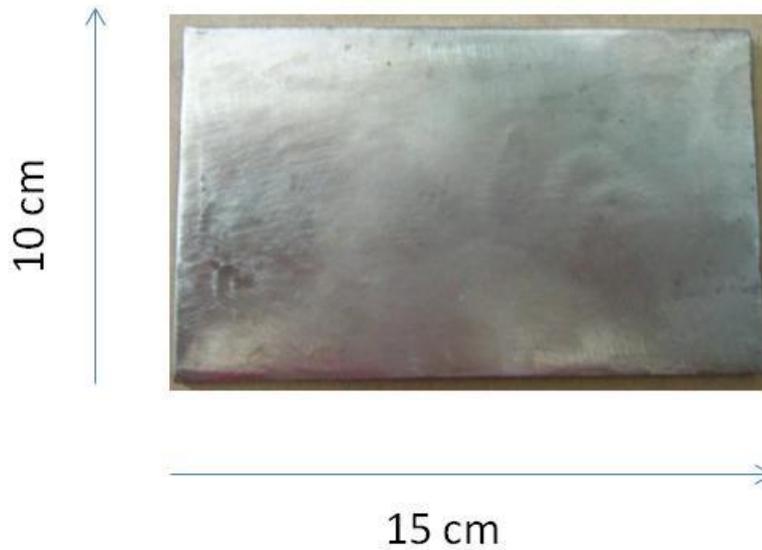


Figura 14 Placa antes de ser pintada

En la aplicación a las placas las mezclas presentaron un aspecto totalmente uniforme, conforme se fue secando se pudo observar una textura rugosa esto se debió a la presencia de las resinas del nopal y el aloe vera, en la del testigo su aspecto fue liso (Figura 15).

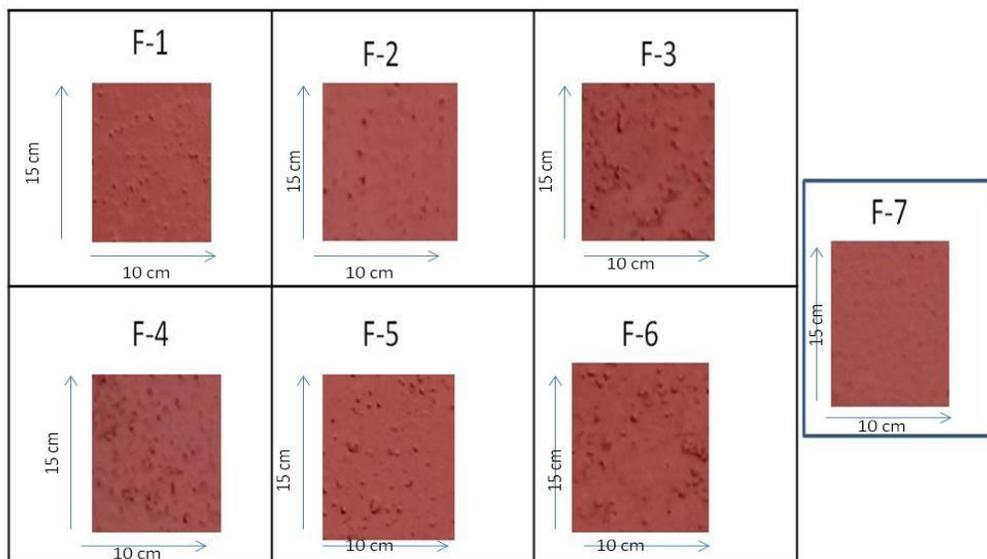


Figura 15 Placas pintadas con las diferentes formulaciones
Elaboración propia

2.7 Exposición de las placas de acero al carbono

La exposición de probetas de acero al carbono SAE-1010 con dimensiones 100 x 150 x 0.989mm fue en un rack de aluminio con un ángulo de inclinación de 21° con respecto a la horizontal, de acuerdo a los procedimientos de las normas ISO 8565 [30] y ASTM G50 – 76 [31]. El rack fue instalado en el techo del Laboratorio de Química Pesada de DAIA-UJAT (Figura 16). Durante tres meses de exposición que comprenden del mes de julio al mes de septiembre del 2015.



Figura 16 Exposición de las placas

2.8 Corrosión acelerada

Siguiendo la norma ISO 11474 [32], se preparó una solución salina al 3 % en masa en 1 litro de agua destilada (Figura 17). Esta se roció a las placas 2 veces por semana a una distancia de 10 cm, durante los meses correspondientes; la aplicación del rociado se detenía cuando se formaba la primera gota, así para todas las placas, sin pintar y con recubrimiento como la marca la norma ISO 11474 [32].



Figura 17 Rocío de las placas de acero

2.9 Técnica de pérdida de peso por método gravimétrico

En esta sección se ocupó la norma ASTM G1 C3.3 [33] para la limpieza de las placas y la ISO 9223 [34] para la evaluación de pérdida de masa, con la finalidad de determinar la velocidad de corrosión. Antes de iniciar con las limpiezas del decapado se pesan las placas y se toma el registro para después hacer un análisis de la variación del peso de la placa antes de ser expuesta al medio y después de su exposición.

Por inmersión en la solución del ASTM G1 C3.3 Las probetas de acero al carbono (1010) durante 30-40 minutos, durante cada intervalo la probeta fue enjuagada, secada y pesada hasta que presentó un peso constante.

De esta manera se puede obtener la diferencia de masas (Ecuación 1) la cual representa la pérdida de masa del metal [35], que sirvió para la obtención de la velocidad de corrosión de las placas de acero (1010).

$$\Delta m = m_i - m_f$$

Ecuación 1 Diferencia de masas

Fuente: [35]

Dónde:

Δm = Diferencia de masa (g).

M_i = masa inicial (g).

M_f = masa final (g).

Para determinar la velocidad de corrosión [36] por la técnica de pérdida de peso se emplea la siguiente Ecuación (2) la cual es específicamente para las placas sin el recubrimiento:

$$V_C = \frac{\Delta m}{A \times \rho \times t}$$

Ecuación 2 Velocidad de Corrosión

Fuente: [36]

Dónde:

V_C = Velocidad de corrosión ($\mu\text{m/a}$).

Δm = Pérdida de masa (g).

A = Área expuesta en el modelo estándar de prueba (m^2).

ρ = Densidad ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$).

t = tiempo (años).

2.10 Caracterización del recubrimiento

2.10.1 Densidad

(NMX-U-117-SCFI-2012-procedimiento A)

Esta prueba consistió en conocer la densidad del recubrimiento con relación al peso y al volumen preparado así como lo estipula la norma antes mencionada. El procedimiento A consiste en calcular la densidad valiéndose del uso de un

picnómetro [37]. El picnómetro es un instrumento sencillo utilizado para determinar con precisión la densidad de líquidos. Su característica principal es la de mantener un volumen fijo al colocar diferentes líquidos en su interior. Esto sirve para comparar las densidades de dos líquidos, pesando el picnómetro con cada líquido por separado comparando sus masas.



Figura 18 Picnómetro [36]

Para el cálculo de la densidad se ocupó la siguiente ecuación (Ecuación 3):

$$\rho = \frac{M_f - M_p}{M_{pa} - M_p} \cdot \rho_a$$

Ecuación 3 Cálculo de la Densidad

Fuente: [37]

Dónde:

ρ = densidad.

M_f =Masa final.

M_p =Masa picnómetro vacío.

M_{pa} =Masa del picnómetro más agua.

ρ_a =densidad del agua.

2.10.2 Viscosidad

(NMX-U-038-SCFI-2012-procedimiento B)

Este método de ensayo cubre la determinación de la viscosidad aparente de materiales No Newtonianos, mediante la aplicación de un esfuerzo de corte en el intervalo de velocidad de corte de 0,1 a 50 m/min y el resultado se expresa en centipoises (cP) [37]. Todas las mediciones para el cálculo de la viscosidad se realizaron a 27 °C de temperatura (Figura 19), siguiendo los siguientes pasos:

1. La pintura se agita antes de la medición, esto se realiza para cada formulación más el testigo.
2. Se nivela el viscosímetro Brookfield antes de encenderlo, y posteriormente al encenderlo se procede a calibrar.
3. Se efectúa una calibración automática con el rotor, antes de poner la aguja de prueba.
4. Se utiliza la aguja S63 para realizar la prueba de viscosidad, adecuada para medir líquidos altamente viscosos, se coloca la aguja de prueba seleccionándola en el panel, con el botón destinado, se apaga el equipo, y después de 2 minutos se vuelve a encender.
5. Se seleccionan las revoluciones a las que se inicia la prueba, las cuales fueron: 1.5, 3, 6, 12, 30, y 60 rpm, estas ya se encuentran programadas para la medición de viscosidad en el equipo.
6. Se verifica un error superior del 10 %, de estar debajo de este porcentaje, la lectura es inconsistente.
7. Se inicia la medición y se detiene hasta que el valor de la viscosidad sea constante, al igual que el error de medición, entonces se detiene, se escoge la siguiente velocidad de corte, y se repite la medición, así sucesivamente

hasta realizar las mediciones a la revolución más alta requerida para esta prueba.

8. Se registran todos los datos, el porcentaje de error, la viscosidad que se da en centipoise (cP), y la temperatura a la cual se realizó la prueba.



Figura 19 Viscosímetro Brookfield

Fuente: [37]

2.10.3 Tixotropía (NMX-U-001-SCFI)

La viscosidad dependiente del tiempo se llama tixotropía. Si un líquido es cizallado a un gradiente de velocidad constante, la viscosidad decrecerá lentamente. En cuanto se deja de cizallar, la viscosidad recuperará su valor inicial [38]. La tixotropía de una pintura tiene la propiedad de formar una viscosidad falsa, es decir, formar un cuerpo gelificado que se destruye fácilmente al agitarlo.

Para este análisis fue necesario mantener en agitación constante para las formulaciones por un periodo de 20 minutos, dejar en reposo y cronometrar el tiempo (Figura 20). Para posteriormente registrar el tiempo en el cual se observó un cambio de apariencia. Este fenómeno se debe a que al cambiar el gradiente de

velocidad cambia también la estructura del material, y esta acomodación del material no suele ser instantánea.



Figura 20 Prueba de tixotropía aplicada a las formulaciones

2.10.4 Espesor de la película

Para obtener el espesor de la película seca, por no contar el equipo específico para esta prueba se diseñó otra forma de hacerla con el microscopio de electrónica de barrido [39] realizando los siguientes pasos:

1. Se tomó una muestra a todas las placas cortando un pedazo de ellas, ya pintadas y secas.
2. Esta muestra se colocó de manera transversal en el porta muestras del microscopio de electrónica de barrido.
3. Se tomó una foto panorámica y se trazó una línea donde se obtuvo alrededor de 8 valores de espesor, los cuales se promediaron.

2.10.5 Brochabilidad

(COVENIN 472-87)

Este método de ensayo estableció un medio subjetivo para determinar la brochabilidad de la pintura (Figura 21), evaluando así la resistencia que ofreció la

pintura al deslizamiento de la brocha en términos de fácil cobertura, regular cobertura y difícil cobertura, observando si existían huellas de brocha [40].



Figura 21 Análisis de Brochabilidad

2.10.6 Adherencia (ASTM D-3359)

Se determinó la adhesión de películas aplicadas a sustratos metálicos, por medio de la colocación de una cinta plástica adhesiva en cortes hechos sobre la película [41], tomando en cuenta el patrón suministrado por la Norma ASTM D-3359 [42] para la evaluación de este parámetro, la siguiente imagen muestra parte del procedimiento de la norma, la cual describe el corte cuadrículado y la adhesión con la cinta para su posterior evaluación (Figura 22).

El grado de adherencia se medirá de acuerdo a la siguiente escala:

- 5B Ninguno de los cuadros ha sido removido.
- 4B Menos del 5% de los cuadros han sido removidos.
- 3B Entre el 5% y el 15% de los cuadros han sido removidos.
- 2B Entre el 15% y el 35% de los cuadros han sido removidos.
- 1B Entre el 35% y el 65% de los cuadros han sido removidos.
- 0B Desprendimiento mayor al 65% de los cuadros.



Figura 22 Corte y adherencia de las muestras

2.10.7 Tiempo de secado (ASTM D-1640)

Se determinó el tiempo de secado tocando ligeramente la película con la punta del dedo bien limpia e inmediatamente se colocó contra una placa limpia, observándose si la película se tornaba pegajosa [43]. La Figura 23 muestra de manera significativa la espera del secado, este análisis fue una técnica de ensayo con alta dispersión pues depende de la sensación del experimentador. Es un secado al tacto.



Figura 23 Muestras para determinar tiempo de secado en minutos

2.11 Caracterización de las placas

2.11.1 Infrarrojo (IR)

Se analizaron mediante la técnica de espectroscopia de infrarrojo 21 muestras de pintura alquidálica en distintas formulaciones. El espectro de las muestras fue medido entre 340 y 4700 cm^{-1} , en un espectrómetro por transformada de Fourier, marca SHIMADZU, modelo IRAffinity-1.

2.11.2 Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

El análisis MEB fue realizado en la División Académica de Ingeniería y Arquitectura UJAT-DAIA, en el laboratorio de Análisis y Caracterización (Figura 24). Para el análisis morfológico, las muestras se montaron sobre cinta conductora de carbón de doble cara en un porta muestra de aluminio. Posteriormente se observaron en un microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-6010LA (Japón) a 20 kV de voltaje de aceleración en condiciones de alto vacío a 100X, 200X y 500X para el aloe vera y el nopal, 500X, 2500X y 6000X para el acero comercial, 100X para las placas sin pintar en los tres meses, 1000X para el testigo y las formulaciones. Se utilizó un detector de energía dispersiva (EDS) acoplado al MEB para realizar el análisis semicuantitativo y de distribución de elementos en la superficie de las muestras. Para el procesamiento de las micrografías se utilizó el Software InTouchScope™.



Figura 24 Microscopio Electrónico de Barrido

Las muestras de pintura alquidática se molieron hasta obtener un polvo fino, posteriormente se mezclaron con una cierta cantidad de sal altamente purificada (bromuro de potasio), es importante conservar la sal seca, pues el agua absorbe intensamente en el infrarrojo. Esta mezcla se tritura y se prensa con el fin de formar una pastilla por la que pueda pasar la luz. La pastilla necesita ser prensada a altas presiones para asegurar que sea translúcida (homogenizar), posteriormente se pone en el porta muestra y comienza el análisis.

2.12 Normas para evaluación de corrosión

2.12.1 Norma ASTM 610

Procedimiento

- 1) Seleccionar un área para ser evaluada.
- 2) Determinar el tipo de distribución de óxido usando las definiciones de la Tabla 6 y ejemplos visuales en el Anexo 2.
- 3) Estimar el porcentaje de área de superficie oxidada usando los ejemplos visuales en Anexo 2 o SSPC-VIS 2, o ambos, mediante técnicas de escaneo electrónico u otro método. La escala numérica de grado de óxido es una función exponencial del área de óxido. El grado de oxidación contra el área de oxidación es un gráfico en línea recta
- 4) Usar porcentaje de área de superficie oxidada para identificar el grado de óxido (Tabla 6). Asignar calificación de óxido usando grado de herrumbre de 0-10 seguido por el tipo de distribución de óxido identificado por *S* para punto, *G* para general, *P* para punto preciso o *H* para Híbrido.
- 5) Los ejemplos visuales no son necesarios para el uso de la escala de grado de óxido ya que la escala se basa en el porcentaje de la área oxidada y se puede usar cualquier método para evaluar el óxido de área para determinar el grado de oxidación

Tabla 6 Escala y descripción de las clasificaciones de óxido) [24]

Rust Grade	Percent of Surface Rusted	Visual Examples		
		Spot(s)	General (G)	Pinpoint (P)
10	Less than or equal to 0.01 percent		None	
9	Greater than 0.01 percent and up to 0.03 percent	9-S	9-G	9-P
8	Greater than 0.03 percent and up to 0.1 percent	8-S	8-G	8-P
7	Greater than 0.1 percent and up to 0.3 percent	7-S	7-G	7-P
6	Greater than 0.3 percent and up to 1.0 percent	6-S	6-G	6-P
5	Greater than 1.0 percent and up to 3.0 percent	5-S	5-G	5-P
4	Greater than 3.0 percent and up to 10.0 percent	4-S	4-G	4-P
3	Greater than 10.0 percent and up to 16.0 percent	3-S	3-G	3-P
2	Greater than 16.0 percent and up to 33.0 percent	2-S	2-G	2-P
1	Greater than 33.0 percent and up to 50.0 percent	1-S	1-G	1-P
0	Greater than 50 percent		None	

Tipos de distribución de óxido:

S: Oxidación de manchas: la oxidación de manchas ocurre cuando la mayor parte de la oxidación se concentra en unas pocas áreas localizadas de la superficie pintada. 9-S a 1-S

G: Oxidación general: la oxidación general ocurre cuando varios tamaños de óxido se distribuyen aleatoriamente en la superficie. Los ejemplos visuales que representan este tipo de oxidación están etiquetados 9-G a 1-G.

P: Oxidación precisa: la oxidación precisa ocurre cuando el óxido se distribuye por la superficie como pequeñas manchas individuales de óxido. Los ejemplos visuales que representan este tipo de oxidación son etiquetados 9-P a 1-P.

H: oxidación híbrida o mixta: una superficie de oxidación real puede ser un híbrido de los tipos de distribución de óxido representados en los ejemplos visuales. 9-H a 1-H.

2.12.2 Norma ASTM D 714

Procedimiento

- 1) Someter las formulaciones y el testigo a las condiciones de prueba mencionadas en la norma ISO 11474 [32].
- 2) Evaluar las formulaciones y el testigo para determinar el grado de formación de ampollas en comparación con los patrones fotográficos de referencia.
Anexo 3
- 3) Construir una tabla de acuerdo a las dos variables 1) Tamaño (10, 8, 4, 6 y 2) y 2) Frecuencia (Denso *D*, Medio Denso *MD*, Medio *M*, Pocos, *P* y No ampollas *N/A*).
- 4) Interpretación de la Tabla

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se muestran los resultados y las comparaciones correspondientes a las pruebas reológicas realizadas al recubrimiento, gravimetría en placas sin pintar y el ensayo de corrosión de las placas de acero al carbón pintadas expuestas a la acción de la atmósfera del municipio de Cunduacán y sometidas a corrosión acelerada bajo la norma ISO 11474 durante 3 meses, la efectividad de protección del recubrimiento y por último se presentan los resultados de las técnicas microscopia de electrónica de barrido e infrarrojo

3.1 Pérdida de peso

La técnica de pérdida de peso se determina mediante la diferencia de un peso inicial con el peso final, para obtener Δm (diferencia de masa) la cual se utilizó para estimar la velocidad de corrosión del acero al carbono (sin recubrimiento). Las Figuras 25, 26 y 27 muestran de manera gráfica la pérdida de peso de las placas, donde el peso final según la norma ISO 9223 establece que al momento de llegar a peso constante se indique como peso final. Para este ensayo fue necesario ocupar cuatro placas, de las cuales tres fueron expuestas a la corrosión acelerada. La Figura 25 muestra el peso final de las placas 2, 3 y 4 de las cuales se calculó un peso inicial promedio antes de exposición (105.095 g) y el peso final promedio con valor de 103.628 g para el mes uno.

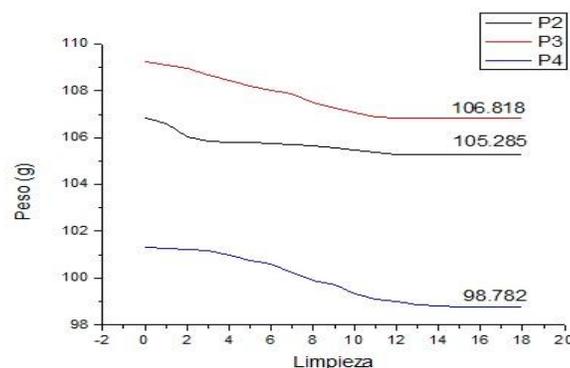


Figura 25 Pérdida de peso del mes uno, para las placas 2, 3 y 4

Fuente: Elaboración propia

La pérdida de peso promedio para el mes uno es de:

$$\Delta m = m_i - m_f \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\Delta m = 105.095g - 103.628g$$

$$\Delta m = 1.467g$$

El resultado de la pérdida de peso para el mes uno fue de **1.467 g**.

La Figura 26 muestra el peso final de las placas 5, 6 y 7 de las cuales se calculó un peso inicial antes de exposición (103.284 g) y el peso final promedio con valor de **100.632 g** para el mes dos.

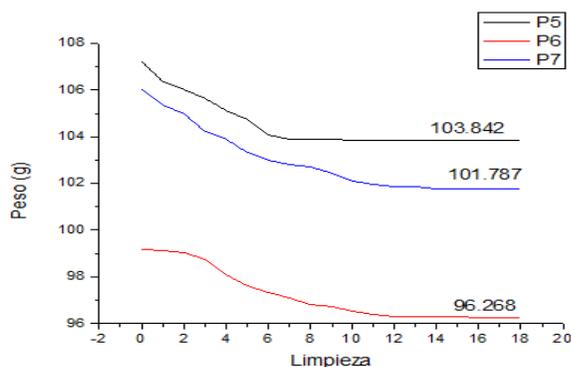


Figura 26 Pérdida de peso del mes dos, para las placas 5, 6 y 7

La pérdida de peso promedio para el mes dos es de:

$$\Delta m = m_i - m_f \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\Delta m = 103.284g - 100.632g$$

$$\Delta m = 2.652g$$

El resultado de la pérdida de peso promedio para el mes dos fue de **2.652 g**.

La Figura 27 muestra el peso final de las placas 10,11 y 12 de las cuales se calculó un peso inicial promedio antes de exposición (109.146 g) y el peso final promedio con valor de **100.695 g** para el mes tres.

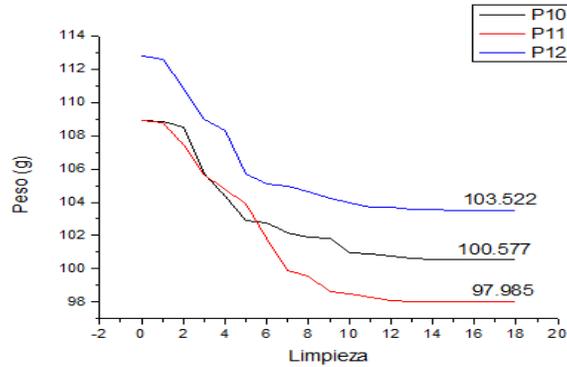


Figura 27 Pérdida de peso del mes tres, para las placas 10, 11 y 12

La pérdida de peso para el mes tres es de:

$$\Delta m = m_i - m_f \quad (\text{Ec. 1})$$

$$\Delta m = 109.146g - 100.695g$$

$$\Delta m = 8.451g$$

El resultado de la pérdida de peso para el mes tres fue de **8.451 g**.

De las figuras anteriores se obtuvo la pérdida de peso promedio, la cual está representada en la Tabla 7 donde se observa el valor de la pérdida de peso por mes, se determinó que existe una tendencia ascendente de la pérdida de peso con respecto al tiempo de exposición.

Tabla 7 Pérdida de peso promedio calculado para los tres meses de exposición

Meses	Pérdida de Peso Promedio (g)
No. de muestras	
1	1.467
2	2.652
3	8.451

Fuente: Elaboración propia

Del Ángel et al. (2009) realizaron estudios de corrosión atmosférica del acero galvanizado, registrando velocidades de corrosión media (C3). El nivel de deterioro de los materiales se relaciona directamente con el tipo de atmósfera al que se encuentra expuesto el metal, los factores climáticos y los contaminantes son los que determinan el tipo de productos de corrosión de los metales [44].

3.2 Velocidad de corrosión

Una vez determinada la pérdida de peso mensual, la velocidad de corrosión (V_c) se obtuvo mediante el uso de la ecuación del cálculo de la velocidad de corrosión (ISO 9223) estos resultados fueron comparados en la categoría de la velocidad de corrosión.

A continuación, se muestran los resultados de la velocidad de corrosión del acero:

Mes 1:

$$V_c = \frac{\Delta m}{A \times \rho \times t} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$V_c = \frac{1.467}{0.25 \times 7.86 \times 0.083}$$

$$V_c = \mathbf{8.995 \mu m/a}$$

Dónde:

V_c = Velocidad de corrosión ($\mu\text{m/a}$).

Δm = Pérdida de masa (g).

A = Área expuesta en el modelo estándar de prueba (m^2).

ρ = Densidad ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$).

t = tiempo (años).

Según la norma antes mencionada este nivel de corrosión ($8.99 \mu\text{m/a}$) pertenece a la categoría de corrosión **C2**.

Mes 2:

$$V_c = \frac{\Delta m}{A \times \rho \times t} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$V_c = \frac{2.651}{0.25 \times 7.86 \times 0.167}$$

$$V_c = \mathbf{8.082 \mu m/a}$$

Dónde:

V_c = Velocidad de corrosión ($\mu\text{m/a}$).

Δm = Pérdida de masa (g).

A = Área expuesta en el modelo estándar de prueba (m^2).

ρ = Densidad ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$).

t = tiempo (años).

Según la norma antes mencionada este nivel de corrosión (8.082 μm) pertenece a la categoría de corrosión **C2**.

Mes 3:

$$V_c = \frac{\Delta m}{A \times \rho \times t} \quad (\text{Ec. 2})$$

Dónde:

V_c = Velocidad de corrosión ($\mu\text{m/a}$).

Δm = Pérdida de masa (g).

A = Área expuesta en el modelo estándar de prueba (m^2).

ρ = Densidad ($\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$).

t = tiempo (años).

$$V_c = \frac{8.451}{0.25 \times 7.86 \times 0.25}$$

$$V_c = \mathbf{17.203 \mu m/a}$$

Según la norma antes mencionada este nivel de corrosión (17.203 μm) pertenece a la categoría de corrosión C2.

De las velocidades de corrosión obtenidas de los meses de experimentación se hizo un promedio, el cual fue de **11.426 $\mu\text{m/a}$** para el municipio de Cunduacán en esas fechas, el cual equivale a una categoría de corrosión de **C2**, de acuerdo a la Norma ISO 9223. Otras investigaciones realizadas para el cálculo de velocidad de corrosión en atmósferas costeras y ambientes tropicales, demuestran que los grados de corrosión se ubican en su mayoría en la categoría de corrosión C3 el cual pertenece a un tipo de corrosión media [37,38].

3.3 Pruebas reológicas

3.3.1 Densidad

Para el cálculo de la densidad se ocupó la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{mf-mp}{mpa-mp} \cdot da \quad (\text{Ec. 3})$$

Las densidades obtenidas se pueden apreciar en la siguiente tabla (Tabla 8), en la cual la formulación que contiene 5gr de Nopal (F4), presento mejores propiedades anticorrosivas durante el desarrollo experimental de esta investigación.

Tabla 8 Resultados de las densidades para las formulaciones

Formulaciones	Densidad g/ml
F1	1.239
F2	1.225
F3	1.213
F4	1.291
F5	1.272
F6	1.258
Testigo	1.245

Elaboración propia

De esta misma manera se realizó la comparación de las densidades de las formulaciones de esta investigación con 4 marcas comerciales dedicadas a la venta de pinturas alquidálicas anti corrosivas (Tabla 9) donde se puede apreciar que, en el rango de las formulaciones empleadas en este trabajo, están dentro del rango de las empresas que ya se encuentran establecidas en el mercado.

Tabla 9 Comparación de las densidades de las formulaciones con pinturas comerciales

COMEX PRIMARIO DOS ALQUIDÁLICO ANTICORROSIVO	SHERWIN WILLIAMS ESMALTE ALQUIDALICO ACABADO BRILLANTE GLINEA C62	NERVION PE93	SMAXX	ACUARIUM ANTIOXI ESMALTE PRIMARIO	VOLTON
1.245	0.784	1.065	0.975	1.225	1.38

Elaboración propia

Las formulaciones de Aloe Vera y Nopal cumplen también con la norma vigente NRF-009-PEMEX, la cual hace referencia para estructuras metálicas permitiendo que sean empleadas para la industria.

3.3.2 Viscosidad

La viscosidad de la pintura fue medida en un viscosímetro rotacional de Brookfield, como era de esperarse, las formulaciones presentaron mayor viscosidad de acuerdo a la concentración de aloe y nopal. La pintura con baja concentración no tuvo variación significativa en su viscosidad, en la Tabla 10, se muestran los valores de viscosidad para la formulación del testigo, en la ficha técnica del primario 2 [27] nos indica que el valor optimo de viscosidad de un alquidálico a temperatura 25°C está en el rango de 1000-2000 Cp. la Figura 28 describe la curva de viscosidad para la formulación antes mencionada.

Tabla 10 Determinación de la viscosidad del testigo

RPM	Viscosidad (Cp)	% de error	TEMPERATURA (°C)
1.5	2042	10.22	27.8
3	1838	16.13	27.8
6	1640	21.65	27.8
12	1452	32.42	27.8
30	1237	40.16	27.8
60	1004	55.24	27.8

Elaboración propia

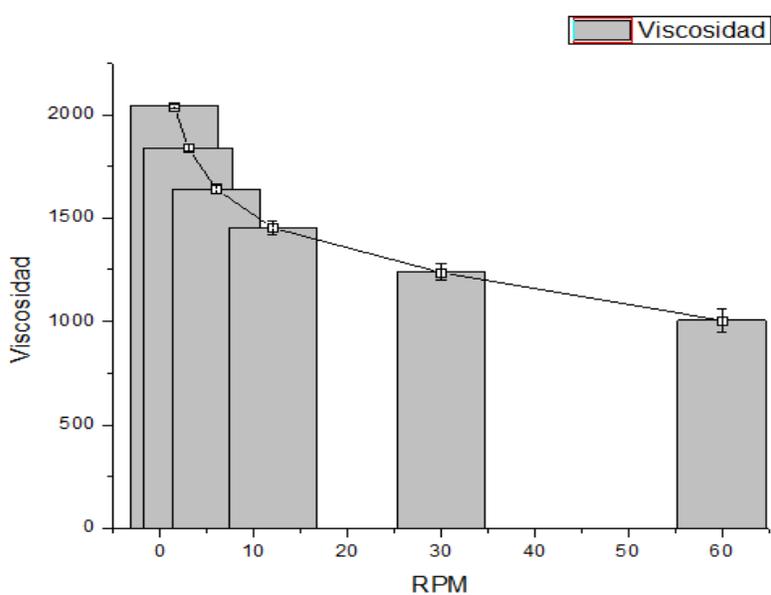


Figura 28 Curva de viscosidad de la formulación testigo

La siguiente tabla (Tabla 11) muestra la viscosidad de las formulaciones 1,2 y 3 que representan 2g de nopal, 2g de aloe vera y 1 gr de nopal con 1g de aloe vera respectivamente, y la Figura 28 que representa gráficamente los datos obtenidos en la Tabla 8.

Tabla 11 Viscosidad de las formulaciones 1, 2 y 3

Elaboración Propia

F1			F2			F3		
TEMPERATURA (°C)	27.8		TEMPERATURA (°C)	28.2		TEMPERATURA (°C)	28.2	
RPM	Viscosidad (Cp)	%PORCENTAJE DE ERROR	RPM	Viscosidad (Cp)	%PORCENTAJE DE ERROR	RPM	Viscosidad (Cp)	%PORCENTAJE DE ERROR
1.5	2302	12.43	1.5	2289	12.37	1.5	2207	12.31
3	2107	19.02	3	2008	18.92	3	1994	18.86
6	1945	26.01	6	1863	25.95	6	1789	25.82
12	1764	39.98	12	1628	39.81	12	1577	39.73
30	1498	50.41	30	1475	50.33	30	1358	50.25
60	1329	70.97	60	1292	70.84	60	1193	70.71

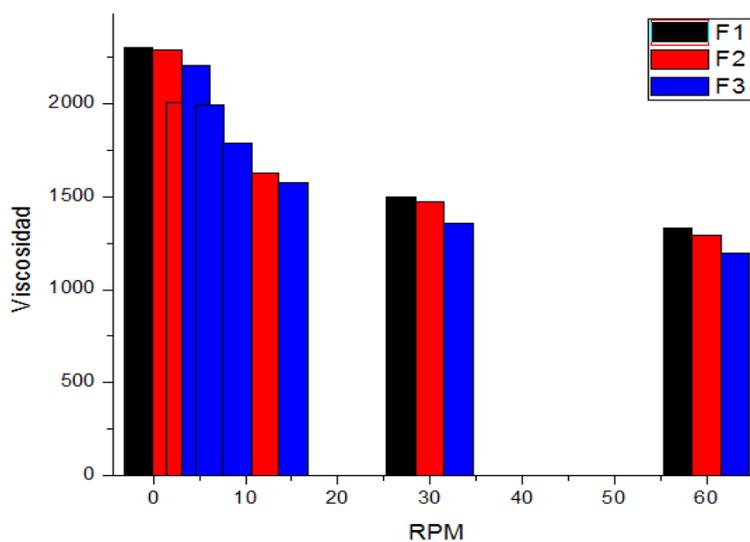


Figura 29 Viscosidad de las formulaciones 1, 2 y 3

Elaboración propia

La Tabla 12 muestra el resto de la viscosidad obtenida en las formulaciones 4, 5 y 6 así como de manera gráfica en la Figura 29.

Tabla 12 Viscosidad de las formulaciones 4, 5 y 6

F4			F5			F6		
TEMPERATURA (°C)	28.7		TEMPERATURA (°C)	28.7		TEMPERATURA (°C)	28.7	
RPM	Viscosidad (Cp)	%PORCENTAJE DE ERROR	RPM	Viscosidad (Cp)	%PORCENTAJE DE ERROR	RPM	Viscosidad (Cp)	%PORCENTAJE DE ERROR
1.5	2702	16.05	1.5	2625	15.91	1.5	2533	15.83
3	2574	23.74	3	2484	23.67	3	2368	23.49
6	2366	30.89	6	2293	30.75	6	2129	30.61
12	2159	46.01	12	2065	45.82	12	1955	45.67
30	1988	69.96	30	1859	69.72	30	1773	69.52
60	1705	81.07	60	1677	80.94	60	1549	80.81

Elaboración propia

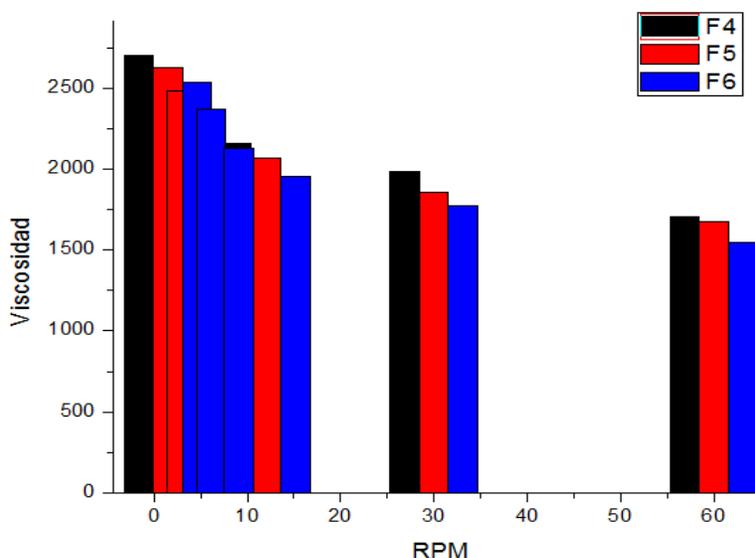


Figura 30 Viscosidad de las formulaciones 4, 5 y 6

Elaboración propia

Las Figuras 27, 28 y 29 muestran de forma general y compacta las diferentes viscosidades de cada una de las formulaciones y del testigo. De esta misma manera se puede observar que la formulación denominada F4 la cual contiene 5g de nopal es la que presenta mayor viscosidad y la F3 la cual contiene 1g de aloe vera y 1g de nopal es la que presenta menos viscosa en comparación con el resto.

3.3.3 Tixotropía

Después del estudio tixotrópico, se obtuvieron los resultados de la Tabla 13, en ella se puede comprobar que la formulación con mayor cantidad de sólidos fue la que obtuvo mayor propiedad tixotrópica con respecto al tiempo, debido a su mayor densidad y viscosidad.

Mediante el análisis tixotrópico se pudo percatar que la formulación F4 (5g de Nopal) es la mejor en su aplicación; ya que permanece más tiempo en la brocha, y sus componentes están esparcidos homogéneamente en el volumen total de la muestra, provocando en cada aplicación una impresión de buena carga, lo cual se esparce de manera uniforme a lo largo de la placa, logrando así un mejor tratamiento del material.

Tabla 13 Resultados de las pruebas de tixotropía aplicada a las formulaciones

Formulación	Tiempo (minutos)
Testigo	20
F1	30
F2	27
F3	26
F4	62
F5	54
F6	40

Elaboración Propia

3.3.4 Espesor de la película

Los resultados obtenidos mediante el análisis SEM permite conocer el espesor de la película (Figura 31) que se forma al aplicar el recubrimiento en una superficie de metal después de cada mes de exposición, en el cual se observan los resultados en a continuación.

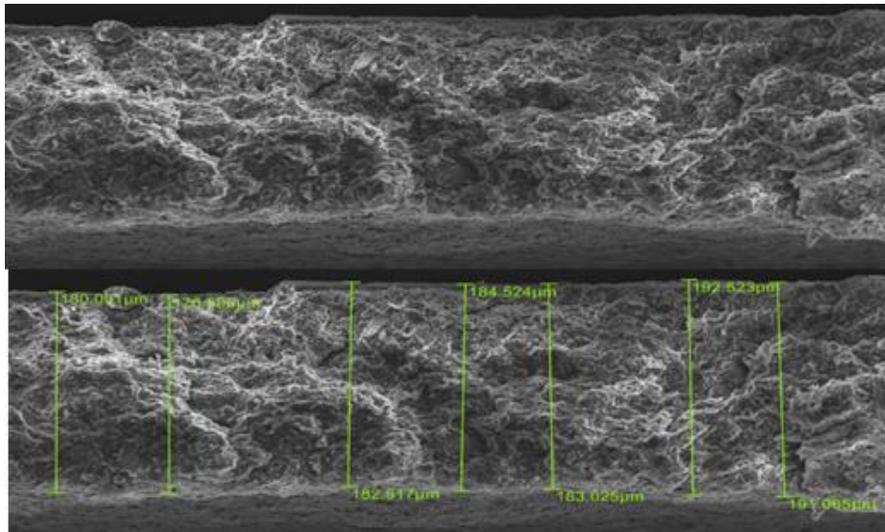


Figura 31 Espesor de la pintura

Durante el primer mes de exposición los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 14, mientras que para el mes dos se muestran en la Tabla 15, y para el último mes de exposición en la Tabla 16.

Tabla 14 Resultados obtenidos para el mes uno

FORMULACIÓN	M1			
	E(MAX) μm	E(MIN) μm	E(PROMEDIO) μm	DESVIACIÓN STANDARD $s = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n}}$
F1	90.006	73.527	83.2172	6.355116576
F2	95.012	78.04	87.5254	6.565416422
F3	44.013	31.563	37.0206	4.675369536
F4	192.523	176.5	184.8178	6.308962569
F5	127.06	105.51	113.776	8.256599179
F6	100.01	90.512	108.6135	3.754245557
Testigo	127.504	119.422	122.9092	3.305515875

Elaboración propia

Tabla 15 Resultados para el mes dos

FORMULACIÓN	M2			
	E(MAX) μm	E(MIN) μm	E(PROMEDIO) μm	DESVIACIÓN STANDARD $S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}}$
F1	144.003	136.001	140.6198	2.971910951
F2	100.55	84.524	92.9184	6.459801723
F3	107.529	91.005	97.2142	6.259273656
F4	224.008	217.557	221.542	2.419942355
F5	111.503	93.004	98.2834	7.667694784
F6	67.5	60.008	64.3194	2.799550643
Testigo	120.009	128.016	123.6124	2.991315898

Elaboración propia

Tabla 16 Resultados para el mes tres

FORMULACIÓN	M3			
	E(MAX) μm	E(MIN) μm	E(PROMEDIO) μm	DESVIACIÓN STANDARD $s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n}}$
F1	170.036	164.503	166.3006	2.204020712
F2	155.02	130.306	146.6838	10.67436421
F3	72.016	64.018	68.1198	2.884245603
F4	172.004	152.507	165.7046	7.752448536
F5	208.008	175.004	190.2822	13.39367911
F6	115.605	109.503	112.2032	2.40764443
Testigo	86.523	82.506	84.3132	1.687216258

Elaboración propia

Las dimensiones de espesores de película fueron tomadas después de la exposición correspondiente. La aplicación de corrosión acelerada, los factores ambientales y a la cantidad de carga que contenía cada formulación, fueron las que influyeron en la variabilidad de los tamaños de los espesores de la película, a grandes rasgos se puede observar que en la mayoría de las formulaciones existió un desgaste, erosión, retención de agua, ya que al ser expuestas a la intemperie sufrieron estos factores. Las que mayor espesor presentaron, fueron las que se pintaron con carga de nopal y las que también mejor aspecto tuvieron al final de su periodo de exposición.

3.3.5 Brochabilidad

Estos resultados se obtuvieron por la aplicación de las formulaciones en superficie metálica, determinando que, entre mayor cantidad de resina suministrada en las formulaciones, aumenta su resistencia al deslizamiento, en la siguiente tabla (Tabla 17) se clasifican cada una de las formulaciones como lo implementa la norma COVENIN 472-87.

Tabla 17 Resultados visuales de la brochabilidad

Formulación	Escala		
	Fácil cobertura	Regular cobertura	Difícil cobertura
Testigo	X		
F1		X	
F2		X	
F3		X	
F4			X
F5			X
F6		X	

Fuente: Elaboración propia

Las formulaciones con un rango de Buena Cobertura nos indican visualmente que son las que mejor aumentaron las propiedades de la pintura en el área seleccionada, mientras que las de Difícil Cobertura significan que existieron espacios los cuales no se nivelaron con la aplicación de la pintura.

3.3.6 Adherencia

Los resultados de la prueba de adherencia se ven reflejado en la siguiente tabla (Tabla 18), siguiendo los parámetros que restringe la norma ASTM D-3359.

Tabla 18 Resultados de la prueba de adherencia

No.	Clasificación	Formulaciones						
		Testigo	F1	F2	F3	F4	F5	F6
1	5B					X	X	
2	4B							X
3	3B		X	X				
4	2B	X			X			
5	1B							
6	0B							

Elaboración propia

Las formulaciones con mayor adherencia fueron F4, F5 y F6, de acuerdo a la ASTM D-3359.

3.3.7 Tiempo de secado

Los resultados obtenidos durante esta prueba son bajo los parámetros de la ASTM D-1640 (Tabla 19).

Tabla 19 Tiempo de secado al tacto

Formulación	Tiempo (minutos)
Testigo	85
F1	66
F2	61
F3	72
F4	49
F5	53
F6	57

Elaboración propia

Como se observa en la tabla los mejores tiempos de secado fueron la F4 y F5, de acuerdo a la norma ASTM D-1640 y a la teoría sobre tiempo de curado de las pinturas que se mencionó anteriormente.

3.4 Infrarrojo

Se realizaron diferentes pruebas de infrarrojo las cuales se describirán a continuación, para el caso de la resina del aloe vera en polvo se obtuvieron los siguientes datos (ver Figura 32).

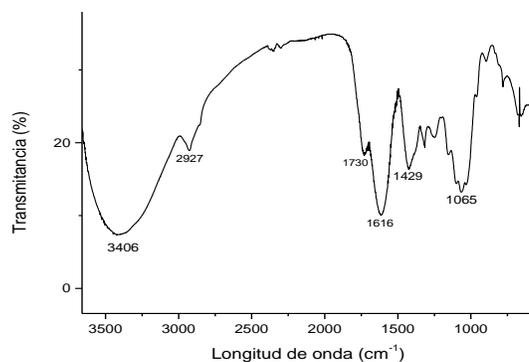


Figura 32 IR de la resina del aloe vera

Fuente: Laboratorio DAIA-UJAT

En el espectro se observan, como señales más resaltantes, absorciones características para grupos OH (alcohólicos, ácidos y/o fenólicos) entre 3550 y 3200 cm^{-1} un poco desplazado con respecto a lo que serían OH libres (3650 - 3584 cm^{-1}) lo cual sugiere posible formación de puentes de hidrógeno intermoleculares [7]. Las otras bandas observadas son las características para grupo carbonilo las cuales aparecen en la región de 1870 y 1540 cm^{-1} , estas podrían corresponder a carbonilo de cetonas, de aldehídos, ácidos o ésteres. Esta información lleva a pensar que los compuestos presentes, tienen en su estructura los grupos funcionales nombrados. La diferencia de polaridad entre los tres grupos de fracciones podría ser explicada en función del tipo de grupo presente, del número de grupos presentes y de la distribución espacial de estos en los compuestos.

Mientras que en el espectro del nopal (Figura 33) se pueden observar bandas sobresalientes en la longitud de onda que comprende los 1200-1000 cm^{-1} que pueden corresponder a grupos de alcoholes, fenoles, ácidos carboxílicos, ésteres (C-O) y a las amidas o aminas (C-N).

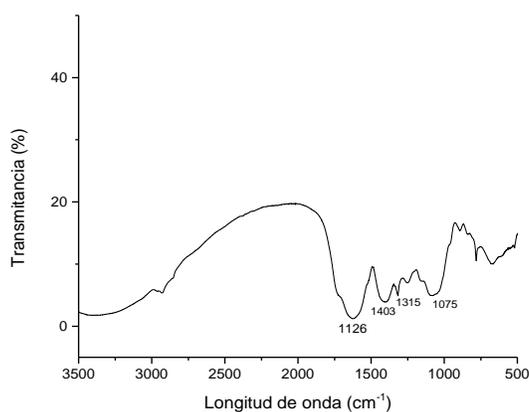


Figura: 33 IR de la resina del nopal

Laboratorio DAIA-UJAT

Se analizaron para esta sección 3 formulaciones, la formulación 4 que es la que muestra mejores propiedades en las pruebas reológicas, la formulación 3 que es la

que arrojó menores y la muestra testigo para poder tener una comparación entre estos parámetros.

Se realizó un análisis de los espectros para las formulaciones por los tres meses de exposición donde se logró observar las diferencias a través del tiempo, aunque no hubo variaciones significativas. Los primeros espectros analizados fueron los de la formulación testigo como se muestra en la Figura 34.

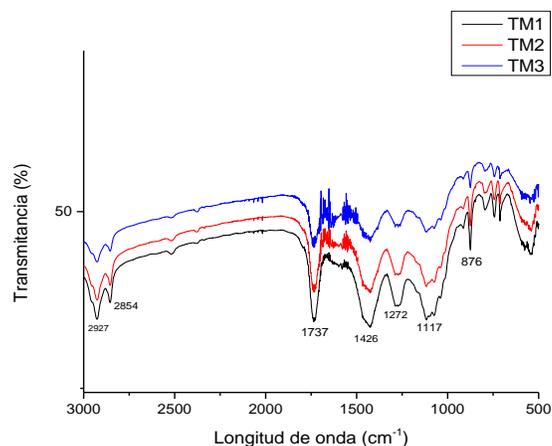


Figura 34 Análisis de los espectros de la formulación testigo durante los 3 meses de exposición

Los grupos funcionales predominantes en la formulación testigo fueron, alcanos (C-H), aldehídos (C=O), alquenos (C-H) y alcoholes (C-O).

Para la formulación F3 y F4 se vuelven a repetir los grupos funcionales y se ubican con peculiar similitud a los de la formulación testigo ya que su base es alquidámica, como se puede observar en la Figura 35 y en la Figura 36.

El recuadro puntuado hace referencia a la visibilidad del nopal en el espectro de la formulación F3.

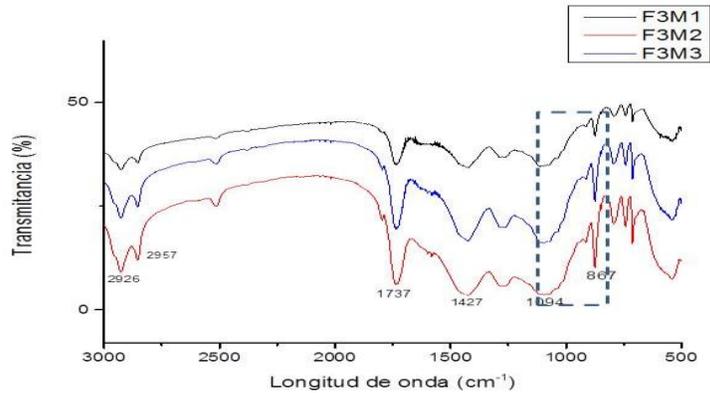


Figura 35 Análisis de los espectros de la formulación F3 durante los 3 meses de exposición

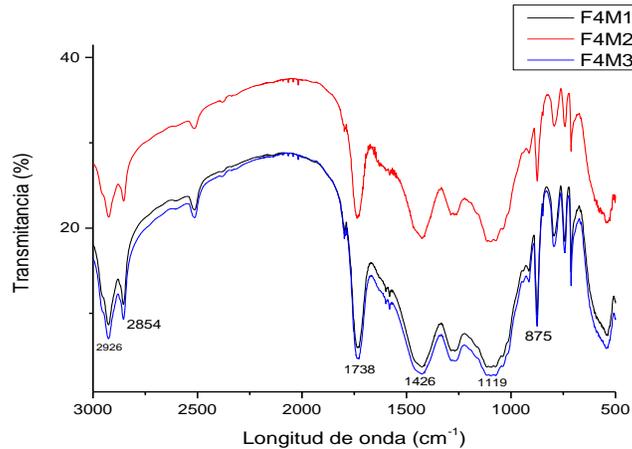


Figura 36 Análisis de los espectros de la formulación F4 durante los 3 meses de exposición

3.5 Microscopia Eletrônica de Barrido

Con el uso del SEM y EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) es posible determinar la morfología de las placas de acero durante el transcurso de su exposición, para ellos fue necesario realizar SEM y EDS cada mes para poder lograr identificar las diferencias que se produjeron en las placas de acero a lo largo de esta investigación.

La siguiente imagen (Figura 37) muestra el análisis SEM realizado a las resinas y a la placa metálica antes de someterla a tratamiento.

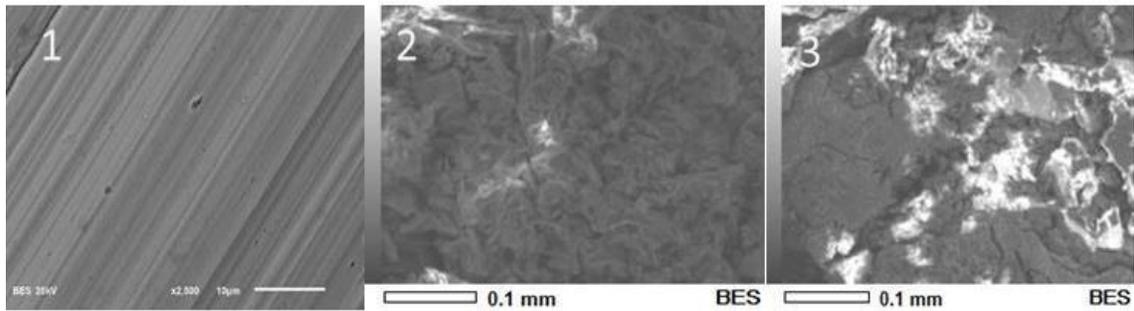


Figura 37 Muestras de imágenes MEB realizadas a la placa de acero (1) al aloe vera (2) y al nopal (3)

Se realizó un análisis para cada una de las formulaciones, de las cuales son de interés la formulación testigo, la F3 y la F4, la Figura 38 muestra una comparación de 3 muestras de la formulación testigo, cada muestra será representada por M1, M2 y M3, para identificar el mes en que se realizó el análisis.

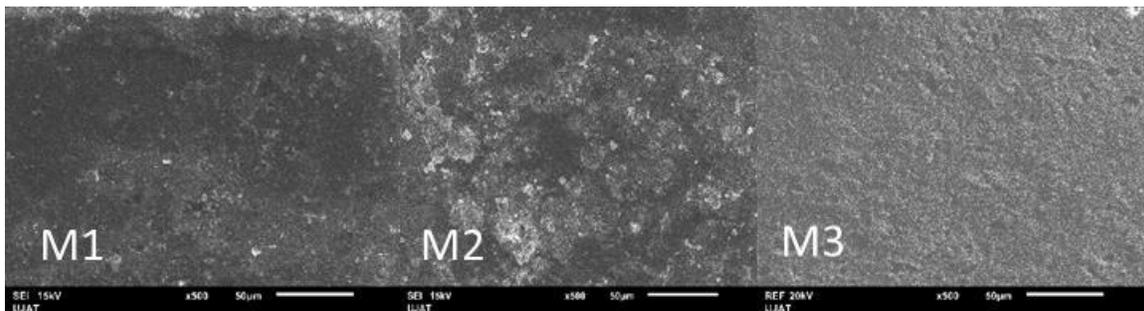


Figura 38 Análisis morfológico de las placas de acero con la formulación testigo del mes uno (M1), mes dos (M2) y mes tres (M3)

En la imagen anterior (Figura 38) se logra observar que en M1 aún no se presentan de manera congruente los efectos de la corrosión debido a que es el primer mes de exposición, mientras que en M2 se observa que la corrosión ha ocasionado desperfectos y acumulaciones de óxidos y cloruros por la técnica de corrosión acelerada aplicada a las placas metálicas, en M3 se determinó que la corrosión afectó completamente la superficie de la placa, ya que a simple vista puede distinguirse corrosión por picadura, general, atmosférica etc.

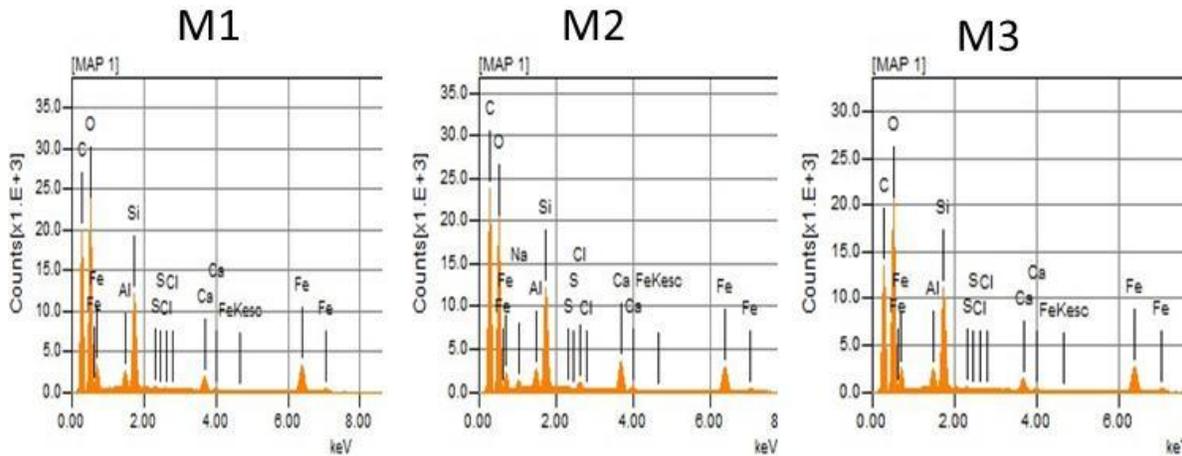


Figura 39 Análisis EDS de las placas de acero con la formulación testigo del mes uno M1, mes dos M2 y mes tres M3

Laboratorio DAIA-UJAT

Los elementos presentes (productos de corrosión) durante los tres meses de exposición se determinaron mediante el análisis elemental (EDS) (ver Figura 39), en los que puede distinguir la presencia de Cl, Na, Ca.

El grado de deterioro de los materiales se relaciona directamente con el tipo de atmósfera al que se encuentra expuesto el metal, los factores climáticos y los contaminantes son los que determinan el tipo de productos de corrosión que se forman en la superficie de los metales [44].

También se evaluaron las formulaciones F3 y F4 de la cual se obtuvieron los siguientes datos:

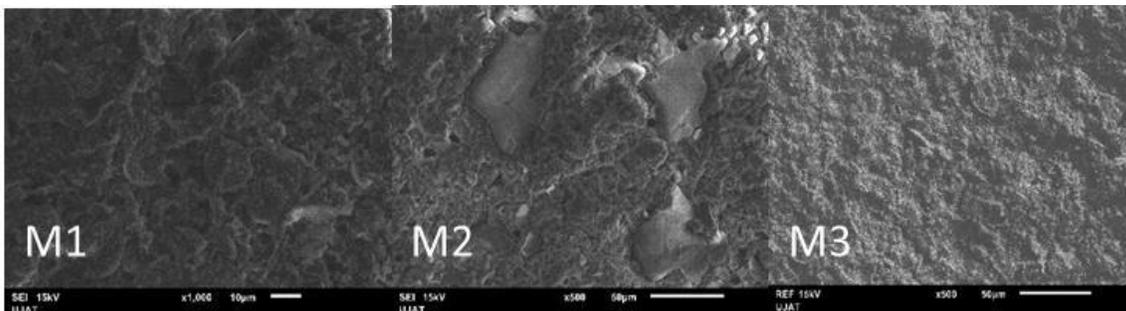


Figura 40 Análisis morfológico de las placas de acero con la formulación tres F3 del mes uno M1, mes dos M2 y mes tres M3

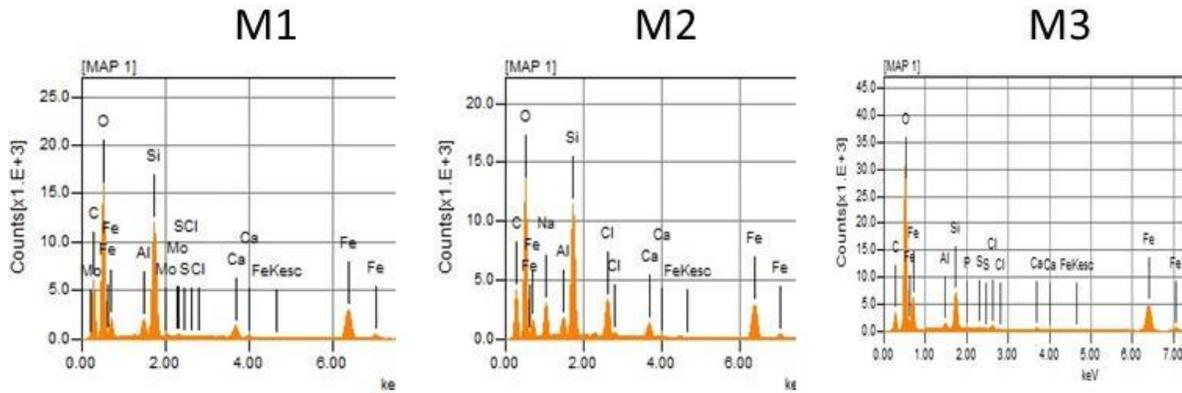


Figura 41 Análisis EDS de las placas de acero con la formulación tres F3 del mes uno M1, del mes dos M2 y del mes tres M3

Laboratorio DAIA-UJAT

La Figura 40 muestra el análisis SEM para la formulación tres, durante los tres periodos de exposición, mientras que la Figura 41 determina los productos de corrosión localizados por cada mes de la placa expuesta. Mientras tanto en la Figura 42 y Figura 43 se visualiza el análisis SEM y EDS respectivamente para la placa con formulación cuatro.

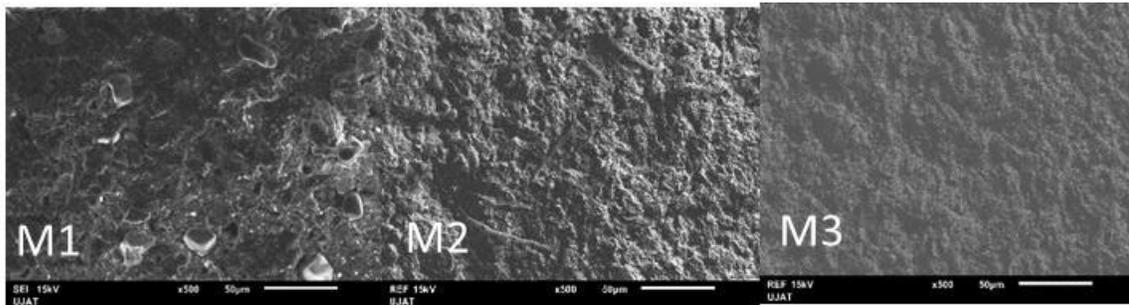


Figura 42 Análisis morfológico de las placas de acero con la formulación cuatro F4 del mes uno M1, mes dos M2 y mes tres M3

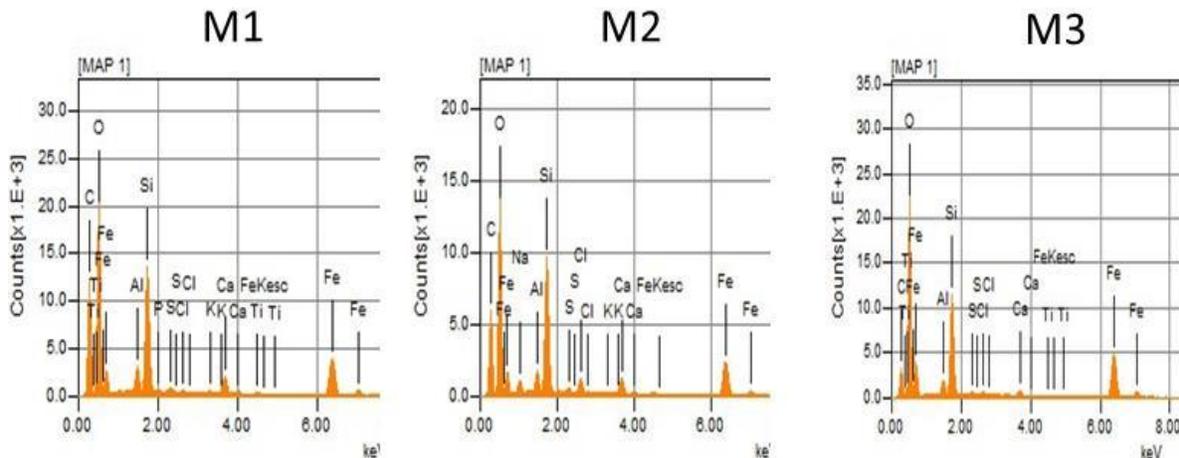


Figura 43 Análisis EDS de las placas de acero con la formulación cuatro F4 del mes uno M1, del mes dos M2 y del mes tres M3

Laboratorio DAIA UJAT

Se muestra que los productos de corrosión que se formaron en la superficie metálica se debe principalmente a la presencia de oxígeno del ambiente, así como a la presencia de metales como Hierro (Fe), Aluminio (Al) y Silicio (Si). También se observan elementos Cloro (Cl) y Azufre (S), considerados fuertes agentes contaminantes.

3.6 Prueba estándar para la evaluación del grado de corrosión

En la siguiente tabla se muestra los distintos grados de corrosión que se obtuvieron durante los meses de evaluación en las 6 formulaciones y testigo

3.6.1 ASTM 610

Tabla 20 Resultados con la norma ASTM 610

FORMULACIONES		Evaluación visual		
		Spot (s) Porcentaje de superficie oxidado	General (G) Porcentaje de superficie oxidado	Pinpoint (P) Porcentaje de superficie oxidado
F1	M1	7S, 0.3%	7G, 0.1%	7P,0.3%
	M2	6S, 0.3%	6G, 1%	6P, 1%
	M3	6S, 1%	5G, 1%	5P, 1%
F2	F2 M1	7S, 0.1%	6G, 1%	6P, 0.3%
	F2 M2	6S, 1%	5G, 1%	5P, 1%
	F2 M3	5S, 1%	5G, 3%	5P, 3%
F3	F3 M1	7S, 0.1%	7G, 0.1%	6P, 1%
	F3 M2	7S, 0.3%	7G, 0.3%	5P, 1%
	F3 M3	6S, 1%	6G, 1%	5P, 3%
F4	F4 M1	9S, 0.03%	9G, 0.01%	9P, 0.03%
	F4 M2	8S, 0.03%	9G, 0.03%	8P, 0.1%
	F4 M3	8S, 0.1%	8G, 0.1%	7P, 0.1%
F5	F5 M1	8S, 0.03%	8G, 0.03%	8P, 0.1%
	F5 M2	8S, 0.1%	8G, 0.1%	7P, 0.1%
	F5 M3	7S, 0.1%	7G, 0.1%	6P, 0.3%
F6	F6 M1	8S, 0.1%	8G, 0.1%	7P, 0.1%

	F6 M2	7S, 0.1%	7G, 0.1%	6P, 0.3%
	F6 M3	6S, 0.3%	7G, 0.3%	6P, 1%
T	T M1	6S, 0.3%	6G, 1%	6P, 1%
	T M2	5S, 1%	5G, 3%	5P, 3%
	T M3	5S, 3%	4G, 3%	4P, 3%

Elaboración Propia

En la Tabla 20 se puede observar que en la Formulación 4 (5g de nopal) es la que menor porcentaje de oxidación presentó en la superficie, siendo ésta la mejor inhibidora de la corrosión, seguidamente la Formulación 5 (5g de aloe vera) fue la mejor.

3.6.2 ASTM D 714

Tabla 21 Resultados con la norma ASTM D 714

FORMULACIONES	TAMAÑO	FRECUENCIA
F1 M1	8	MEDIO
F1 M2	6	MEDIO
F1 M3	4	MEDIO
F2 M1	8	POCOS
F2 M2	6	POCOS
F2 M3	4	POCOS
F3 M1	8	MEDIO
F3 M2	6	MEDIO
F3 M3	6	MEDIO DENSO
F6 M1	10	N/A
F6 M2	8	POCOS
F6 M3	8	POCOS

F4 M1	10	N/A
F4 M2	10	N/A
F4 M3	10	N/A
F5 M1	10	N/A
F5 M2	10	N/A
F5 M3	8	POCOS
T M1	6	POCOS
T M2	4	MEDIO
T M3	2	MEDIO DENSO

Como se puede observar la Formulación 4 (5g de nopal) fue la que no presento ampollamiento en los meses de prueba realizada, seguida de la Formulación 5 (5g de aloe vera), la cual si presentó pocos y chiquitas en el mes 3

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos de la investigación, se obtuvo lo siguiente:

Se realizaron 6 formulaciones, descritas en el proyecto y de las cuales según las normas ocupadas, la mejor fue la Formulación 4 con 5g de nopal en 100 ml de pintura alquidámica.

La caracterización se realizó mediante pruebas reológicas y las que presentaron mejores propiedades fueron la Formulación 4 y la Formulación 5.

A través de las normas ASTM se determinó qué tanto se inhibió la corrosión, dando por resultado que la mejor fue la Formulación 4, seguida la Formulación 5.

Cada una de las formulaciones que se determinaron pueden ser utilizadas para aplicarlas a diferentes superficies y acabados metálicos, en función de la mejora en la durabilidad que se desee obtener al variar los contenidos de nopal o aloe vera que se requiera.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Ashby y D. Jones, *Engineering materials 2: an introduction to microstructures, processing and design*, New York: 1st ed. Oxford, 1986.
- [2] World Steel Association, «worldsteel,» World Steel Association, 11 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.worldsteel.org/>. [Último acceso: 11 01 2016].
- [3] B. Salas y M. Wiener, *Corrosión y preservación de la infraestructura industrial*, México: Omnia Science, 2013.
- [4] Biblioteca digital ILCE, «Ciencia 3,» 12 02 2012. [En línea]. Available: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/121/htm/sec_6.htm. [Último acceso: 19 09 2016].
- [5] A. Vega, N. Ampuero, L. Díaz y R. Lemus, «El Aloe vera (aloe barbadensis miller) como componente de alimentos funcionales,» *Chi. Nutr.*, vol. 32, nº 3, pp. 2018-214, 2005.
- [6] Pulpa de Aloe, «Pulpa de Aloe,» Privada, 18 04 2012. [En línea]. Available: <http://pulpadealoe.blogspot.mx/2012/>. [Último acceso: 26 05 2016].
- [7] Falcon Venezuela, «Redalyc,» 12 01 2016. [En línea]. Available: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90480203>. [Último acceso: 26 05 2016].
- [8] Instituto Nacional de Ecología, «inecc,» inecc, 12 01 2016. [En línea]. Available: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/74/sabila.htm>. [Último acceso: 26 05 2016].
- [9] C. Sáenz y H. Berger, *Utilización agroindustrial del nopal*, Nueva York: Food & Agricultura Org., 2006.
- [10] Mondragón-Jacobo y S. Gonzales, *El nopal (Opuntia spp.) como forraje*, Roma: Food & Agriculture Org, 2003, 2003.
- [11] J. González Guzmán, S. González González, R. Souto Suárez y J. Santana Rodríguez, *Protección frente a la corrosión metálica con recubrimientos poliméricos estudio electroquímico y microelectroquímico*, La Laguna: Servicio de Publicaciones. Universidad de la Laguna , 2011.
- [12] Inpra Latina, «Consideraciones sobre secado y curado (II) /Pinturas y Recubrimientos,» 18 02 2016. [En línea]. Available: <http://www.inpratlatina.com/201211142596/articulos/pinturas-y->

- recubrimientos/consideraciones-sobre-secado-y-curado-ii.html.. [Último acceso: 26 05 2016].
- [13] Quiminet, «Conozca más sobre las resinas alquidálicas,» 18 08 2012. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/conozca-mas-sobre-las-resinas-alquidalicas-2862585.htm>. [Último acceso: 10 06 2016].
- [14] COMEX, «Getattachment,» 6 12 2000. [En línea]. Available: <http://www.comex.com.mx/getattachment/b558deac-31ac-4825-be38-aa53e23c41b2/.aspx/>. [Último acceso: 10 06 2016].
- [15] BYK, «intro Adherencia,» 06 05 2013. [En línea]. Available: http://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/physical-properties/es/Intro_Adherencia.pdf. [Último acceso: 11 06 2016].
- [16] Scribd, «Ensayos de Corrosión,» 09 11 2011. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/document/315638621/Ensayos-de-Corrosion>. [Último acceso: 08 10 2016].
- [17] D. Pasto y C. Johnson, Determinación de Estructuras Orgánicas, México: Reverte, 1981.
- [18] Espectroscopia, Espectroscopia infrarroja, Madrid: Alhambra, 1979.
- [19] Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Microscopia electrónica de barrido y micronálisis por rayos X, Madrid: Consejo Superior de Investigación Científica, 1996.
- [20] G. Nin, Introducción a la Microscopia Electrónica Aplicada a las Ciencias Biológicas, México: UNAM, 2000.
- [21] R. Bird, W. Stewart y E. Lightfoot, Fenómenos de Transporte, México: Limusa, 2007.
- [22] Conicet, «deiber1,» 01 02 2016. [En línea]. Available: <http://www.santafe-conicet.gov.ar/servicios/comunica/deiber1.htm>.. [Último acceso: 25 11 2016].
- [23] J. S. Ramírez Nava, «Introducción a la Reología de los alimentos,» *ReCiTeIA*, vol. 6, nº 1, p. 46, 2006.
- [24] ASTM, «ASTM610,» 01 12 1990. [En línea]. Available: WWW.ASTM.org. [Último acceso: 12 06 2017].
- [25] ASTM, «ASTM D 714,» 01 12 1990. [En línea]. Available: www.astm.org. [Último acceso: 11 06 2017].

- [26] Gobierno del Estado de Tabasco, «Aspectos sociodemográficos,» 23 06 2010. [En línea]. Available: <http://www.tabasco.gob.mx/estado/sociodemograficos.php>. [Último acceso: 25 02 2016].
- [27] Comex, «Comex, cartas,» 01 02 2016. [En línea]. Available: <http://www.comexnet.com.mx/cms/Files/Herramientas/Cartas%20t%C3%A9cnicas/Esmalt es/COMEX%20PRIMARIO%20No.%202.pdf>. [Último acceso: 12 11 2016].
- [28] Surface, «Surface preparation standards,» 01 02 2016. [En línea]. Available: https://protective.sherwin-williams.com/pdf/tools-charts-list/surface_preparation_standards.pdf. [Último acceso: 12 11 2016].
- [29] Cosasco, «ASTM_G1_Standard_Practice.pdf,» 15 02 2016. [En línea]. Available: http://www.cosasco.com/documents/ASTM_G1_Standard_Practice.pdf. [Último acceso: 23 06 2016].
- [30] ISO, «ISO 8565.2011 Metals and alloys-Atmospheric corrosio testing- General requirements,» 02 01 2016. [En línea]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8565:ed-2:v1>. [Último acceso: 23 11 2016].
- [31] ASTM, «ASTM G50-76(20039,» 20 01 2016. [En línea]. Available: <http://infostore.saiglobal.com/emea/details.aspx?ProductID=215129>. [Último acceso: 12 11 2016].
- [32] ISO, «ISO 11474:1998 Corrosión of metals and alloys-Corrosion tests in artificial atmosphere-Acclerated outdoor test by intermittent spraying of a salt solution (Scab Test),» 21 01 2016. [En línea]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=19426. [Último acceso: 21 11 2016].
- [33] ASTM, «ASTM G1-03-E Standard Practice for Prparing. Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens,» 21 01 2016. [En línea]. Available: <http://wenku.baidu.com/view/b387bafbfab069dc502201ef.html>. [Último acceso: 17 11 2016].
- [34] ISO, «ISO9223:2012 Corrosion of metals and alloys -- Corrosivity of atmospheres -- Classification, determination and estimation.,» 13 01 2016. [En línea]. Available: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=53499. [Último acceso: 11 11 2016].
- [35] F. d. L. Hijes y D. Lorente, Manual Básico de corrosión para ingenieros, México: EDITUM, 2004.

- [36] W. Callister, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, México: Reverte, 1996.
- [37] Diario Oficial de la Federación, «Gobierno de México,» 15 04 2013. [En línea]. Available: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5295912&. [Último acceso: 21 11 2016].
- [38] Edutecne, «Capítulo V 223-242.doc-A-TecPin_I_a_v.pdf,» 13 02 2016. [En línea]. Available: http://www.edutecne.utn.edu.ar/tecn_pinturas/A-TecPin_I_a_V.pdf.. [Último acceso: 21 11 2016].
- [39] Ecosur, «Apuntes MEB Curso 2010.pdf,» 13 12 2010. [En línea]. Available: <http://laboratorios.tap-ecosur.edu.mx/LMEB/APUNTES%20MEB%20CURSO%202010.pdf..> [Último acceso: 23 11 2016].
- [40] Comisión Venezolana e Normas Industriales, *Pinturas y barnices determinación de rochabilidad*, Caracas: Fondonorma, 1987.
- [41] Byk, «Intro_Adherencia.pdf,» 18 03 2015. [En línea]. Available: http://www.byk.com/fileadmin/byk/support/instruments/theory/physical-properties/es/Intro_Adherencia.pdf.. [Último acceso: 21 11 2016].
- [42] Tankpaint, «D3359-Substrate-Adhesion.pdf,» 11 03 2015. [En línea]. Available: <http://tankpaint.com/wp-content/uploads/D3359-Substrate-Adhesion.pdf..> [Último acceso: 22 11 2016].
- [43] *Pinturas y Recubrimientos, Consideraciones sobre scado y curado (II)*, México: Inpra Latina, 2016.
- [44] M. C. T.R., E. Angel Meraz, G. B.M y N. E. H.M., «Corrosividad atmosférica del cobre y del acero en dos localidades de Villahermosa, Tabasco,» *Ing. Investig. Tecnol*, vol. 16, nº 2, pp. 196-206, 2015.

ANEXOS



Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces¹

This standard is issued under the fixed designation D 610; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This test method covers the evaluation of the degree of rusting on painted steel surfaces. The visual examples which depict the percentage of rusting given in the written specifications form part of the standard. In the event of a dispute, the written definition prevails. These visual examples were developed in cooperation with SSPC: The Society for Protective Coatings to further standardization of methods.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Adjunct/SSPC: The Society for Protective Coatings*

SSPC-VIS 2/ASTM D 610 Standard Method of Evaluating Degrees of Rusting on Painted Steel Surfaces²

3. Significance and Use

3.1 The amount of rusting beneath or through a paint film is a significant factor in determining whether a coating system should be repaired or replaced. This test method provides a standardized means for quantifying the amount and distribution of visible surface rust.

3.2 The degree of rusting is evaluated using a zero to ten scale based on the percentage of visible surface rust.

3.3 The distribution of the rust is classified as spot rust, general rust, pinpoint rust or hybrid rust.

4. Interferences

4.1 The visual examples that are part of this test method and the associated rust-grade scale cover only rusting evidenced by visible surface rust.

4.2 The use of the visual examples requires the following cautions:

4.2.1 Some finishes are stained by rust. This staining must not be confused with the actual rusting involved.

4.2.2 Accumulated dirt or other material may make accurate determination of the degree of rusting difficult.

4.2.3 Certain types of deposited dirt that contain iron or iron compounds may cause surface discoloration that should not be mistaken for corrosion.

4.2.4 Failure may vary over a given area. Discretion must therefore be used when selecting a single rust grade or rust distribution that is to be representative of a large area or structure, or in subdividing a structure for evaluation.

4.2.5 The color of the finish coating should be taken into account in evaluating surfaces as failures will be more apparent on a finish that shows color contrast with rust, such as used in these reference standards, than on a similar color, such as an iron oxide finish.

5. Procedure

5.1 Select an area to be evaluated.

5.2 Determine the type of rust distribution using definitions in Table 1 and visual examples in Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3.

5.3 Estimate percentage of surface area rusted using the visual examples in Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3 or SSPC-VIS 2, or both, by electronic scanning techniques or other method agreed upon by contracting parties.

NOTE 1—The numerical rust grade scale is an exponential function of the area of rust. The rust grade versus area of rust is a straight line plot on semilogarithmic coordinate from rust grade 10 to rust grade 4. The slope of the curve was changed at 10 % of the area rusted to 100 % rusted to permit inclusion of complete rusting on the 0 to 10 rust scale.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D01 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and is the direct responsibility of Subcommittee D01.46 on Industrial Protective Coatings.

This test method has been jointly approved by ASTM and SSPC: The Society for Protective Coatings.

Current edition approved May 10, 2001. Published July 2001. Originally published as D 610 – 41. Last previous edition D 610 – 95.

² Colored visual examples are available at a nominal cost from ASTM Headquarters (request Adjunct ADJD0610a), SSPC Publication No. 00-08 from SSPC: The Society for Protective Coatings, 40 24th Street, Sixth Floor, Pittsburgh, PA 15213, www.sspc.org.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

TABLE 1 Scale and Description of Rust Ratings

Rust Grade	Percent of Surface Rusted	Visual Examples		
		Spot(s)	General (G)	Pinpoint (P)
10	Less than or equal to 0.01 percent		None	
9	Greater than 0.01 percent and up to 0.03 percent	9-S	9-G	9-P
8	Greater than 0.03 percent and up to 0.1 percent	8-S	8-G	8-P
7	Greater than 0.1 percent and up to 0.3 percent	7-S	7-G	7-P
6	Greater than 0.3 percent and up to 1.0 percent	6-S	6-G	6-P
5	Greater than 1.0 percent and up to 3.0 percent	5-S	5-G	5-P
4	Greater than 3.0 percent and up to 10.0 percent	4-S	4-G	4-P
3	Greater than 10.0 percent and up to 16.0 percent	3-S	3-G	3-P
2	Greater than 16.0 percent and up to 33.0 percent	2-S	2-G	2-P
1	Greater than 33.0 percent and up to 50.0 percent	1-S	1-G	1-P
0	Greater than 50 percent		None	

Rust Distribution Types:

S: Spot Rusting—Spot rusting occurs when the bulk of the rusting is concentrated in a few localized areas of the painted surface. The visual examples depicting this type of rusting are labeled 9-S thru 1-S (See Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3).

G: General Rusting—General rusting occurs when various size rust spots are randomly distributed across the surface. The visual examples depicting this type of rusting are labeled 9-G thru 1-G. (See Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3).

P: Pinpoint Rusting—Pinpoint rusting occurs when the rust is distributed across the surface as very small individual specks of rust. The visual examples depicting this type of rusting are labeled 9-P through 1-P. (See Fig. 1, Fig. 2, and Fig. 3).

H: Hybrid Rusting—An actual rusting surface may be a hybrid of the types of rust distribution depicted in the visual examples. In this case, report the total percent of rust to classify the surface. 9-H through 1-H.

5.4 Use percentage of surface area rusted to identify rust grade (see Table 1). Assign rust rating using rust grade of 0-10 followed by the type of rust distribution identified by *S* for spot, *G* for general, *P* for pinpoint or *H* for Hybrid.

5.5 The visual examples are not required for use of the rust-grade scale since the scale is based upon the percent of the area rusted and any method of assessing area rust may be used to determine the rust grade.

6. Report

- 6.1 Identify sample or area evaluated.
- 6.2 Report rust grade using rating of 0-10.

6.3 Report rust distribution using *S* for Spot, *G* for General, *P* for Pinpoint and *H* for Hybrid.

7. Precision and Bias

7.1 No precision or bias statement can be made for this test method.

8. Keywords

- 8.1 corrosion; rusting

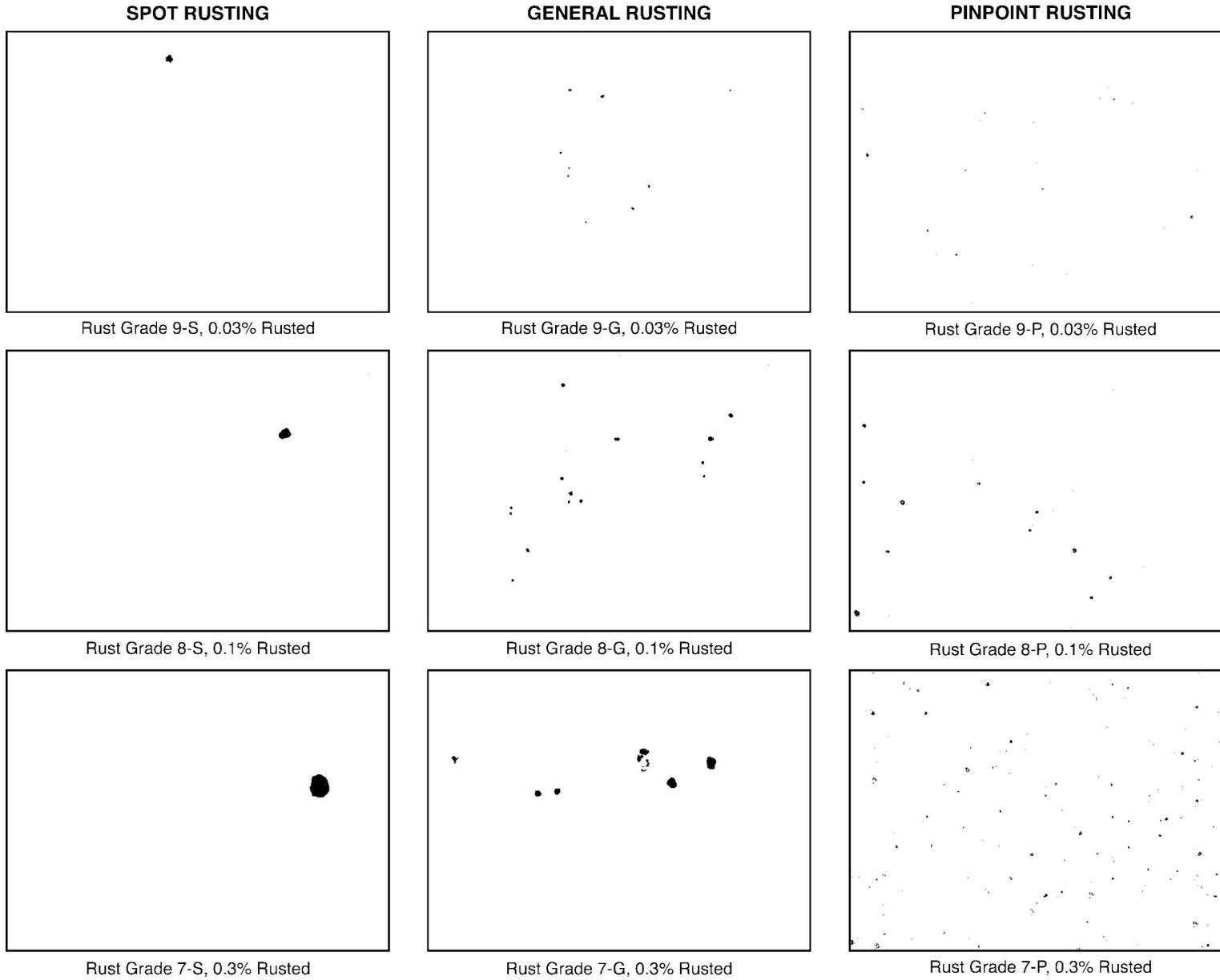
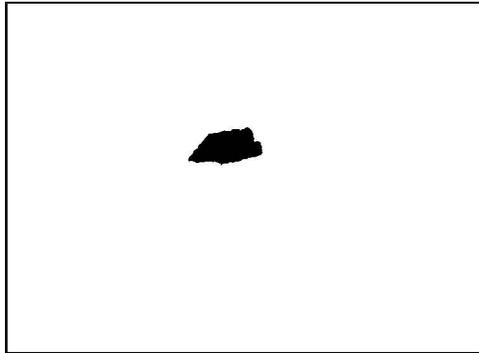


FIG. 1

FIG. 1 Examples of Area Percentages

SPOT RUSTING



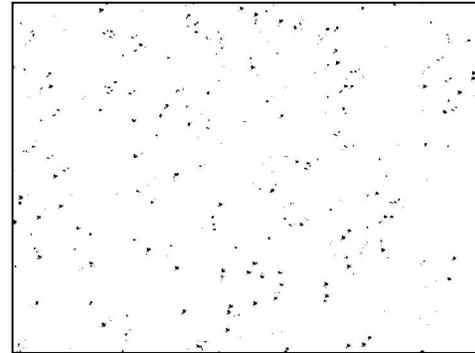
Rust Grade 6-S, 1% Rusted

GENERAL RUSTING

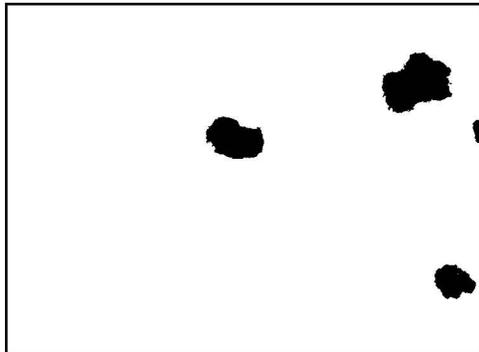


Rust Grade 6-G, 1% Rusted

PINPOINT RUSTING



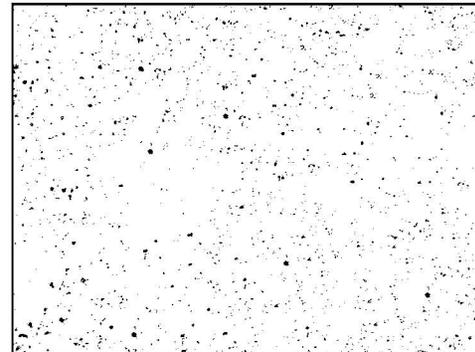
Rust Grade 6-P, 1% Rusted



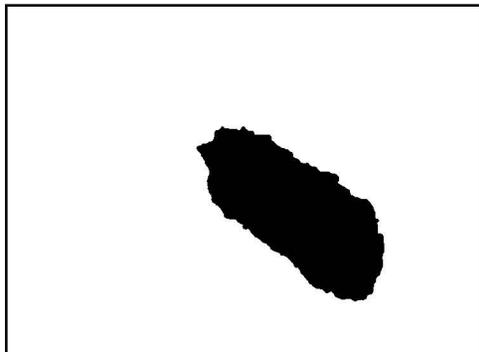
Rust Grade 5-S, 3% Rusted



Rust Grade 5-G, 3% Rusted



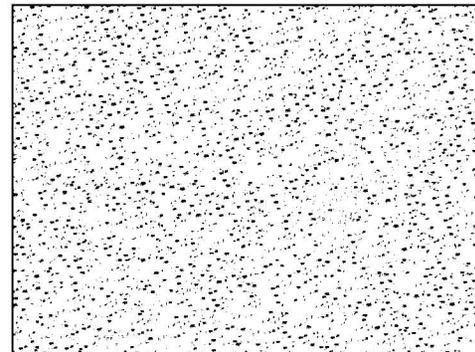
Rust Grade 5-P, 3% Rusted



Rust Grade 4-S, 10% Rusted



Rust Grade 4-G, 10% Rusted

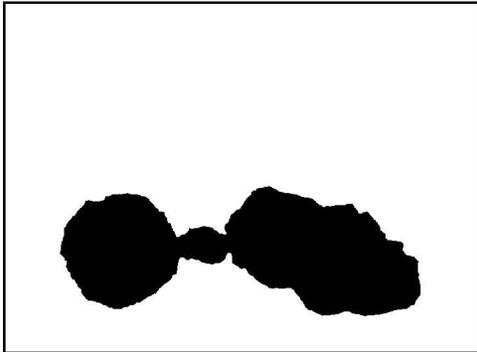


Rust Grade 4-P, 10% Rusted

FIG. 2

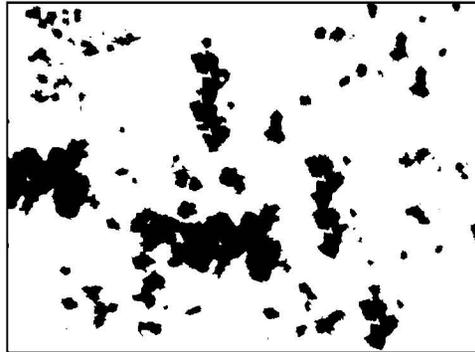
FIG. 2 Examples of Area Percentages

SPOT RUSTING



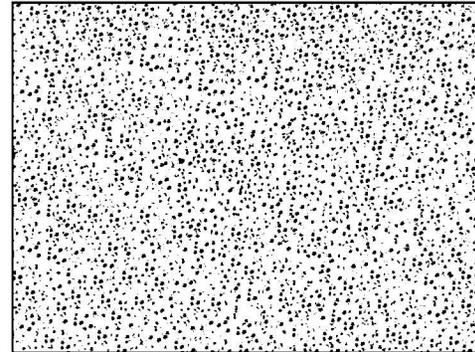
Rust Grade 3-S, 16% Rusted

GENERAL RUSTING

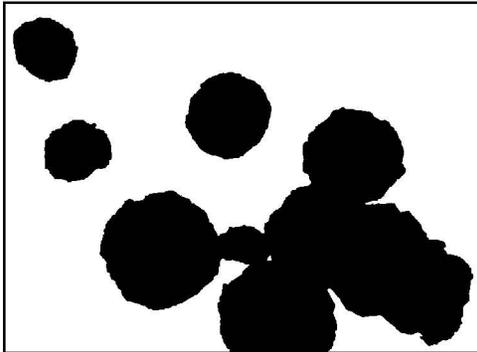


Rust Grade 3-G, 16% Rusted

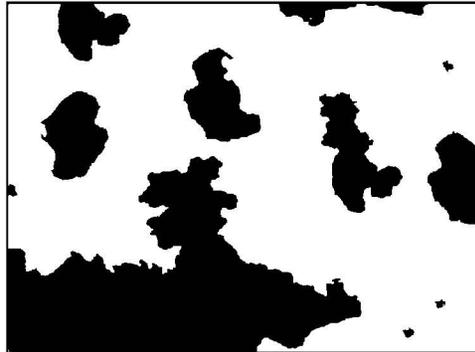
PINPOINT RUSTING



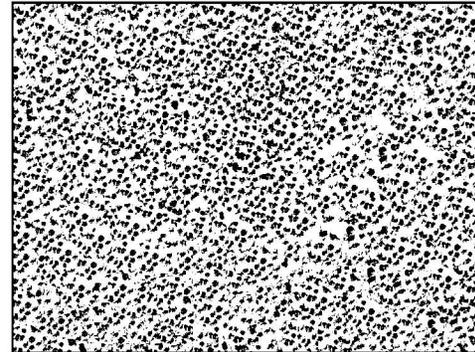
Rust Grade 3-P, 16% Rusted



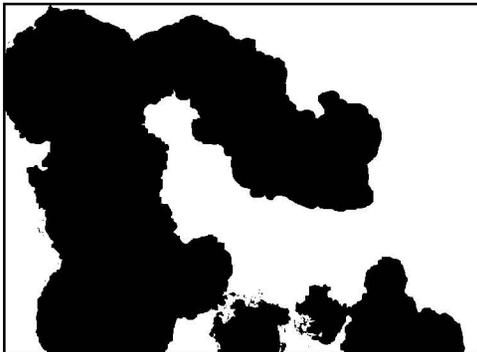
Rust Grade 2-S, 33% Rusted



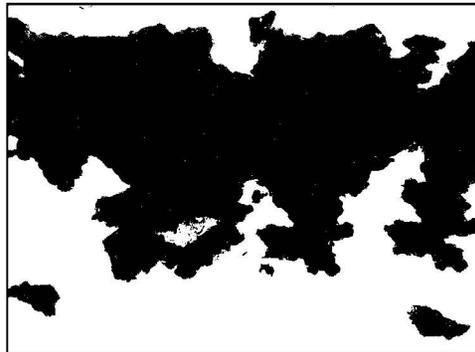
Rust Grade 2-G, 33% Rusted



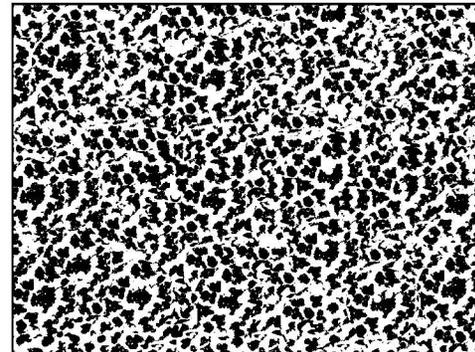
Rust Grade 2-P, 33% Rusted



Rust Grade 1-S, 50% Rusted



Rust Grade 1-G, 50% Rusted



Rust Grade 1-P, 50% Rusted

FIG. 3

FIG. 3 Examples of Area Percentages

SUMMARY OF CHANGES

Committee D01 has identified the location of selected changes to this standard since the last date of issue that may impact the use of this standard.

- (1) This test method revised in 2001 to include the rust distribution information.
- (2) The visual examples were changed from nine pictorial representation to twenty-seven rust grade and rust distribution visual examples.
- (3) Previously numerical rust grade rating of 0-10 were used. Now rust grade of 0-10 are followed by rust distribution of *S*, *G*, *P* or *H*

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).



Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints¹

This standard is issued under the fixed designation D 714; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method employs photographic reference standards to evaluate the degree of blistering that may develop when paint systems are subjected to conditions which will cause blistering. While primarily intended for use on metal and other nonporous surfaces, this test method may be used to evaluate blisters on porous surfaces, such as wood, if the size of blisters falls within the scope of these reference standards. When the reference standards are used as a specification of performance, the permissible degree of blistering of the paint system shall be agreed upon by the purchaser and the seller.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Significance and Use

2.1 A phenomenon peculiar to painted surfaces is the formation of blisters relative to some system weakness. This test method provides a standard procedure of describing the size and density of the blisters so that comparisons of severity can be made.

3. Reference Standards

3.1 The photographic reference standards are glossy prints.² Figs. 1-4 are reproductions of these standards and are included to illustrate two characteristics of blistering: size and frequency.

3.2 *Size*—Reference standards have been selected for four steps as to size on a numerical scale from 10 to 0, in which No. 10 represents no blistering. Blistering standard No. 8 represents the smallest size blister easily seen by the unaided eye. Blistering standards Nos. 6, 4, and 2 represent progressively larger sizes.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D01 on Paint and Related Coatings, Materials, and Applications and is the direct responsibility of Subcommittee D01.25 on Evaluation of Weathering Effects.

Current edition approved Dec. 10, 2002. Published February 2003. Originally approved in 1943. Last previous edition approved in 2000 as D 714 – 87 (2000).

² Glossy prints of the photographic reference standards showing types of blistering are available at a nominal charge from ASTM International. Order Adjunct ADJD0714.

3.3 *Frequency*—Reference standards have been selected for four steps in frequency at each step in size, designated as follows:

Dense, *D*,
Medium dense, *MD*,
Medium, *M*, and
Few, *F*.

NOTE 1—A quantitative physical description of blistering would include the following characteristics determined by actual count:

Size distribution in terms of mensuration units,
Frequency of occurrence per unit area,
Pattern of distribution over the surface, and
Shape of blister

For the usual tests, an actual count is more elaborate than is necessary.

4. Procedure

4.1 Subject the paint film to the test conditions agreed upon by the purchaser and the seller. Then evaluate the paint film for the degree of blistering by comparison with the photographic reference standards in Figs. 1-4.

5. Report

5.1 Report blistering as a number (Note 2) designating the size of the blisters and a qualitative term or symbol indicating the frequency.

5.2 Intermediate steps in size or frequency of blisters may be judged by interpolation.

5.3 When the distribution of blisters over the area has a nonuniform pattern, use an additional phrase to describe the distribution, such as “small clusters,” or “large patches.”

NOTE 2—The number refers to the largest size blister that is numerous enough to be representative of the specimen. For example, photographic standard No. 4, “Dense,” has blisters ranging in size from about No. 7 to No. 4, inclusive.

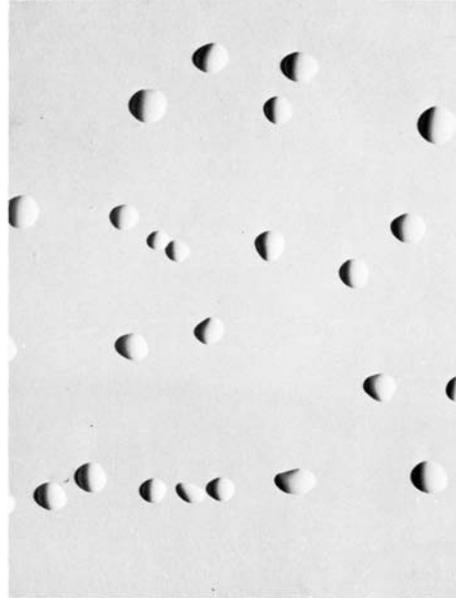
5.4 The pictorial representations in this standard which are published in the Book of Standards are sufficient in order to conduct the evaluation. It is preferable however, to use the original photographs or drawings when available.

6. Keywords

6.1 blistering; corrosion; evaluations; reference standards

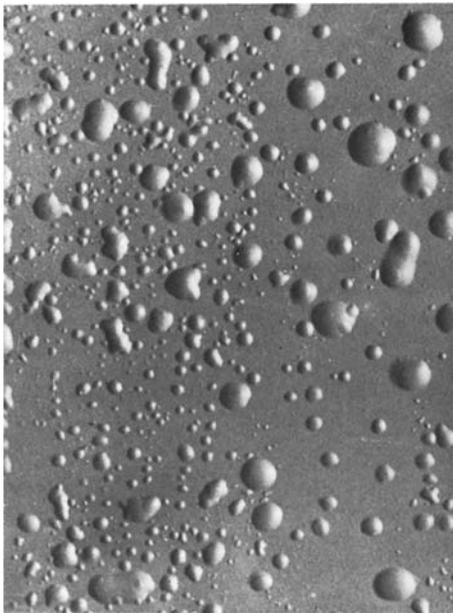


Few



Medium

FIG. 1 Blister Size No. 2

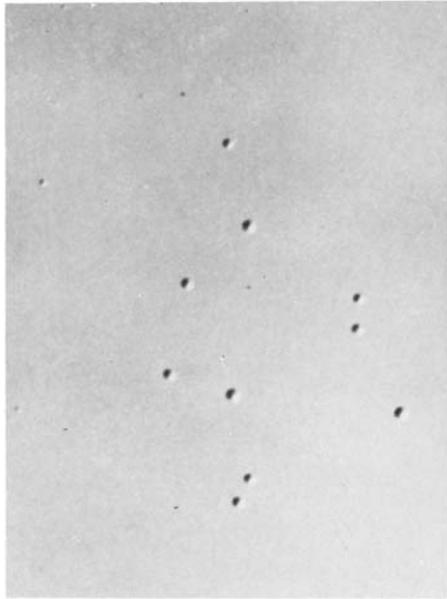


Medium Dense

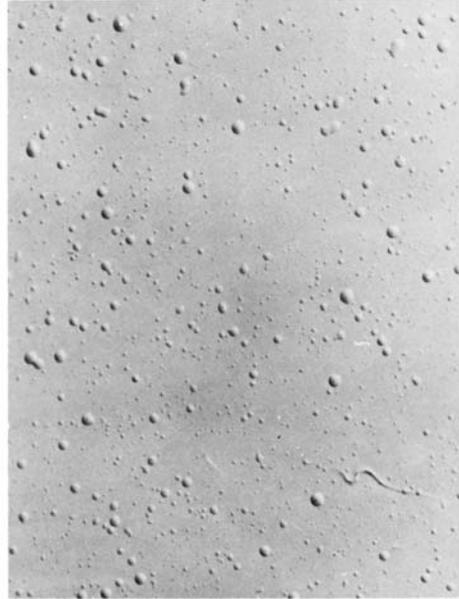


Dense

FIG. 1 (continued)

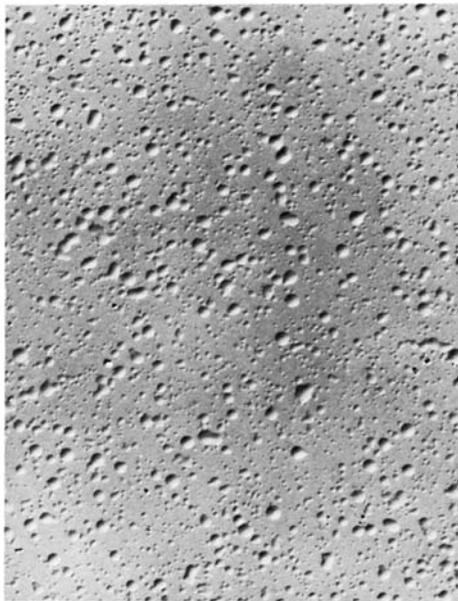


Few



Medium

FIG. 2 Blister Size No. 4

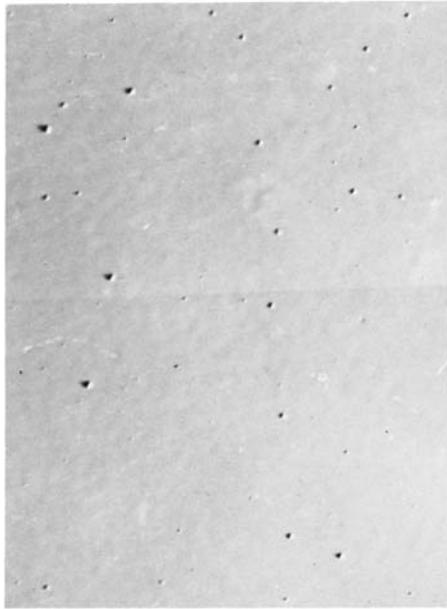


Dense

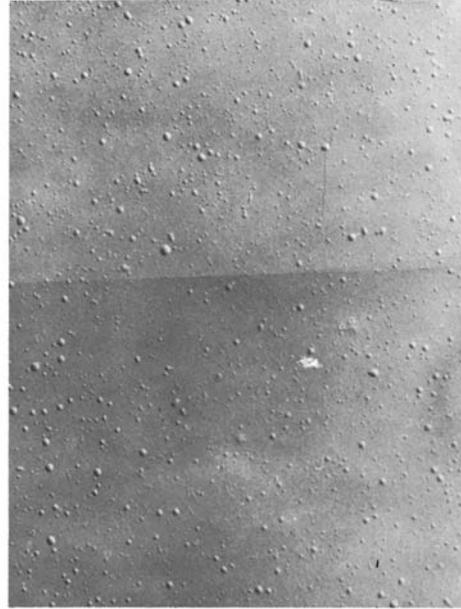


Dense

FIG. 2 (continued)

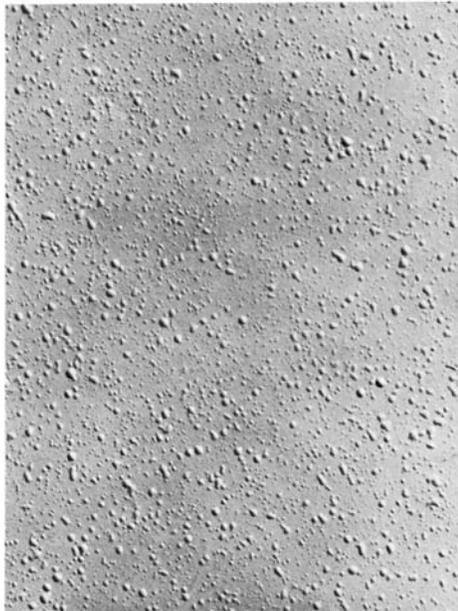


Few

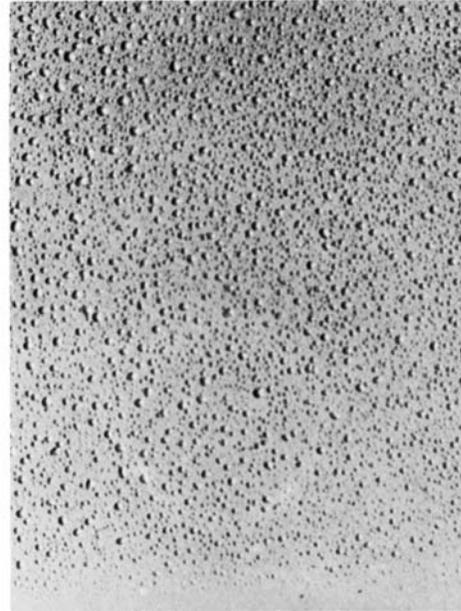


Medium

FIG. 3 Blister Size No. 6

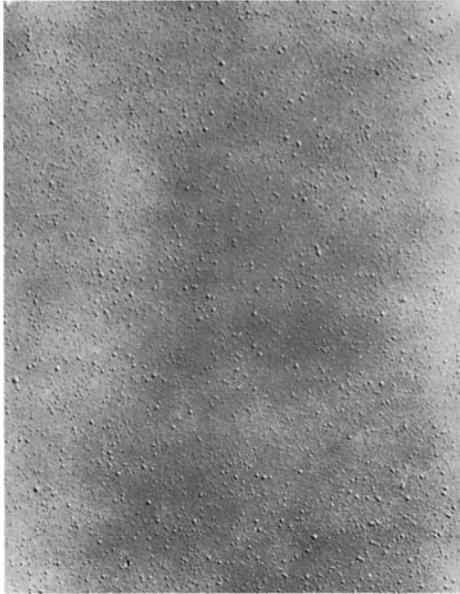


Medium Dense

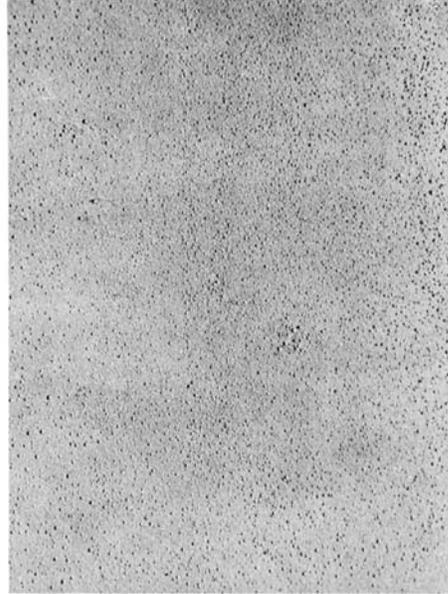


Dense

FIG. 3 (continued)



Medium Dense

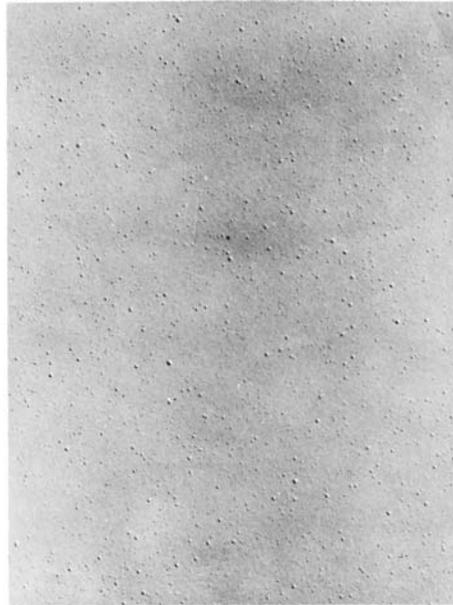


Dense

FIG. 4 (continued)



Few



Medium

FIG. 4 Blister size No. 8

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).