

OBTENCIÓN DE UN RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO A PARTIR DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO



ISMAEL DE JESÚS BENÍTEZ CONTRERAS
JORGE ANDRÉS VÉLEZ DÍAZ

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.
2013

**OBTENCIÓN DE UN RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO A
PARTIR DE POLIESTIRENO EXPANDIDO RECICLADO**



ISMAEL DE JESÚS BENÍTEZ CONTRERAS
JORGE ANDRÉS VÉLEZ DÍAZ

Proyecto de Grado para optar al título
de Ingeniero Químico

Director:

Ing. Pedro Javier Meza Castellar

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C.
2013

Nota de Aceptación:

Firma del Director de Programa

Firma del Evaluador

Firma del Evaluador

Cartagena de Indias D. T. y C., 15 de Marzo de 2013

DEDICATORIA

Este trabajo de grado lo dedico con todo mi amor y cariño:

A Dios, por haberme dado ese regalo tan maravilloso, mi vida, por brindarme su luz y sabiduría, y permitirme culminar con éxito esta carrera tan hermosa; Ingeniería Química.

A Mi Madre Marta, por ser esa persona que me trajo al mundo, que me ha enseñado los valores y principios para ser una buena persona, y me ha tratado con mucho amor y cariño.

A Mi Padre Ismael, por ser mi motivo de inspiración y de admiración, quien me llevo a amar la ciencia, y a ser una persona responsable, y dedicada a mis estudios.

A Mis Hermanos, Byron, Andrés y Sergio, continuando con el legado de mi hermano mayor y siendo un vivaz ejemplo para mis hermanitos transmitiéndoles buenos valores y principios para que algún día puedan alcanzar sus metas.

A mi tía Norma, por su apoyo, confianza y sus maravillosos consejos que me alientan a continuar cada día por el camino correcto.

A mi tía Carmen Lucia, por ayudarme a acercarme y conocer a Dios para que cada día me llene de su luz y sabiduría, y así ser una persona próspera, exitosa y forjadora de las buenas costumbres.

Y especialmente a mis amigos, maestros y a cada una de las personas que me ayudaron para que este gran sueño se hiciera realidad.

Ismael de Jesús Benítez Contreras

Este trabajo de grado lo dedico con todo mi cariño, aprecio y de todo corazón:

A Dios, por darme el regalo tan precioso y hermoso de la vida y por siempre acompañarme e iluminar mi entendimiento durante todo este arduo camino que implicó el llegar a ser un Ingeniero Químico.

A mis padres Jorge Vélez Zárate y Maribel Díaz Cueter, quienes siempre han sido mi apoyo incondicional, un gran ejemplo en mi vida y mi inspiración para llegar a ser un excelente ser humano, lleno de muchos valores, y sobre todo un gran profesional, lleno siempre de muchas expectativas y grandes metas. Los amo con todo mi corazón.

A mi hermanita María Paula Vélez Díaz, quien es un gran apoyo en mi vida y mi gran inspiración para siempre ser una excelente persona y dejar a ella el mejor legado que pueda brindar a su crecimiento personal de mi parte para que siempre vea en mí un gran ejemplo de vida. Te Amo hermanita hermosa.

A la familia Vélez Chan, quienes de alguna manera siempre me enseñaron a luchar arduamente por todas las metas que pongamos en nuestra vida y a siempre seguir adelante. En especial a mi primo Roberto Vélez Chan, quien siempre ha sido un motivo de orgullo y al mismo tiempo un ejemplo para mí, para mostrarle que en esta vida si nos lo proponemos nos podemos llenar de muchísimos éxitos. Te amo primito.

A la familia Cueter Quintana, quienes siempre creyeron en mí y que desde muy lejos o muy cerca me brindaron su consejo y apoyo en todo momento. A mi abuela Nancy Cueter y a mi tía Daliz Cueter, a quienes las considero por igual como si fueran mis madres por el gran ejemplo que siempre me han brindado.

A la familia Velez Zarate, para quienes siempre he representado un orgullo de ser parte de la familia, en especial para mis abuelos Jorge Vélez Guzmán e Hilda Luz Zárate. Los amo.

A mis familiares que hoy no están conmigo, pero que desde lo alto me guiaron e iluminaron mi entendimiento en todo momento para siempre salir adelante. Los amo tía Miriam Cueter, tío Jorge Cueter, tío Vicente Montenegro, tío Félix Ayala y demás familiares difuntos.

A mi tío Melhen Yidios Cueter, quien es mi ejemplo de vida y siempre me apoyó durante toda mi carrera, gracias a él pude presentar mi proyecto de grado como ponencia en el XXII Encuentro Nacional de Estudiantes de Ingeniería Química y de Procesos – Cali 2012. El premio otorgado como mejor ponencia también te lo dedico tío. Te amo.

A mi querido amigo Juan Sebastián Goenaga Lozano, quien a pesar de la distancia siempre me brindo su apoyo, dándome muchos ánimos para nunca desfallecer y así salir adelante. Te quiero mucho mi hermano del alma.

A mis amigos y compañeros del programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena, que este sea un ejemplo a seguir para todos ustedes. Éxitos ingenieros.

Jorge Andrés Vélez Díaz

AGRADECIMIENTOS

Los Autores expresan sus más sinceros agradecimientos:

A Dios por iluminarnos, darnos sabiduría y fortaleza para la terminación de este proyecto.

A nuestros padres por su apoyo incondicional, pues sin ellos no hubiera sido posible este proyecto.

A nuestros evaluadores el Ingeniero Rodrigo Ricardo Paredes y la Ingeniera Gezira de Ávila Montiel por todas las sugerencias y consejos que nos dieron a lo largo del proyecto.

A nuestro tutor el Ingeniero Pedro Meza Castellar, por el tiempo y la gran ayuda que nos brindó en la elaboración y perfeccionamiento de este.

Al Ingeniero Alex Restrepo Carvajal, por habernos brindado una excelente atención y por supuesto por haber realizado un excelente servicio de la prueba de cámara de niebla salina en el Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales de la Universidad de Antioquia.

A todas las personas, familiares, docentes, amigos y compañeros que de una u otra forma participaron leyendo, opinando y corrigiendo durante el transcurso de este proyecto.

Muchas gracias a todos.

CONTENIDO

pág.

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
HIPOTESIS	6
1. OBJETIVOS Y ALCANCE	7
1.1. OBJETIVO GENERAL.....	7
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
1.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	7
2. MARCO DE REFERENCIA	8
2.1. ESTADO DEL ARTE	8
2.1.1. Antecedentes	8
2.1.2. Estado actual	11
2.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	14
2.2.1. Corrosión	14
2.2.2. Métodos de control y prevención de la corrosión	14
2.2.3. Tipos de recubrimientos	16
2.2.3.1. Recubrimientos anticorrosivos.....	20
2.2.3.2. Composición de los recubrimientos	20
2.2.4. Resinas.....	20
2.2.4.1. Poliestireno	21
2.2.4.2. Poliestireno expandido	23
2.2.5. Solventes.....	24
2.2.5.1. Limoneno	25
2.2.6. Pigmentos	25

2.2.6.1. Dióxido de titanio	26
2.2.6.2. Oxido de zinc	27
2.2.7. Aditivos	27
2.2.7.1. Octoato de cobalto.....	28
2.2.8. Estándar de pruebas para pinturas.....	28
2.2.8.1. Tipos de pruebas	29
2.2.8.2. Cámara de niebla salina	29
3. METODOLOGÍA	31
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	31
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	32
3.4. VARIABLES	32
3.5. PROCEDIMIENTO	35
3.5.1. Diseño experimental.....	35
3.5.2. Evaluación del potencial anticorrosivo	37
3.5.3. Comparación del recubrimiento anticorrosivo	40
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
4.1. DESARROLLO DE LAS FORMULACIONES PARA LA OBTENCION DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO	42
4.2. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ANTICORROSIVO DEL RECUBRIMIENTO .	47
4.2.1. Interpretación de los resultados	47
4.2.2. Análisis estadístico de los resultados	48
4.3. COMPARACION DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO.....	53
5. CONCLUSIONES.....	56
6. RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS	66

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades físicas del poliestireno expandido	23
Tabla 2. Propiedades mecánicas del poliestireno expandido	24
Tabla 3. Operacionalización de las variables.	34
Tabla 4. Diseño experimental.....	36
Tabla 5. Formulaciones desarrolladas.....	36
Tabla 6. Resultados de las formulaciones	39
Tabla 7. Escala y descripción de los grados de herrumbre	40
Tabla 8. Composición porcentual de los niveles	42
Tabla 9. Porcentajes de superficie corroída después de 125 horas.....	47
Tabla 10. Resultados comparativos del ensayo en camara de niebla salina	55

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Estructura molecular del poliestireno	22
Figura 2. Camara de niebla salina	30
Figura 3. Resultados generales del ensayo de cámara de niebla salina	38
Figura 4. Recipientes para las formulaciones.....	43
Figura 5. Mezclado final de la formulación	44
Figura 6. Placas utilizadas para la aplicación del recubrimiento.....	45
Figura 7. Recubrimiento anticorrosivo comercial	45
Figura 8. Placas con indentación en “X”	46
Figura 9. Embalaje de las placas	46
Figura 10. Resultados del ensayo en cámara de niebla salina.....	48
Figura 11. Diagrama de pareto estandarizado para superficie no corroída.....	49
Figura 12. Probeta No. 10	53
Figura 13. Probeta No. 17	53

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Norma ASTM – B 117 – 03.....	67
ANEXO B. Norma ASTM – D 610 – 01.....	77
ANEXO C. Cotización de ensayo de cámara de niebla salina	83
ANEXO D. Informe de resultados de ensayo de cámara de niebla salina	85
ANEXO E. Factura del ensayo de cámara de niebla salina.....	102

RESUMEN

El uso de solventes orgánicos como materia prima en la fabricación de diversos recubrimientos aplicados para la prevención y control de la corrosión en las diferentes industrias, y las grandes cantidades de poliestireno expandido (Icopor) que se desechan después de ser utilizadas, han generado gran controversia a nivel mundial debido a los efectos nocivos que tienen sobre la salud humana y el medio ambiente. En los últimos años, se ha utilizando un solvente de origen natural llamado limoneno, el cual es extraído de la cascara de cítricos como la naranja, y que ha demostrado, de acuerdo a diversas investigaciones, una alta capacidad para disolver la espuma de poliestireno. Aprovechando esta propiedad, surge la idea de obtener un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado utilizando limoneno como solvente en la formulación.

Para el propósito de este proyecto se planteó un diseño experimental que consta inicialmente del desarrollo de las diferentes formulaciones que se obtuvieron en función de diferentes cantidades de poliestireno expandido reciclado, limoneno, dióxido de titanio y óxido de zinc, utilizando una cantidad constante de octoato de cobalto como aditivo. Al término de la preparación de cada formulación se procedió a evaluar el potencial anticorrosivo del recubrimiento sobre placas metálicas de acero al carbono mediante un ensayo de cámara de niebla salina, donde se obtuvieron buenos resultados en las propiedades anticorrosivas de las distintas formulaciones del recubrimiento, destacándose especialmente la formulación No. 10, debido a que la probeta en la que se aplicó presentó una buena apariencia física y un bajo porcentaje de superficie corroída. Al final de la fase experimental, se comparó el recubrimiento obtenido con un recubrimiento comercial en cuanto a su eficiencia y capacidad para la prevención y control de la corrosión, de lo cual se pudo concluir que el recubrimiento desarrollado en este proyecto (No. 10) es más eficiente en el control de la corrosión, debido a que la probeta a la que fue aplicado, solo presentó un 10% de superficie corroída, frente al 50 % de superficie corroída de la probeta pintada con el recubrimiento comercial.

Palabras Clave: Corrosión, Recubrimiento, Poliestireno Expandido, Limoneno.

ABSTRACT

The use of organic solvents as feedstock in the manufacture of various coatings applied to the prevention and control of corrosion in different industries, and large quantities of expanded polystyrene (Styrofoam) that are discarded after being used, have generated much controversy worldwide due to the harmful effects they have on human health and the environment. In recent years, it has been using a natural solvent called limonene, which is extracted from the peel of citrus fruits such as orange, and has proved, according to various investigations, a high capacity to dissolve polystyrene foam. Taking advantage of this property, arises the idea of getting a corrosion coating from recycled polystyrene using limonene as a solvent in the formulation.

For the purpose of this project was considered an experimental design which initially consists of the development of different formulations that were obtained in function of different quantities of recycled expanded polystyrene, limonene, titanium dioxide and zinc oxide, using a constant amount cobalt octoate as additive. After the preparation of each formulation we proceeded to evaluate the potential anti-corrosive coating on metal plates of carbon steel by an assay of salt spray chamber, where good results were obtained in the anticorrosive properties of different coating formulations, including particularly the formulation No. 10, because the probe in which it was applied presented a good appearance and a low percentage of corroded surface. At the end of the experimental phase, the coating obtained was compared with a commercial coating in terms of efficiency and capacity for prevention and corrosion control, of which it could be concluded that the coating developed in this project (No. 10) is more efficient in the control of corrosion, because the probe in which it was applied, only showed a 10% of corroded surface, compared with the 50% corroded surface of the probe painted with commercial coating.

Keywords: Corrosion, Coating, Expanded Polystyrene, Limonene.

INTRODUCCIÓN

Los problemas generados por la corrosión son frecuentes en muchas actividades, tales como la industria química, petrolífera, petroquímica, naval, de construcción civil, automovilística, conservación de monumentos históricos, entre otras (Gudze y Melchers, 2008; Vashi y Kadiya, 2009). Por esta razón, la economía se ve afectada por enormes costos a causa de la corrosión y se estima que corresponden del 2 al 4% del producto interno bruto de un país industrializado (Huu, 2004; Ahmad, 2006), lo que muestra la relevancia de adelantar investigaciones en este campo.

Una de las técnicas más utilizadas para el control y prevención de la corrosión es el uso de recubrimientos (Roberge, 2000; NACE International, 2002; Schweitzer, 2007; Uhlig, 2008), debido a su bajo costo, disponibilidad, facilidad de aplicación y mantenimiento en comparación con otras técnicas. Para la fabricación de estos, las materias primas utilizadas en su gran mayoría son derivados del petróleo, lo que implica un alto impacto ambiental durante su producción y su posterior aplicación, siendo el uso de solventes en las formulaciones el principal problema, por ser compuestos orgánicos volátiles, que generan enfermedades en el ser humano (Kelly, 2002; Uhlig, 2008) y contribuyen a serios problemas ambientales tales como el calentamiento global. Ante esta situación, las actuales investigaciones están encaminadas a la obtención de recubrimientos que generen el menor impacto ambiental posible, en los que se haga uso de materias primas amigables con el medio ambiente.

Hoy en día, la diversidad de impactos ambientales que son generados por las crecientes demandas de recursos provenientes del sector industrial, así como el diseño de nuevos materiales, procesos y productos, ha provocado un aumento en la cantidad y diversidad de residuos generados por las empresas. El reciclaje y aprovechamiento de los residuos plásticos y materiales sintéticos a nivel mundial se ha convertido en una de las grandes tendencias en materia de investigación (Subramanian, 2000; Arvanitoyannis, 2001; Kim, 2002), no solo desde el punto de vista de la minimización de las cantidades generadas, sino

también desde la reutilización de los mismos para disminuir la presión y demanda sobre los recursos naturales.

Es por ello, que la manipulación y tratamiento de desechos como los plásticos y sus derivados es un factor fundamental, para remediar diversos problemas generados al medio ambiente. Entre los polímeros que poseen una gran demanda a nivel mundial se encuentra el poliestireno expandido (EPS) (Aarnio, 2008; Arvanitoyannis, 2008), más conocido en nuestro país como Icopor. Este útil, versátil, pero contaminante material, tiene un sin número de utilidades en nuestra vida diaria, lo que hace que su producción, y por ende su uso y posterior disposición como residuo, aumente cada día. En los últimos años se han adelantando investigaciones (Swistek, 1996; Karaduman, 2002; Kan, 2009; Hattori, 2010; Shikata, 2011; Song, 2010; Suyama, 2010) encaminadas a su reciclaje y aprovechamiento para la obtención de resinas utilizadas como materia prima en el reprocesamiento de éstas.

Debido a problemas como estos, la comunidad y el desarrollo económico de la ciudad de Cartagena de Indias también se ven seriamente afectados, por tanto surge la idea de innovar en los métodos de reciclaje del PS expandido para mitigar el daño ambiental, que se produce a causa de estos residuos, y buscar nuevos mecanismos para la prevención y el control de la corrosión, ya que a consecuencia de su ubicación geográfica, en zona costera, el fenómeno corrosivo afecta de manera notable estructuras de tipo civil e industrial.

Entre las materias primas amigables con el medio ambiente, se pueden mencionar muchas de origen natural, que han tenido una gran utilidad en diferentes campos de la industria química, tales como el limoneno, el cual es un solvente natural extraído de forma comercial de cáscara de cítricos como las naranjas.

El limoneno, debido a su baja toxicidad en humanos, es una alternativa segura en comparación a los peligrosos solventes derivados del petróleo, que se utilizan hoy en día en la formulación de los recubrimientos (Achilias, 2009; Garcia, 2009a; Garcia, 2009b).

Algunas de las aplicaciones más recientes de este compuesto están en el campo de la medicina y en la fabricación de productos farmacéuticos (Morrison y Boyd, 1998).

La Universidad de Cartagena, dado a su nivel de calidad y prestigio, puede impulsar el desarrollo de este tipo de proyectos, no solo con el fin de generar beneficios económicos para la institución, debido a la cantidad de dinero que invierten las empresas en este problema, sino también con la garantía de crear nuevos vínculos o fortalecer los que posea la universidad con las diferentes empresas e industrias de la ciudad y la región. Es por esto que a nivel local, en el campo de la ingeniería química, es necesario adelantar investigaciones sobre el uso de poliestireno expandido reciclado como resina en la formulación de recubrimientos anticorrosivos, no solo con el fin del control de la corrosión, sino también de reducir la contaminación debido a esta espuma de polímero y así comprobar la hipótesis sobre la efectividad de los recubrimientos anticorrosivos basados en resinas de poliestireno expandido reciclado y limoneno como solvente en el control de la corrosión y la conservación del medio ambiente.

En la presente investigación, el Grupo de Investigación del Programa de Ingeniería Química (GIPIQ), en su línea de Tecnologías Limpias y mediante el semillero de Corrosión, desarrolló un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado y limoneno como principales ingredientes de la formulación, lo cual brinda la oportunidad de encontrar una solución a dos grandes problemas a nivel local. Posterior a esto, se evaluó su eficiencia anticorrosiva mediante un ensayo de cámara de niebla salina, y finalmente se comparó su eficiencia anticorrosiva teniendo en cuenta un recubrimiento comercial.

HIPOTESIS

Un recubrimiento anticorrosivo obtenido a partir de materias primas como el poliestireno expandido y limoneno es una alternativa apropiada y diferente de los recubrimientos anticorrosivos comerciales para prevenir la corrosión y conservar el medio ambiente.

1. OBJETIVOS Y ALCANCE

1.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado utilizando limoneno como solvente para la prevención y el control de la corrosión.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar la mejor formulación para la obtención del recubrimiento anticorrosivo con el uso de diferentes cantidades de resina, solvente y pigmentos.
- Evaluar mediante un ensayo de cámara de niebla salina el recubrimiento obtenido para determinar su potencial anticorrosivo.
- Comparar la eficiencia anticorrosiva del recubrimiento obtenido con la de un recubrimiento comercial para seleccionar la mejor formulación.

1.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo de investigación se limitó a la obtención de un recubrimiento anticorrosivo a partir de poliestireno expandido reciclado, limoneno, octoato de cobalto, dióxido de titanio y óxido de zinc como únicos componentes para el desarrollo de éste, con el fin de determinar el potencial anticorrosivo de las diferentes formulaciones que se obtuvieron, mediante un ensayo de cámara de niebla salina y finalmente, a partir de los grados de herrumbre que se revelaron en esta prueba para cada probeta, se determinó la eficiencia de cada una de las formulaciones obtenidas.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. ESTADO DEL ARTE

2.1.1. Antecedentes

La pintura se ha utilizado para obras de arte por muchos miles de años. Las antiguas civilizaciones del Mediterráneo, incluyendo a los griegos, romanos y egipcios usaron encáusticas, pinturas hechas con una mezcla de pigmentos minerales (hierro, cobre, óxidos de manganeso, etc), cera de abeja derretida y resina para luego ser fijadas con calor. Las Temperas, una mezcla fluida de aglutinante (medio orgánico), agua y aditivos volátiles (aceites vegetales esenciales), y los aglutinantes orgánicos hechos de materiales disponibles de fuentes animales (huevo entero, colas animales, o leche) se utilizaron para fabricar pinturas por cientos de años. Al final del Imperio Romano y hasta la época del Renacimiento (siglo XV) se perdieron estas formulas antiguas, las cuales se sustituyeron por la pintura de aceite y/o tempera. (Uhlig, 2008; Talbert, 2008).

Aproximadamente en el año 1200 un monje llamado Presyter registro el proceso de fabricación de un barniz, basado completamente en compuestos no volátiles, principalmente aceites secantes. En el año 1500 el primer barniz moderno fue fabricado con resina común con sandáraca en aceite de linaza. En los siglos XVI, XVII, y XVIII la resina más popular para proteger y decorar fue el ámbar, usada individualmente o combinada con aceite de linaza. Durante el siglo XIX, el ámbar fue reemplazado casi por completo con gomas fósiles y semifósiles, como el copal, goma arábica, y goma elástica. A partir de la mitad de este siglo empieza la verdadera revolución en las pinturas, con la aparición de las resinas sintéticas, siendo accidentalmente polimerizado el primer éster por Berzelius en 1847, calentando glicerina y ácido tártrico. Berthelot en 1853 formó el ftalato de glicerilo, haciendo reaccionar glicerina con ácido ftálico, pero con el problema que no eran solubles en disolventes, pero aportando positivamente al desarrollo de estos.

Ya en el siglo XX, la industria de las pinturas experimentó grandes cambios, como la mayoría de las industrias manufactureras de la época. Hubo más progreso en 50 años que en los miles de años anteriores, empezando por el desarrollo de la goma de Esther. Con la investigación industrial de la química sintética en crecimiento, muchos aglutinantes clásicos se reemplazaron por resinas sintéticas, y se investigaron en campos innovadores en la tecnología de las pinturas pasando por la resina de nitrocelulosa, fenólico, urea, formaldehidos de melamina, acrílicos, vinilos, alquídicos, terpenos, cumaronas e indenos, epoxis y uretanos.

Después de la segunda guerra mundial, se fabricó la primera pintura con una emulsión de látex a base de estireno, que llevó a una gran aceptación y a un rápido crecimiento de este tipo de recubrimientos. También fueron sintetizados y desarrollados nuevos pigmentos y colorantes para mejorar las propiedades de estos, como su resistencia, brillantez y durabilidad. Hubo disponibilidad de nuevos aceites como el de pescado, perilla, madera de china, soya, tanto naturales como aquellos químicamente tratados. La disponibilidad de nuevos monómeros como los acrílicos, cloruro de vinilo, etileno, entre otros, hicieron posible la producción de emulsiones. Fueron desarrollados una gran variedad de solventes con propiedades especiales y distintos grados de destilación, así como aditivos especiales para flujo, nivelación y secado. Estos últimos descubrimientos y avances permitieron la consolidación y la evolución de la industria de las pinturas hasta niveles impensables hace miles de años. (Nervion Pinturas, (s.f.))

Debido a la proliferación de materiales plásticos a finales del siglo XX y comienzos del siglo XXI se han llevado a cabo investigaciones como la de Arvanitoyannis y Bosnea (2001) que se enfocaron principalmente en estudiar el reciclaje de materiales poliméricos, encontrando que a diferencia de materiales como el vidrio, aluminio y cartón, el reciclaje de los plásticos es una tarea mucho más complicada debido a su gran variedad y a la coexistencia de varios polímeros, como mezclas o copolímeros.

Una característica importante de los recubrimientos es el tiempo de secado, Chunyong y Bell (2003) se dedicaron a estudiar el secado de un recubrimiento protector en aluminio, el recubrimiento estaba formado por estireno, N-fenil maleimida (NPMI), bismaleimida (BMI), y 2 - (metacrililoiloxi) acetoacetato de etilo (MEA). El recubrimiento se transformó satisfactoriamente en una película adherente después del secado en presencia de un solvente coalescente. El secado a temperaturas mayores a 170°C mejora el rendimiento del recubrimiento en términos de adherencia y resistencia a la corrosión. Se encontró que en el proceso de secado se eliminó el agua superficial sobre el sustrato y luego se formó una capa densa de protección relacionada con la reticulación térmica de los grupos funcionales de b-dicetona en el recubrimiento. También, se investigó el mecanismo de reacción, la temperatura de transición vítrea, la resistencia a la adhesión en el aluminio y la resistencia a la corrosión. Los recubrimientos mostraron una fuerza de adhesión excelente en la prueba de torsión y muy buena resistencia a la corrosión bajo la norma ASTM B-117 de ensayo acelerado de niebla salada.

Shin y Chase (2005) desarrollaron una técnica de reciclaje de EPS (poliestireno expandido), que consiste en disolver con el solvente natural d-limoneno y electrospun, para producir de forma económica nanofibras de poliestireno. El proceso de electrohilado (electrospinning) produce una esterilla no tejida de fibras largas de polímero con diámetros en el intervalo de 10-500 nm, y gran área superficial por unidad de masa. El PS puede ser disuelto en diferentes solventes tales como THF (tetrahidrofurano), DMF (dimetilformamida), y DMAc (dimetilacetamida), y ser convertido en nanofibras, pero estos solventes causan problemas en el medio ambiente y se dificulta mucho su proceso de tratamiento, por lo tanto se prefiere un solvente natural como el d-limoneno para disolver PS. Las nanofibras de PS que se producen con la solución de PS y d-limoneno poseen diámetros que varían entre 300 a 900 nm, con un diámetro medio de aproximadamente 700 nm.

García y colaboradores (2009) estudiaron la solubilidad de la espuma de poliestireno en varios disolventes como, benceno, tolueno, xileno, tetrahidrofurano, cloroformo, 1,3-butanodiol, 2-butanol, linalol, geraniol, d-limoneno, p-cimeno, terpineno, felandreno,

terpineol, mentol, eucaliptol, cinnamaldheyde, nitrobenzeno, N, N-dimetilformamida y agua. Los resultados experimentales han demostrado que para desarrollar un proceso "verde" los componentes de aceites esenciales, como el d-limoneno, p-cimeno, terpineno, felandreno, son los disolventes más adecuados, donde la solubilidad del polímero aumenta a medida que la temperatura también lo hace, pero a la temperatura más alta (60°C) usada en este estudio se produce una ligera degradación de las cadenas poliméricas. En cada país o región la mejor elección será diferente dependiendo de la disponibilidad comercial y el precio de estos disolventes naturales en esa parte del mundo. El disolvente puede ser fácilmente reciclado por destilación para obtener un polímero reciclado de muy buena calidad.

Shikata y colaboradores (2011) examinaron y estudiaron disoluciones de Poliestireno en monoterpenos cíclicos presentes en los aceites esenciales de los árboles, con el fin de desarrollar un agente ecológico reductor de poliestireno expandido. La relación entre la estructura química de los monoterpenos y su poder de disolución para PS se estudió a través del parámetro de solubilidad (d) y la energía de activación aparente (E_a) para la disolución. (R)-limoneno y sus isómeros estructurales sobre un enlace C=C tienen alto poder disolvente para PS [181,7-197,1 g/100 g de disolvente]. Esta solubilidad favorable se explica por sus parámetros de solubilidad. La ocurrencia de un grupo hidroxilo en una molécula de disolvente, tal como en terpinen-4-ol, es responsable de su afinidad reducida para PS. Los Monoterpenos bicíclicos y el 1,8 cineol, que tienen estructuras estéricamente voluminosas, mostraron poder de disolución limitado aunque tienen parámetros de solubilidad similares a las de (R)-limoneno. Sus estructuras voluminosas podrían interferir con la permeación del disolvente en la matriz de PS. Los Monoterpenos cíclicos y el PS se recuperaron casi cuantitativamente por destilación con vapor simple de la solución de PS.

2.1.2. Estado actual

Hoy día, las pinturas se refinan con diferentes aceites y aditivos, que trabajan en combinación con calor, para producir un grupo de sistemas de resina confiables y mezclas

de disolventes para fabricar los modernos recubrimientos industriales y proporcionarles las características y la apariencia necesaria para satisfacer a los consumidores junto con las propiedades de protección para que el producto sea útil en diferentes ambientes y condiciones. Los recubrimientos modernos ahora se utilizan en prácticamente todos los productos fabricados para brindar buena calidad y durabilidad (Schweitzer, 2007).

En la historia más reciente, la necesidad de conservar y proteger el medio ambiente y la ley de aire limpio en Estados Unidos han tenido un profundo impacto en la formulación y aplicación de recubrimientos orgánicos. Los vapores de los disolventes en las operaciones de recubrimiento experimentan oxidación fotoquímica en la atmósfera y contribuyen al smog. Con el fin de reducir esta contaminación, los nuevos productos de recubrimientos denominados recubrimientos conformes, se han desarrollado con una reducción de compuestos orgánicos volátiles.

Además, están siendo utilizados procesos alternativos en lugar del vapor de desengrasado tradicional en el que se usan los clorofluorocarbonos y 1,1,1 – tricloroetano, siendo ambos productos químicos potentes destructores de la capa de ozono (Uhlig, 2008).

Las formulaciones han sido modificadas para el uso de un alto contenido de sólidos y de agua para reducir el disolvente incluido en la mezcla y así disminuir los residuos y las emisiones generadas por el uso de los recubrimientos de superficies (Talbert, 2008).

Las últimas investigaciones en esta área se enfocan especialmente en los recubrimientos inteligentes, es así como Nicholls y colaboradores (2001) desarrollaron recubrimientos inteligentes de superposición diseñados para proporcionar protección a la corrosión de alta temperatura en un amplio intervalo de condiciones de funcionamiento. El diseño SMARTCOAT consta de una base de MCrAlY inicialmente enriquecida en cromo y luego enriquecida con aluminio para proporcionar una estructura química graduada. A temperaturas elevadas por encima de 900°C (1650°F), el recubrimiento se oxida para formar una capa de alúmina protectora. Sin embargo, a temperaturas más bajas esta capa de

alúmina no se forma lo suficientemente rápido como para conferir protección en condiciones de corrosión en caliente tipo II. El recubrimiento está diseñado con un intermedio rico en cromo en la capa intermedia, que permite la rápida formación de áreas de curación cromia en las zonas dañadas por la corrosión tipo II. Se hicieron pruebas de laboratorio en el quemador que contribuyeron a una serie de desarrollos y mejoras en el recubrimiento inteligente, demostrando que la opción de un intermedio rico en cromo proporciona protección en condiciones de baja temperatura de corrosión en caliente, mientras que la capa superficial rica en aluminio ofrece resistencia a la oxidación a alta temperatura y a la corrosión en caliente tipo I. Así, la única aplicación de SMARTCOAT permite el funcionamiento en un amplio intervalo de condiciones de turbinas industriales y marinas.

Kendig y colaboradores (2003) investigaron sobre recubrimientos inteligentes inhibidores de la corrosión cuando la pasividad (películas protectoras de óxido formada por los residuos que se producen bajo ciertas condiciones en la corrosión) es difícil de lograr. Por ejemplo en las aleaciones de Al en soluciones de NaCl neutras, el recubrimiento "inteligente" puede ser micro o nano-diseñado para detener o retardar los efectos de la corrosión. El Trabajo en Rockwell Scientific proporciona evidencia de que los inhibidores aniónicos para la reacción de reducción del oxígeno (ORR), cuando se utilizan como coagentes para la realización de películas de polianilina (PANI), inhiben la corrosión de la aleación de aluminio Al 2024-T3. En efecto, al empezar la corrosión se generan residuos que polarizan el PANI lo que permite que se libere el inhibidor del recubrimiento.

Sauvant-Moynot *et ál.* (2008) estudiaron los recubrimientos autorreparables como una ruta alternativa para la protección anticorrosiva eficaz, estos recubrimientos incorporan micro o nanocapsulas que poseen formadores de película que reparan el daño cuando la superficie esta rayada. Se han desarrollado sistemas autorreparables para estructuras metálicas bajo la protección catódica utilizando específicamente formadores de película sensibles al campo eléctrico y al pH, cuando se encuentran en las proximidades de un defecto en una estructura revestida bajo la protección catódica. También, se describen el concepto de auto-

reparación y se discute la eficiencia de la reparación sobre la base de los resultados de laboratorio. La Espectroscopía de impedancia electroquímica se usó para evaluar el rendimiento de la eficacia de la barrera y el monitoreo continuo de la demanda de corriente evaluó la capacidad de los formadores de película específicos para proporcionar la autocuración y reparar los defectos generados en el revestimiento al metal.

2.2. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.2.1. Corrosión

La corrosión es el ataque destructivo de un metal por una reacción química o electroquímica con el medio ambiente (Ahmad, 2003; Chaieb *et ál.*, 2005). Al deterioro por causas físicas no se le llama corrosión, este se describe como erosión, excoiación, o desgaste. En algunos casos, el ataque químico acompaña al deterioro físico, y se describe como corrosión - erosión, desgaste corrosivo o corrosión por fricción. Los materiales no metálicos no se incluyen en la definición de corrosión. Los plásticos se pueden hinchar o romper, la madera puede dividirse o desintegrarse, el granito puede erosionarse y el cemento Portland puede presentar lixiviación, pero la corrosión se limita al ataque químico de los metales.

La "Oxidación" se aplica a la corrosión del hierro o de hierro con la formación de aleaciones a base de de productos de corrosión que consisten principalmente en óxidos de hierro hidratados. Los metales no ferrosos por lo tanto, se corroen, pero no se oxidan (Uhlig, 2008).

2.2.2. Métodos de control y prevención de la corrosión

Los métodos de control y prevención de la corrosión son muy importantes en la actualidad, sin ellos sería sumamente difícil mantener el ritmo de producción industrial, ya que estos permiten extender la vida útil de muchos materiales (especialmente metales) y equipos,

logrando una mayor eficiencia y un ahorro significativo en los costos de reparación y mantenimiento de las industrias (Schweitzer, 2007; Uhlig, 2008; Talbert, 2008).

- **Inhibidores**

La corrosión de superficies metálicas se puede reducir o controlar con la adición de compuestos químicos a la sustancia o al medio corrosivo. Esta forma de control de la corrosión se llama inhibición y los compuestos añadidos son conocidos como inhibidores de la corrosión.

Estos inhibidores reducen la velocidad de cualquiera oxidación anódica, reducción catódica, o ambas, formando una película protectora sobre la superficie del metal. Se ha postulado que los inhibidores son adsorbidos en la superficie del metal ya sea por medios físicos (electrostática), adsorción o quimisorción.

La adsorción física es el resultado de fuerzas de atracción electrostáticas entre los iones orgánicos y la superficie del metal cargado eléctricamente. La quimisorción es la transferencia, o el intercambio de carga de la molécula inhibidora de la superficie del metal, formando un enlace de tipo coordinado. El inhibidor adsorbido reduce la velocidad de corrosión de la superficie metálica, ya sea por retardar la reacción de disolución anódica del metal, por la evolución catódica de hidrógeno, o ambos.

Se pueden clasificar de muchas maneras, de acuerdo con:

1. Su naturaleza química (sustancias orgánicas o inorgánicas)
2. Sus características (compuestos oxidantes o no oxidantes)
3. Su campo en la técnica de aplicación (decapado, limpieza desincrustante, ácido, los sistemas de enfriamiento de agua, y similares)

El uso más común y ampliamente conocido de los inhibidores es su aplicación en sistemas de refrigeración de automóviles y en la alimentación del agua de caldera (Schweitzer, 2007).

- **Protección catódica**

La protección catódica se logra mediante la aplicación de los principios electroquímicos a los componentes metálicos enterrados en el suelo o sumergidos en agua. Esto se logra haciendo fluir una corriente catódica a través de una interfase metal-electrolito favoreciendo la reacción de reducción durante la disolución del metal anódico. Esto permite que toda la estructura trabaje como un cátodo.

El flujo de electrones puede ser proporcionado por uno de dos métodos. Mediante el uso de un rectificador, se puede inducir una corriente directa en un ánodo inerte y en los componentes. Estos componentes reciben un exceso de electrones y son, por lo tanto, protegidos catódicamente.

El método alternativo consiste en acoplar los componentes con un metal más activo, tal como zinc o magnesio, para crear una celda galvánica. Bajo estas condiciones, el metal activo funciona como un ánodo y se destruye al tiempo que protege los componentes que son el cátodo. Este ánodo se conoce como ánodo de sacrificio (Schweitzer, 2007).

2.2.3. Tipos de recubrimientos

- **Recubrimiento metálico**

Se aplican a sustratos metálicos para diversos fines, entre los que se incluyen mejorar la resistencia a la corrosión, la resistencia al desgaste, y para mejorar la apariencia. Sin embargo la principal función es la resistencia a la corrosión.

Al proporcionar una barrera entre el sustrato y el medio ambiente, o por protección catódica al sustrato, los recubrimientos metálicos protegen el sustrato de la corrosión. Los recubrimientos de cromo, cobre, y níquel proporcionan una mayor resistencia al desgaste y buena resistencia a la corrosión. Sin embargo, estos metales nobles hacen que la combinación del sustrato (en su mayoría de acero o una aleación de aluminio) con la capa protectora sea sensible a la corrosión galvánica, mientras que las capas metálicas no nobles tales como el zinc o cadmio, proporcionan una buena protección catódica, pero muestran pobre resistencia al desgaste.

Un recubrimiento de un metal resistente a la corrosión sobre un sustrato propenso a la corrosión puede estar formado por varios métodos. La elección del material de recubrimiento y la selección del método de aplicación es determinada por el uso que tendrá al final (Schweitzer, 2007).

- **Recubrimientos de conversión**

El término recubrimiento de conversión se utiliza para describir recubrimientos donde el metal del sustrato proporciona iones que pasan a formar parte de la capa protectora. Las capas de recubrimientos de conversión poseen compuestos inorgánicos que son químicamente inertes.

Estos compuestos inertes en la superficie reducen ambas áreas, anódica y catódica, y retrasan el tránsito de especies reactivas con el metal base. Esto da como resultado aumentos en las pendientes de las curvas de polarización anódica y catódica, por lo tanto, disminuye la velocidad de corrosión del sustrato.

Las capas de conversión se utilizan por varias razones:

1. Para mejorar la adherencia de las capas orgánicas
2. Para obtener barreras de capas aislantes eléctricamente.

3. Para proporcionar una superficie uniforme libre de grasa.
4. Para proporcionar inhibición de la corrosión activa mediante la reducción de la velocidad de la reacción de reducción de oxígeno.

Los recubrimientos de conversión de sustrato metálico que pertenecen a este grupo son el fosfato, cromato, óxido, y recubrimientos de anodizado. Estos recubrimientos se componen de productos de corrosión que han sido artificialmente formados por reacciones químicas o electroquímicas en soluciones seleccionadas. Los productos de corrosión formados construyen una barrera de protección para el metal de sustrato. Esta barrera reduce el área superficial activa en el metal base, retrasando el transporte de especies oxidantes y agresivas. Al hacerlo, el recubrimiento inhibe la formación de celdas de corrosión. El grado de acción de la barrera secundaria depende de la compacidad, la continuidad y estabilidad de la capa del producto de corrosión.

Cada recubrimiento de conversión protege el metal de base contra la corrosión con dos o tres de las siguientes capacidades de protección:

1. Acción de barrera secundaria de productos de corrosión
2. Acción inhibidora de los compuestos solubles que figura en los productos de corrosión.
3. Mejora de la adherencia de la pintura por la formación de una capa del producto de corrosión uniforme (Schweitzer, 2007).

- **Recubrimientos orgánicos**

Los recubrimientos orgánicos son ampliamente utilizados para proteger las superficies metálicas de la corrosión. La eficacia de estos recubrimientos es dependiente no solamente de las propiedades de los recubrimientos que están relacionados con la red polimérica y posibles defectos en esta red, sino también en el carácter del sustrato metálico, el pretratamiento superficial, y los procedimientos de aplicación. Por lo tanto, cuando se

considera la aplicación de un recubrimiento, es necesario tener en cuenta las propiedades de todo el sistema.

Hay tres grandes clases de recubrimientos poliméricos: lacas, barnices y pinturas. Los barnices son materiales que son soluciones de una sola resina en un disolvente (barnices espíritu) o un aceite y resina juntos en un disolvente (barnices oleorresinosos). Una laca es considerada generalmente un material cuya base está formada por una película de nitrocelulosa, acetato-butirato de celulosa, etil celulosa, resina acrílica, u otra resina que se seca por evaporación del disolvente. El termino pintura se aplica a las formulaciones más complejas de una mezcla líquida que se seca o endurece para formar una capa protectora.

Los recubrimientos orgánicos brindan protección ya sea por la formación de una barrera de acción en la capa o de inhibición activa contra la corrosión proporcionada por los pigmentos en el recubrimiento. En la práctica real, las propiedades de barrera son limitadas, porque todos los recubrimientos orgánicos son permeables al agua y al oxígeno en cierta medida. La tasa de transmisión media de agua a través de un recubrimiento es de aproximadamente 10-100 veces más grande que la tasa de consumo de agua de una superficie que fluye libremente, y en condiciones normales al aire libre, un recubrimiento orgánico está saturado con agua por lo menos la mitad de su vida útil. El resto del tiempo, contiene una cantidad de agua comparable en su comportamiento a una atmósfera de alta humedad.

También se ha determinado que, en la mayoría de los casos, la difusión de oxígeno a través de la barrera que crea el recubrimiento es lo suficientemente grande para permitir la corrosión. Teniendo en cuenta estos factores, se indica que las propiedades de barrera física por sí solas no representan la acción protectora de los recubrimientos. Se puede suministrar protección adicional por la inhibición con el aumento resistencia, el cual es también una parte del mecanismo de barrera. El retraso de la acción corrosiva se logra mediante la inhibición del transporte de carga entre el ánodo y el cátodo. La velocidad de reacción puede reducirse por un aumento en la resistencia eléctrica y/o la resistencia iónica en el

ciclo de la corrosión. Al aplicar un revestimiento orgánico sobre una superficie metálica aumenta la resistencia iónica (Schweitzer, 2007).

2.2.3.1. Recubrimientos anticorrosivos

Son recubrimientos que se utilizan para proteger de la corrosión a las superficies metálicas, generalmente son recubrimientos orgánicos, los cuales se mezclan con otras sustancias o compuestos, tales como los diferentes aditivos y/o pigmentos utilizados en la industria de las pinturas, para mejorar sus propiedades anticorrosivas (Uhlig, 2008; Talbert, 2008).

2.2.3.2. Composición de los recubrimientos

Una pintura es un producto de ingeniería hecha de diferentes ingredientes que se mezclan para crear un producto específico con sus propias características. La selección de los componentes utilizados para la fabricación de la pintura afectará su estabilidad (vida útil), características de aplicación, manipulación, limpieza, eliminación, y lo más importante, el rendimiento del producto en el que se aplica (Talbert, 2008). Las fórmulas de pintura por lo general incluyen:

1. Resina (aglutinante)
2. Solventes
3. Pigmentos
4. Aditivos

2.2.4. Resinas

La resina es el componente formador de película que identifica la pintura. Una variedad de resinas y polímeros (materiales que se someten a reacción para formar una resina) se utilizan en pinturas. La formulación de un material de pintura y los productos químicos particulares utilizados, están influenciados por la resina o por las combinaciones de resina.

La mezcla de resina, también llamada aglutinante de pintura, puede ser dividida en dos tipos, convertibles y no convertibles. Las convertibles son materiales que se utilizan en un estado no polimerizado o parcialmente polimerizado y se someten a reacción (polimerización) para formar una película sólida después de la aplicación al sustrato. Las no convertibles se basan en ligantes polimerizados dispersos o disueltos en un medio que se evapora, después que el revestimiento ha sido aplicado, dejando una película uniforme sobre la superficie del sustrato.

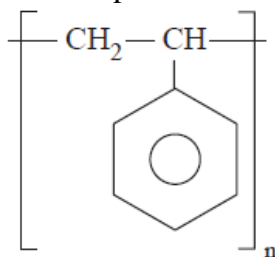
Los aglutinantes convertibles incluyen aceites, barnices oleorresinosos, alquídicas, resinas amino, resinas epoxi, resinas fenólicas, resinas de poliuretano y acrílicos termoendurecibles.

Las resinas no convertibles, como la celulosa, nitrocelulosa, el caucho clorado y resinas vinílicas, por el alto contenido de solventes que poseen, no son compatibles para la mayoría de aplicaciones industriales modernas (Talbert, 2008).

2.2.4.1. Poliestireno

Es un polímero versátil cuyas principales características son la transparencia, la facilidad de procesamiento, su fácil coloración, y bajo costo. El poliestireno es uno de los termoplásticos de mayor volumen. Existen diferentes tipos entre los que tenemos el poliestireno cristal (GP-PS), de alto impacto (HIPS), y el expandido. Algunos miembros de esta familia de polímeros de estireno son copolímeros de estireno con otros monómeros de vinilo.

Figura 1. Estructura molecular del poliestireno



Fuente: Ebewele, 2000.

El poliestireno es un polímero lineal que, en principio, se pueden producir en formas isotáctica, sindiotáctica, y atáctica. El producto comercial o poliestireno de uso general es atáctico y como tal amorfo. El poliestireno isotáctico es más frágil y más difícil de procesar que el poliestireno atáctico, por lo tanto, no tiene interés comercial.

Sus excelentes propiedades ópticas, incluyen un alto índice de refracción, que es útil en aplicaciones ópticas. Sin embargo, el GP-PS tiene una serie de limitaciones, incluyendo su fragilidad, resistencia a rayos UV pobre, y la susceptibilidad al ataque por una variedad de disolventes. El poliestireno es sensible a los productos alimenticios con alto contenido de grasa o de contenido de aceite, y se vuelve amarillento durante la exposición al aire libre.

Muchos de los problemas asociados con el GP-PS pueden ser corregidos, o al menos minimizado, a través de la copolimerización, o con una formulación apropiada. Por ejemplo, el poliestireno con la tenacidad y la resistencia al impacto mejorada se produce por la incorporación de caucho de butadieno.

El poliestireno de alto impacto (HIPS) se produce comercialmente con la polimerización en emulsión de monómero de estireno que contiene partículas dispersas de polibutadieno o estireno-butadieno (SBR) látex. El producto resultante se compone de una matriz de poliestireno cristalino en el que se encuentran dispersas pequeñas partículas de polibutadieno. La resistencia al impacto del HIPS depende del tamaño, la concentración y distribución de las partículas de polibutadieno. Está influenciada por la estereoquímica del

polibutadieno, con bajos contenidos de vinilo y 36% de cis -1,4 - polibutadieno se proporcionan propiedades óptimas. En los Copolímeros de estireno y anhídrido maleico mejoran considerablemente su temperatura de distorsión térmica, mientras que el copolímero de acrilonitrilo, SAN - típicamente estireno 76%, 24% de acrilonitrilo - muestra mejora en la resistencia química (Ebewele, 2000).

2.2.4.2. Poliestireno expandido

Es una espuma plástica celular rígida, que presenta una estructura celular cerrada y sin ninguna comunicación entre las cavidades alveolares y como consecuencia de esto, es un material sumamente ligero y esponjoso, pero no es absorbente. Su color es blanco y algo translucido cuando se presenta en espesores reducidos. No es atacado por los agentes atmosféricos y resiste la acción destructora de hongos, bacterias, roedores y parásitos.

En cuanto a los agentes químicos, puede afirmarse que es estable frente al ácido clorhídrico al 36% y 18%, al ácido sulfúrico al 95% y 48%, al ácido fosfórico al 90% y 50%, al ácido acético al 70% y 30%, así como al alcohol metílico y etílico. Es inestable al ácido nítrico al 68%, bencina, aceites vegetales y minerales, mezcla de carburantes, éter y esencia de trementina (Rapin, 1990; Payá, 2004).

Tabla 1. Propiedades físicas del poliestireno expandido

Coefficiente de conductividad térmica (λ)	0,029 W/m ² (0,025 kcal/ m h °C)
Peso específico	20-30 kg/m ³
Capilaridad	Prácticamente nula.
Resistencia a la humedad	Tras una semana de inmersión, absorbe del 1 al 1,2 % del volumen.
Resistencia al fuego	Normalmente es combustible.

Fuente: Realizada en la presente investigación (Rapin, 1990; Payá, 2004)

Tabla 2. Propiedades mecánicas del poliestireno expandido

Resistencia a la compresión	0,80-1,1 kg/cm ²
Resistencia a la flexión	0,50-3 kg/cm ²
Resistencia a la cortadura	10-14 kg/cm ²
Resistencia a la tracción	2-3 kg/cm ²
Resilencia	0,10-0,20 kg/cm ²
Resistencia a las vibraciones	En el vibrometro electromagnético, ha permanecido invariable tras cinco millones de vibraciones.

Fuente: Realizada en la presente investigación (Rapin, 1990; Payá, 2004)

El homopolímero de estireno grado expandible se fabrica con las perlas expandibles de poliestireno que se preparan por la polimerización en suspensión del monómero de estireno en presencia de un agente orgánico volátil de soplado o formador de espuma. El agente espumante, tal como pentano o hexano, es normalmente un líquido bajo condiciones de polimerización, pero se volatiliza durante el posterior calentamiento para ablandar el polímero, formando así un producto espumado. Los requerimientos para los diversos tipos de productos se satisfacen mediante la variación del tamaño de las perlas, el nivel y la composición del agente espumante, el peso molecular del polímero y la distribución del peso molecular. Las perlas más grandes, que generalmente tienen la más baja densidad, se usan en aislamiento térmico, en las tejas de los techos, y en las aplicaciones de adhesivos y sellantes. Por otro lado, las perlas más pequeñas, que proporcionan mejores propiedades mecánicas y acabado superficial, se emplean en envases personalizados, vasos aislados, y aplicaciones estructurales y semiestructurales (Ebewele, 2000).

2.2.5. Solventes

Un solvente es un líquido puro o mezclado, que se utiliza para darle fluidez a la pintura antes de su aplicación. En la práctica, el término solvente, disolvente, y diluyente se usan indistintamente. Los solventes son sustancias químicas que pueden disolver, suspender o

extraer otros materiales, por lo general sin cambiar químicamente cualquiera de los solventes o los otros materiales. Los solventes hacen posible procesar, aplicar, limpiar o separar los materiales. Estos funcionan según el principio de " semejante disuelve a lo semejante", por lo tanto, para que un solvente pueda trabajar, tiene que tener características químicas similares a la sustancia que se está tratando de disolver. El agua es también un solvente, que se describe como "inorgánico" (Talbert, 2008).

2.2.5.1. Limoneno

Es un terpeno ($C_{10}H_{16}$) biodegradable, que se encuentra en la naturaleza como el componente principal del aceite en las cáscaras de las naranjas, limones y toronjas. El limoneno es amigable con el medio ambiente y posee un agradable aroma de naranja, lo que ha permitido ganar la aceptación en muchas aplicaciones químicas entre las cuales se destaca su capacidad para ser utilizado como solvente ya sea en su forma pura, o mezclado con otros solventes.

Debido a su baja toxicidad en humanos, es una alternativa segura a los peligrosos productos químicos derivados del petróleo. Algunas de las aplicaciones más recientes de este compuesto están en el campo de la medicina y en la fabricación de productos farmacéuticos (Morrison y Boyd, 1998; Florida Chemical Company, Inc, 2006).

2.2.6. Pigmentos

Los pigmentos son partículas sólidas que se dispersan en las pinturas para proporcionar ciertas características propias, como el color, la opacidad, la durabilidad, la resistencia mecánica y protección contra la corrosión para sustratos metálicos. Con el fin de lograr los resultados deseados, los pigmentos tienen que poseer ciertas propiedades. Pueden ser inorgánicos y orgánicos. Los pigmentos orgánicos se utilizan principalmente con fines decorativos, mientras que los materiales inorgánicos tradicionalmente han sido añadidos para las propiedades protectoras.

El tamaño y forma de las partículas del pigmento son consideraciones importantes, ya que afectan a la aglomeración o el embalaje dentro de la pintura. La mayoría de los pigmentos son cristalinos y la forma de los cristales a menudo afecta a las características del pigmento. El tamaño de partícula también afecta el brillo de los acabados, la sedimentación del pigmento durante el almacenamiento, y la humectación por el aglutinante. Otros factores como la intensidad de color, tono, firmeza del color y la opacidad son características inherentes del pigmento. La densidad es otro factor importante, que afecta no sólo la solución, sino también el volumen del pigmento, para la adición de una cantidad dada.

Los pigmentos se dispersan coherentemente en el aglutinante para proporcionar un aspecto uniforme. Tienen que permanecer en suspensión o ser fáciles de dispersar si se produce sedimentación. Cuando la pintura se mezcla, los pigmentos se incorporan mecánicamente en un molino. Las partículas de los pigmentos tienen que ser capaces de resistir el proceso de molienda.

Una amplia variedad de agentes colorantes se pueden utilizar para proporcionar una gama considerable de colores y tonos. El número de pigmentos utilizados y la cantidad de cada uno está relacionado con el color, la ocultación, y muchas otras propiedades de la película (Talbert, 2008).

2.2.6.1. Dióxido de titanio

El dióxido de titanio es un pigmento sintético, estable y no tóxico ampliamente utilizado para pinturas tanto protectoras como decorativas. Se presenta en dos formas cristalinas diferentes, rutilo y anatasa. La forma cristalina rutilo es más compacta y tiene una gravedad específica más alta, mayor índice de refracción, estabilidad mejorada y una mayor durabilidad.

El alto índice de refracción del dióxido de titanio (2,7 por rutilo y 2,5 para anatasa) le permite proporcionar un mayor grado de opacidad en películas de pintura que cualquier

otro pigmento blanco. El dióxido de titanio rutilo es fotoquímicamente inerte y protege las capas de pintura de la degradación por dispersión de luz absorbida. En contraste, la forma anatasa es fotoquímicamente activo y las pinturas formuladas con este pigmento están sujetos a la degradación. La forma de anatasa se utiliza principalmente para aplicaciones en interiores debido a su color blanco limpio (Talbert, 2008).

2.2.6.2. Oxido de zinc

Es un pigmento sintético de color blanco, que tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de hongos si está presente en niveles altos (alrededor de 30% en peso), así como también proteger de la luz ultravioleta. La naturaleza básica del óxido de zinc conduce a la buena interacción con las pinturas que poseen un pH ácido (Talbert, 2008).

2.2.7. Aditivos

Los aditivos son sustancias químicas añadidas a la pintura, por lo general en pequeñas cantidades, para lograr efectos especiales. Aunque los aditivos se han utilizado en las pinturas durante siglos, no siempre se entiende cómo funcionan. Los aditivos típicos de pintura se pueden clasificar por su efecto sobre las propiedades de la pintura líquida o seca. Los aditivos pueden afectar a las características del material de pintura y las propiedades de la película terminada.

Ejemplos de propiedades que se pueden ajustar con aditivos de pintura incluyen viscosidad, formación de espuma, desollado, dispersión del pigmento, la estabilidad, la flexibilidad / dureza, resistencia, brillo, radiación UV, resistencia al fuego, resistencia a las bacterias, y muchas más (Talbert, 2008).

2.2.7.1. Octoato de cobalto

Es un agente secante que se utiliza para facilitar el rápido secado de películas de aceites poliinsaturados y barnices o resinas a base de los mismos. Es prácticamente ineludible su uso si se desea obtener tiempos breves de secado al tacto, Su color azul-violáceo produce un efecto de blanqueo óptico sobre los materiales a los que es agregado (CORQUIVEN C.A., 2007;CCI S.A.).

2.2.8. Estándar de pruebas para pinturas

Las pruebas son una parte importante de la operación de un sistema de pintura. Se realizan para monitorear el sistema y para confirmar que el acabado cumple con los estándares de calidad establecidos y las expectativas del cliente. El uso final del producto a pintar debe determinar qué pruebas son importantes.

La pintura también debe ser examinada para confirmar que está lista para ser aspersada. Una propiedad que siempre debe ser medida es la viscosidad, la cual es importante para conocer la fluidez de la pintura.

La mayoría de las pruebas realizadas a las pinturas y recubrimientos en la industria se basan en las normas internacionales de la American Society for Testing Materials (ASTM) (originalmente conocido como las Normas Americanas para Pruebas y Materiales). La ASTM tiene varias publicaciones que proporcionan los métodos de las pruebas y la forma de interpretar los resultados. Algunas de las pruebas de rendimiento se basan en otras fuentes, tales como la American Architectural Manufacturers Association (AAMA) o las normas europeas.

Es importante tener un método de ensayo estándar preciso y consistente para proporcionar datos significativos y resultados consistentes. Un buen método de ensayo describe la preparación de las placas de prueba, como se lleva a cabo, y cómo serán reportados los

resultados. Si la frecuencia de prueba es demasiado aleatorio o los métodos de ensayo son inconsistentes, los resultados no serán útiles (Talbert, 2008).

2.2.8.1. Tipos de pruebas

Hay pruebas estándar que abarcan la mayoría de las propiedades de la película de pintura que son relativamente fáciles de hacer como parte de una operación cotidiana. Algunas de las pruebas más complicadas, o pruebas que involucran equipos costosos, y especializado, pueden ser llevada a cabo por laboratorios de pruebas. Las pruebas también se pueden diseñar para determinar en condiciones prácticamente reales sus propiedades. Por ejemplo, si la pieza tiene contacto con líquido de frenos, entonces sería útil someter al líquido de frenos a un análisis químico.

Entre las pruebas más importantes que se llevan a cabo están las siguientes: Espesor de película, dureza de película, resistencia al impacto, prueba de adhesión, prueba de niebla salina, prueba QUV, exposición a condiciones ambientales, prueba de temperatura y humedad, prueba de formación de ampollas, prueba de Ajuste de color y prueba de brillo (Talbert, 2008).

2.2.8.2. Cámara de niebla salina

Es una prueba que se usa para acelerar el proceso de corrosión y causar una falla temprana de la pintura. Se utilizan generalmente placas de acero que son expuestas durante un máximo de 14 días a una niebla de 5% (w/v) de solución de cloruro de sodio a una temperatura entre 33°C y 36 °C (92-97°F). La niebla se produce haciendo circular aire caliente saturado a través de una solución salina.

Las placas son evaluadas para dos tipos de corrosión:

1. Rust-through: Es el porcentaje de superficie con óxido visible a través de la pintura.
2. Creep: Es la distancia en 1/32 de una pulgada (0,8 mm), desde el centro de la línea marcada hasta donde la película de pintura se rompe y se separa del sustrato.

Las pruebas en la cámara de niebla salina se han utilizado como un estándar para establecer el rendimiento de muchos recubrimientos en diferentes tipos de industrias. El valor más importante de esta prueba es la comparación de los distintos métodos de pretratamiento y recubrimientos para encontrar la combinación que brinde una mayor resistencia a la corrosión. En todos los casos, la comparación se debe hacer en la misma cámara de niebla salina y con placas de iguales dimensiones y materiales.

Una debilidad con los resultados de un ensayo de niebla salina es el propio sustrato, ya que la calidad del acero varía sustancialmente y el resultado en la prueba de niebla salina puede ser debido al acero de mala calidad, y no al tratamiento previo o a la película de pintura. Por esta razón, es muy importante al ejecutar la prueba siempre tener en cuenta placas de control a las que no se les aplica el recubrimiento (Talbert, 2008).

Figura 2. Camara de niebla salina



Fuente: Navarro *et ál.* (2010).

3. METODOLOGÍA

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El carácter de esta investigación es cuantitativo de tipo experimental. Para cumplir con los objetivos planteados, se realizaron pruebas de laboratorio, donde se prepararon distintas formulaciones para el recubrimiento anticorrosivo con diferentes cantidades de resina, solvente, pigmentos y una cantidad fija de aditivo, con el fin de evaluar los efectos que estas variables tienen sobre el potencial anticorrosivo del mismo.

3.2. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

3.2.1. Fuentes de información primaria. En la presente investigación las fuentes primarias están conformadas por datos obtenidos, en las pruebas experimentales preliminares de este proyecto de investigación, llevadas a cabo en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales del programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena, sede Piedra de Bolívar. Durante estas pruebas se desarrollaron diferentes formulaciones del recubrimiento en función de las cantidades de resina, solvente y pigmentos, con una cantidad fija de aditivo, posteriormente se aplicaron las muestras obtenidas y un recubrimiento comercial sobre placas de acero al carbono, que fueron expuestas a un ensayo en cámara de niebla salina, para comparar cual de las formulaciones es las más eficiente en el control de la corrosión con relación al porcentaje de superficie corroída de cada placa.

3.2.2. Fuentes de información secundaria. Se realizó una revisión bibliográfica y de artículos de revistas indexadas en las bases de datos de la Universidad de Cartagena, tales como ScienceDirect. De estas fuentes se obtuvo información concreta sobre los principales componentes utilizados en la formulación de los recubrimientos anticorrosivos, así como las cantidades porcentuales de los mismos, según diferentes bases de cálculo tales como

masa o volumen total del producto que se pretende obtener, además de las técnicas utilizadas para evaluar la eficiencia anticorrosiva de estos.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población que se considera en la presente investigación son todos los tipos de poliestireno expandido que se pueden encontrar, entre los cuales se pueden resaltar aquellos de mayor uso comercial, es decir, el poliestireno expandido reforzado, usado en gran porcentaje para el diseño de cielo raso, y el poliestireno expandido liviano, usado para embalaje de productos delicados.

De esta población, y para fines prácticos durante el desarrollo de este proyecto de investigación, se tomó como muestra el poliestireno expandido liviano, dado que ofrece una baja resistencia a los esfuerzos de corte, lo cual facilita el fraccionamiento de las muestras que se agregan a las formulaciones, las cuales llegan a componer entre el 20 y 30 % p/p de las diferentes formulas que se desarrollaron.

Además, estas muestras de poliestireno expandido liviano deben estar limpias, para evitar efectos por contaminación que alteren las propiedades anticorrosivas de las muestras de recubrimiento obtenidas y así cumplir sin percances el objetivo de esta investigación.

3.4. VARIABLES

Dado al aspecto experimental de esta investigación, las variables que participan durante todo el proceso, se pueden describir de la siguiente manera.

3.4.1. Variables Dependientes. El porcentaje de superficie corroída que se evaluó en cada una de las placas, después de acelerar el proceso de corrosión en la cámara de niebla salina es la variable principal dentro de esta investigación, la cual depende de las diferentes cantidades de los componentes agregados durante los experimentos diseñados. Es por esto que, la variable dependiente es el porcentaje de superficie corroída que se observó en cada placa al final del proceso.

3.4.2. Variables Independientes. El diseño experimental planteado para esta investigación indica que las cantidades de solvente, resina y pigmentos agregados a cada formulación del recubrimiento son fijas, pero varían en cada fórmula. Para fijar estas cantidades, no se tuvo en cuenta alguna propiedad o variable externa, si no que se realizó una revisión bibliográfica cuidadosa, pues el objetivo fue desarrollar diferentes fórmulas para un recubrimiento en base a otros procedimientos previamente establecidos y estudiados en diferentes investigaciones. Por tal razón, son variables independientes de esta investigación las cantidades de solvente, resina y pigmentos que se le agreguen a cada fórmula, además del tiempo, que se considera durante el proceso de corrosión en la cámara de niebla salina.

3.4.3. Variables Intervinientes. El aditivo agregado a cada una de las formulas del recubrimiento y la temperatura del ambiente en que se trabaje, son constata e incontrolable respectivamente durante los procedimientos experimentales, por lo tanto se considera a estas como las variables intervinientes de esta investigación.

Tabla 3. Operacionalización de las variables.

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	DEFINICIÓN	INDICADOR
Dependiente	Porcentaje de Superficie Corroída	Cantidad de superficie corroída según el grado de herrumbre.	Porcentaje
Independiente	Cantidad de Limoneno	Cantidad de solvente añadida a la muestra.	Militros
	Cantidad de Poliestireno Expandido Reciclado	Cantidad de resina añadida a la muestra.	Gramos
	Cantidad de Dióxido de Titanio	Cantidad de pigmento añadida a la muestra.	Gramos
	Cantidad de Oxido de Zinc	Cantidad de pigmento añadida a la muestra.	Gramos
	Tiempo	Lapso necesario para completar la prueba de cámara de niebla salina.	Horas
Interviniente	Octoato de cobalto	Cantidad de aditivo añadido a la muestra.	Gotas
	Temperatura	Contenido de la energía interna de las moléculas.	Grados Celsius

Fuente: Elaborada en la presente investigación.

3.5. PROCEDIMIENTO

Para la obtención del recubrimiento anticorrosivo se realizaron diferentes formulaciones en función de la cantidad de resina (poliestireno expandido reciclado), solvente (limoneno) y pigmentos (dióxido de titanio y óxido de zinc) agregados, utilizando una cantidad constante de octoato de cobalto como aditivo.

Posteriormente, se evaluó el potencial anticorrosivo de las diferentes formulaciones desarrolladas, aplicándolas a placas de acero al carbono de iguales dimensiones, las cuales fueron sometidas a un ensayo en cámara de niebla salina durante un tiempo determinado, para comparar cual de las formulaciones desarrolladas fue la más eficiente para el control de la corrosión.

Finalmente, se sometió tanto al recubrimiento obtenido como al recubrimiento comercial al ensayo de cámara de niebla salina, para comparar la eficiencia de ambos en la prevención y control de la corrosión.

3.5.1. Diseño experimental

Para el desarrollo de las diferentes formulaciones se utilizó una cantidad constante de octoato de cobalto como aditivo y distintas cantidades de poliestireno expandido reciclado, limoneno, dióxido de titanio y óxido de zinc como ingredientes complementarios del recubrimiento (Talbert, 2008).

En la presente investigación se realizó un diseño factorial 2^4 en el que se consideraron 4 factores de 2 niveles cada uno para desarrollar un total de 16 formulaciones. Los factores aparecen tabulados a continuación:

Tabla 4. Diseño experimental

Factor	Nombre Del Factor	Niveles	Simbología
A	Cantidad de Poliestireno Expandido Reciclado	24 g	+
		19.2 g	-
B	Cantidad de Limoneno	53.3 ml	+
		47.6 ml	-
C	Cantidad de Dióxido De Titanio	13.7 g	+
		2.3 g	-
D	Cantidad de Oxido De Zinc	13.7 g	+
		2.3 g	-

Fuente: Elaborada en la presente investigación (Gonçalves, 2011).

De este diseño experimental se pueden organizar las distintas formulas que se desarrollaron de la siguiente manera:

Tabla 5. Formulaciones desarrolladas

Numero de la Formula	Factores			
	A	B	C	D
1	-	+	-	+
2	-	-	-	+
3	-	+	+	+
4	-	+	-	-
5	-	-	+	-
6	-	+	+	-
7	-	-	-	-
8	-	-	+	+
9	+	-	+	-
10	+	-	-	+
11	+	+	+	+
12	+	+	-	-
13	+	+	-	+
14	+	+	+	-
15	+	-	-	-
16	+	-	+	+

Fuente: Elaborada en la presente investigación.

3.5.2. Evaluación del potencial anticorrosivo

Las diferentes formulaciones obtenidas en el diseño experimental se aplicaron sobre placas metálicas de acero al carbono con dimensiones de 7 x 10 cm y un espesor de 3 mm, según la norma ASTM – B 117 – 03 (Arroyo *et ál.*, 2011), las cuales se limpiaron cuidadosamente para la aplicación del recubrimiento y luego se dejaron secar por completo; parte de las pinturas se removieron parcialmente de una de las caras de cada placa en forma de “X” (Fig. 3) para ser expuesta al medio corrosivo.

Las placas listas para el análisis se colocaron en una cámara de niebla salina durante un periodo de 125 horas, en un proceso cíclico para comprobar las propiedades anticorrosivas de cada formulación.

El tiempo de duración de la prueba fue fijado en base al tiempo mínimo que se requiere para el ensayo de cámara de niebla salina, es decir, 100 horas de prueba (Norma ASTM – B 117 – 03), esto para garantizar que al final de la prueba existan rastros notables de óxidos dispersos, los cuales son clave al momento de realizar el reporte y análisis de resultados. Por otra parte, se consideraron 25 horas más de prueba (1/4 del tiempo mínimo) por tratarse de un recubrimiento nuevo, en el que se podían obtener resultados diferentes o inesperados de una formulación a otra, teniendo en cuenta también la limitación de recursos dispuestos para este proyecto de investigación.

El proceso de aceleración del fenómeno corrosivo, que se llevó a cabo en el interior de la cámara de niebla salina, permitió realizar observaciones y toma de datos solo después del primer, segundo y último día de la simulación del ambiente corrosivo, ya que en caso de abrir muchas veces la puerta de la cámara, el ingreso de aire hubiese sido un factor altamente influyente en los resultados finales del proceso de evaluación del potencial anticorrosivo del recubrimiento obtenido.

De esta forma, gracias al uso de la cámara de niebla salina, se recolectaron los datos correspondientes al grado de herrumbre que se generó sobre cada una de las placas a través de inspección y medición visual (según la norma ASTM – D 610 – 01) por parte del personal de laboratorio con alta experiencia en pruebas de cámara de niebla salina para estudios en el área de corrosión del Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales de la Universidad de Antioquia. El total de datos recolectados fue de 102 para la variable de respuesta (porcentaje de superficie corroída), los cuales fueron reportados en el informe de resultados de ensayo de cámara de niebla salina (ANEXO D) con la certificación y aprobación de la Universidad de Antioquia.

Al término de este proceso se observó y clasificó el grado de herrumbre sobre cada una de las placas, teniendo en cuenta además si tenían mancha de herrumbre (S), herrumbre general (G) o puntos de corrosión (P), para determinar el porcentaje de superficie corroída según la norma ASTM – D 610 – 01, lo cual nos permitió analizar visualmente las propiedades anticorrosivas de cada formulación y así, en conjunto con un análisis estadístico de los datos obtenidos, determinar cuál de las formulaciones desarrolladas fue la mejor.

Figura 3. Resultados generales del ensayo de cámara de niebla salina.



Fuente: Arroyo, G. *et ál.* (2011).

Los resultados de este procedimiento, para cada una de las formulas desarrolladas, fueron los siguientes:

Tabla 6. Resultados de las formulaciones

Numero de la Formula	Factores				Variable De Respuesta
	A	B	C	D	Superficie Corroída (%)
1	-	+	-	+	16
2	-	-	-	+	16
3	-	+	+	+	10
4	-	+	-	-	16
5	-	-	+	-	10
6	-	+	+	-	16
7	-	-	-	-	16
8	-	-	+	+	33
9	+	-	+	-	10
10	+	-	-	+	10
11	+	+	+	+	16
12	+	+	-	-	33
13	+	+	-	+	10
14	+	+	+	-	10
15	+	-	-	-	16
16	+	-	+	+	50

Fuente: Elaborada en la presente investigación.

Donde la variable de respuesta (y) fue el porcentaje de superficie corroída de acuerdo al grado de herrumbre de las piezas (Norma ASTM – D 610 – 01), caracterizado de la siguiente manera:

Tabla 7. Escala y descripción de los grados de herrumbre

Grado de Herrumbre	Porcentaje de Superficie Corroída	Herrumbres		
		Mancha (S)	General (G)	Puntos (P)
10	Menor o Igual a 0.01%	Ninguna		
9	Entre 0.01% y 0.03%	9-S	9-G	9-P
8	Entre 0.03% y 0.1%	8-S	8-G	8-P
7	Entre 0.1% y 0.3%	7-S	7-G	7-P
6	Entre 0.3% y 1%	6-S	6-G	6-P
5	Entre 1% y 3%	5-S	5-G	5-P
4	Entre 3% y 10%	4-S	4-G	4-P
3	Entre 10% y 16%	3-S	3-G	3-P
2	Entre 16% y 33%	2-S	2-G	2-P
1	Entre 33% y 50%	1-S	1-G	1-P
0	Mayor a 50%	Ninguna		

Fuente: Elaborada en la presente investigación (Norma ASTM – D 610 – 01).

En base a los resultados obtenidos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA), utilizando el software de herramientas estadísticas STATGRAPHICS, para determinar qué factores son los que estadísticamente tienen mayor influencia sobre el potencial del recubrimiento para prevenir la corrosión.

3.5.3. Comparación del recubrimiento anticorrosivo

Durante el proceso de evaluación del potencial anticorrosivo del recubrimiento obtenido, se aplicó un recubrimiento comercial sobre una placa adicional, la cual se ingreso a la cámara para el ensayo de niebla salina junto con el resto de placas, a las cuales se le aplicaron las formulaciones desarrolladas durante el diseño experimental.

Al final del ensayo de cámara de niebla salina, se tuvo en cuenta la mejor formulación obtenida del proceso experimental para realizar la comparación del recubrimiento obtenido con el recubrimiento comercial mediante un análisis comparativo, en el que se compararon la eficiencia para prevenir y controlar la corrosión de ambos recubrimientos.

Además de la eficiencia, se realizaron comparaciones entre los recubrimientos mediante observaciones finales después de la fase de evaluación del potencial anticorrosivo, tales como la cantidad de óxidos dispersos y porcentaje de superficie corroída de las placas.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. DESARROLLO DE LAS FORMULACIONES PARA LA OBTENCIÓN DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO

Para determinar las cantidades exactas de cada componente del recubrimiento anticorrosivo desarrollado, se realizó la revisión de diversos artículos de investigación basados en la preparación y análisis de recubrimientos en donde se muestran las cantidades de cada componente.

Luego de esta revisión, se fijaron los niveles de cada factor en base a una composición porcentual del peso total de los componentes del recubrimiento, es decir, el porcentaje en peso %p/p (Gonçalves, 2011). Para esto se fijó una base de cálculo de 80g, con el fin de no utilizar grandes cantidades de solvente y resina polimérica, ya que esto también habría demandado grandes cantidades de pigmentos.

El utilizar cantidades exageradas de pigmentos aumenta la tendencia a la formación de grietas y porosidad demasiado elevada en las pinturas (Giudice, 2009).

Los porcentajes en peso que se utilizaron para fijar los niveles fueron los siguientes:

Tabla 8. Composición porcentual de los niveles

Base de Cálculo (g)		80	Densidad del Limoneno (g/mL)		0.84
Nivel 1			Nivel 2		
Factor	Porcentaje	Cantidad	Factor	Porcentaje	Cantidad
A	24%	19.2g	A	30%	24g
B	56%	53.3mL	B	50%	47.6mL
C+D	20%	16g	C+D	20%	16g
C	17.1%	13.7g	C	2.9%	2.3g
D	2.9%	2.3g	D	17.1%	13.7g

Fuente: Elaborada en la presente investigación (Gonçalves, 2011)..

Una vez fijados los niveles de cada factor, se procedió a preparar las 16 formulas tal y como se organizaron en el diseño experimental.

Este procedimiento experimental se llevo a cabo en el Laboratorio de Ciencia de los Materiales del programa de Ingeniería Química de la Universidad de Cartagena, donde una vez conseguidos los componentes y materiales necesarios para realizar los experimentos, se inició numerando y organizando los recipientes de las formulaciones como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Recipientes para las formulaciones



Fuente: Elaborada en la presente investigación.

A continuación, se procedió con la preparación de cada una de las formulaciones empezando por agregar las cantidades específicas de solvente (limoneno) a cada recipiente, para luego agregar la resina (poliestireno expandido reciclado) en cada uno de estos, con el fin de facilitar la disolución del icopor en el limoneno.

Posteriormente, se agregaron los pigmentos (dióxido de titanio y óxido de zinc) en sus respectivas cantidades a cada una de las mezclas de solvente-resina previamente

elaboradas. La adición del aditivo (octoato de cobalto) en cada una de las formulaciones se realizó solo al final de los experimentos como se observa en la Figura 5, debido a la acción de secado rápido que le brinda al recubrimiento.

Figura 5. Mezclado final de la formulación



Fuente: Elaborada en la presente investigación.

Al finalizar la fase preparación de las formulaciones para el diseño experimental planteado, se realizó la adquisición de las placas de acero al carbono con medidas de 7 x 10 cm y espesor de 3 mm según la norma ASTM – B 117 – 03 para el posterior ensayo en cámara de niebla salina.

Estas placas, fueron las probetas durante el ensayo en cámara de niebla salina, se sometieron a un proceso de preparación de la superficie que consistió en la limpieza con etanol y lijado con papel de lija calibre 60 (Gruesa – Especial para metales), retirando óxidos e impurezas que pudieran alterar el rendimiento del recubrimiento.

Las placas utilizadas para la aplicación del recubrimiento (Figura 6), se dejaron reposar por 2 horas, con el fin de permitir la evaporación del alcohol y posteriormente aplicar sobre cada placa las formulaciones antes desarrolladas. El número total de placas fue de 17, debido a que se aplicaría sobre una última placa un recubrimiento comercial (Figura 7) para su posterior comparación con las formulaciones elaboradas.

Figura 6. Placas utilizadas para la aplicación del recubrimiento



Fuente: Elaborada en la presente investigación.

Figura 7. Recubrimiento anticorrosivo comercial

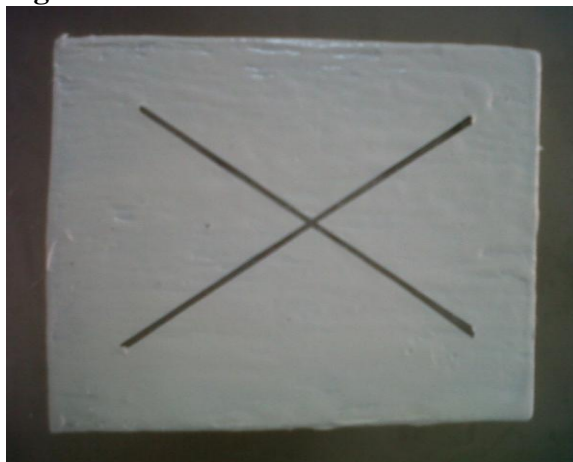


Fuente: Elaborada en la presente investigación.

A continuación, se aplicó una formulación a cada placa en ambas caras utilizando una brocha delgada, la cual se se numeraba en función de la fórmula aplicada, siendo la placa No. 17 la correspondiente al recubrimiento comercial.

Por último, se dejó curar el recubrimiento obtenido y el comercial aplicado sobre cada placa durante 24 horas (tiempo para secado de pinturas), para finalizar marcando con una indentación en forma de “X” a todas las placas tal y como se observa en la Figura 8.

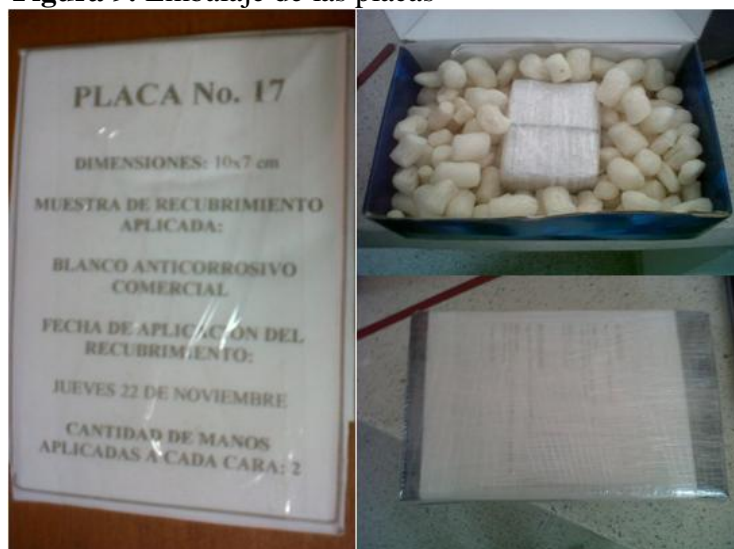
Figura 8. Placas con indentación en “X”



Fuente: Elaborada en la presente investigación.

Las probetas listas para el ensayo en cámara de niebla salina, fueron selladas y empacadas (Figura 9), para su posterior envío a la Universidad de Antioquia en Medellín, donde se utilizaron los servicios para el ensayo mencionado.

Figura 9. Embalaje de las placas



Fuente: Elaborada en la presente investigación.

4.2. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ANTICORROSIVO DEL RECUBRIMIENTO

4.2.1. Interpretación de los resultados

Con la recepción de las placas por parte del personal de la Universidad de Antioquia en el centro de investigación, innovación y desarrollo de materiales (CIDEMAT), se llevó a cabo el ensayo en cámara de niebla salina según la Norma ASTM – B 117 – 03 para la evaluación del potencial anticorrosivo del recubrimiento obtenido y del recubrimiento comercial para su comparación.

Los resultados del ensayo en cámara de niebla salina, mostraron el porcentaje superficie corroída de cada una de las probetas como se puede observar en la Tabla 9. Para resultados mas detallados, en los diferentes tiempos a los que se registraron datos como el grado de herrumbre en cada placa, ver Anexo D.

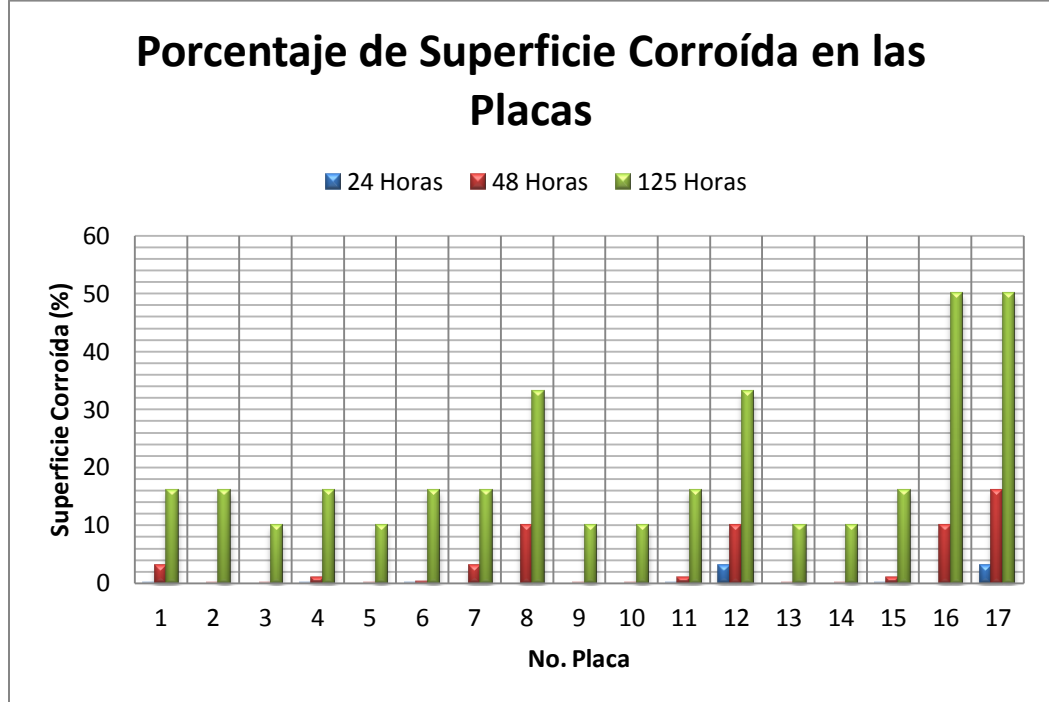
Tabla 9. Porcentajes de superficie corroída después de 125 horas

Muestra	Superficie Corroída (%)	Muestra	Superficie Corroída (%)
1	16	9	10
2	16	10	10
3	10	11	16
4	16	12	33
5	10	13	10
6	16	14	10
7	16	15	16
8	33	16	50
17 (Recubrimiento Comercial)		50%	

Fuente: Elaborada en la presente investigación (CIDEMAT – Universidad de Antioquia).

Los resultados del porcentaje de superficie corroída en cada una de las probetas, registrados en diferentes momentos del ensayo por parte de la Universidad de Antioquia, se pueden representar gráficamente, como muestra la Figura 10.

Figura 10. Resultados del ensayo en cámara de niebla salina



Fuente: Elaborada en la presente investigación (CIDEMAT – Universidad de Antioquia).

De esta grafica se pudo observar que las placas a las que se aplicaron las formulaciones 3, 5, 9, 10, 13 y 14 no presentaron oxidación en su superficie a las 24 y 48 horas, pero si un grado de herrumbre 4G después de 125 horas en la cámara salina según la norma ASTM – D 610 – 01, lo cual corresponde a un porcentaje del 10% de superficie corroída, exhibiendo un muy buen comportamiento frente al fenómeno corrosivo. Mientras que las placas recubiertas con la formulación 16 y el recubrimiento comercial (17), tienen los peores resultados, manifestando un grado de herrumbre 1G y 1S respectivamente, después de 125 horas en la cámara salina, según la norma antes mencionada, equivalente a un porcentaje del 50% de superficie corroída en ambas probetas.

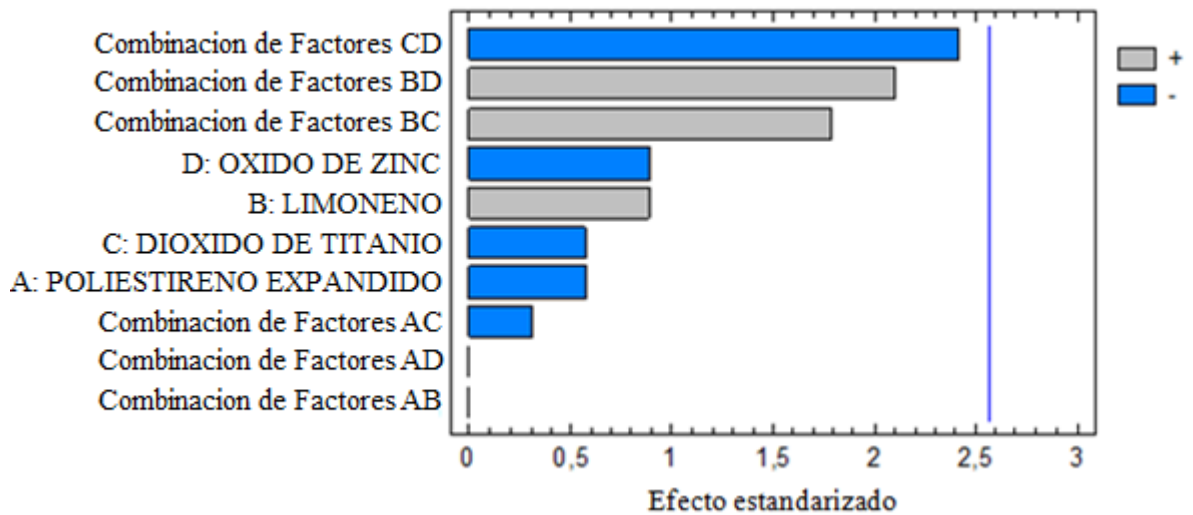
4.2.2. Análisis estadístico de los resultados

Además de la interpretación y análisis visual de los resultados, se efectuó un análisis de varianza (ANOVA) con ayuda del software de herramientas estadísticas STATGRAPHICS, como complemento del estudio realizado, con el fin de considerar no sólo la intervención

de los factores por una simple inspección visual, sino también, determinar cuáles de estos factores son los que estadísticamente tienen mayor influencia sobre el potencial del recubrimiento, para prevenir la corrosión según los resultados obtenidos por la variable respuesta para cada una de las formulaciones (Tabla 6).

Los resultados arrojados por el software STATGRAPHICS, después de ingresar cada dato de la Tabla 6, fueron representados en un diagrama de pareto (Figura 11), el análisis permitió realizar una revisión e interpretación más cuidadosa de los datos estadísticos que se manejaron con esta herramienta.

Figura 11. Diagrama de pareto estandarizado para superficie no corroída



Fuente: Elaborada en la presente investigación (Software STATGRAPHICS).

Teniendo en cuenta la información otorgada en el informe de resultados del ensayo en cámara de niebla salina (ANEXO D) por parte de CIDEMAT de la Universidad de Antioquia y los datos arrojados por el software STATGRAPHICS en el análisis de varianza (ANOVA) representado en el diagrama de pareto, se observó e interpretó que entre los factores individuales, los más influyentes fueron la cantidad de limoneno y oxido de zinc agregada al recubrimiento, las cuales entre más altas y bajas sean respectivamente, mayor será el rendimiento de este recubrimiento en la protección contra la corrosión. Esto se explica no solo por lo analizado en el diagrama de pareto y observado en los resultados,

sino también por distintos investigadores como Chaieb y colaboradores (2009), Lahhit y colaboradores (2011), quienes encontraron que el limoneno se adsorbe espontáneamente sobre la superficie del metal (adsorción física como resultado de fuerzas electroactivas entre la inhibición de dobles enlaces de limoneno y la carga eléctrica de la superficie del metal), actuando como un inhibidor de tipo mixto. La adsorción de las moléculas de limoneno sobre la superficie del metal forma una barrera que impide el libre acceso de los iones de hidrógeno a la superficie de acero y por tanto su reducción en los sitios catódicos, mejorando significativamente las propiedades anticorrosivas del recubrimiento.

En cuanto a los pigmentos, óxido de zinc (ZnO) y dióxido de titanio (TiO₂), ambos mostraron influencia estadística al usar bajas cantidades de estos, pero el primero tiene la mayor influencia según la Figura 11. Abdel-Gaber y colaboradores (2010) indicaron que la presencia de ZnO o TiO₂ tiene un efecto positivo en la eficiencia de la protección de las pinturas, sin embargo, la presencia de ZnO ofrece mayor resistencia a la corrosión que el TiO₂. Este comportamiento se debe a los fenómenos de actividad fotocatalítica del TiO₂, que degradan materiales poliméricos. Así mismo, recomendaron que para mejorar la durabilidad de los recubrimientos, la actividad fotocatalítica de TiO₂ se debe minimizar, ya que los paneles de acero revestidos con gran cantidad de TiO₂ tenían un alto grado de formación de ampollas.

El buen comportamiento del óxido de zinc frente a la corrosión se debe a que este pigmento, debido a su alta alcalinidad, es reactivo con ligantes de alta acidez (por ejemplo, pinturas oleo-resinosas), generando jabones que endurecen fuertemente la película, pero que también la fragilizan en forma muy sensible, por lo que se deben evitar concentraciones exageradas en la formulación. Los citados jabones, le confieren alta resistencia a la humedad y particularmente a la abrasión. El óxido de zinc absorbe la radiación UV que se refracta en la interfase película-aire, resultando en consecuencia un muy buen protector de la degradación del material formador de película cuando ésta se encuentra expuesta en exteriores (Giudice, 2009).

En lo referente al poliestireno expandido reciclado, se observó que es un factor poco influyente en las propiedades anticorrosivas del recubrimiento, teniendo en cuenta el análisis de varianza (ANOVA) realizado, pero de mucha importancia en la formulación de los recubrimientos estudiados, aportando las características de adherencia sobre la superficie del metal.

Pachon y Uribe (2008), encontraron que las soluciones poliméricas son de rápida evaporación, por lo tanto, presentan ventajas en el tiempo de secado, formando películas duras, resistentes a la abrasión, a la intemperie y una buena adherencia que se caracteriza por la fuerza de enlace existente entre la película seca y el material sobre el que se encuentra aplicada. Dado que las fuerzas de atracción que hacen que los átomos se atraigan empiezan a ser importantes a distancias suficientemente cortas, es trascendental conseguir que la capa de pintura moje la superficie desplazando al aire y a otros materiales adsorbidos. Para que una pintura moje la superficie, deberá tener una tensión superficial igual o inferior a la tensión superficial crítica del sólido, que es una medida de la facilidad para ser mojada, por lo que recomiendan una muy buena limpieza de la superficie antes de pintarla, ya que las superficies limpias tienen una tensión superficial mayor.

Zumelzu y colaboradores (2006), consideran que una adecuada adhesión entre sustratos laminados metal-polímeros, está determinada por la existencia de superficies a nivel de interfase libre de defectos y de contaminación, estados de oxidación que favorecen la unión química y una cierta rugosidad a escala nanométrica que permite una unión mecánica del film protector sobre la superficie metálica.

Desde un punto de vista molecular, la adherencia de los recubrimientos se rige principalmente de la química orgánica, con la formación de enlaces covalentes en la interfaz adhesivo/adherente o interacciones ácido-base. También por fuerzas electrostáticas que siguen la ley de Coulomb y, en menor medida, la ley de fuerza-distancia de Van der Waals, para el caso de materiales de electronegatividad sustancialmente diferente (Instituto de Promoción Cerámica, 2008; Rodríguez-Pérez, 2012).

De hecho, los adhesivos más interesantes respecto a sus propiedades, están basados en materiales orgánicos, principalmente poliméricos o que se vuelven poliméricos durante la formación de la unión adhesiva. Las características físico/químicas de los adhesivos son funciones propias de los compuestos poliméricos, en su respuesta a variaciones térmicas o aplicación de fuerzas, jugando un papel importante la viscoelasticidad lineal en función de la temperatura y el tiempo (Instituto de Promoción Cerámica, 2008).

Este análisis de varianza arrojó la influencia que tienen las combinaciones de factores desde el punto de vista estadístico sobre la prevención y control de la corrosión, lo cual permitió confirmar las conclusiones sobre los factores más relevantes, es decir, las altas cantidades de limoneno y las bajas cantidades de óxido de zinc. Esto se verificó revisando cuidadosamente el diagrama de Pareto junto con la tabla 6 (resultados de las formulaciones), en donde se observó que la primera combinación de factores, es decir, cantidad de dióxido de titanio con cantidad de óxido de zinc, indicó que al usar cantidades diferentes para cada factor, independientemente cual sea la cantidad, esta combinación resultó ser altamente influyente sobre las propiedades para el control de la corrosión del recubrimiento. Al ser esto un análisis estadístico de los datos, se revisaron cada una de las formulaciones en la tabla donde se manejaron cantidades diferentes para ambos pigmentos, encontrando un mayor número de formulaciones con bajos porcentajes de superficie corroída cuando se utilizó baja cantidad de óxido de zinc. Este procedimiento se realizó de igual manera para el análisis de las demás combinaciones de factores, llegando a la conclusión antes mencionada para el limoneno, es decir, el uso de altas cantidades del mismo en la formulación. El software STATGRAPHICS también permitió realizar un análisis de varianza con combinación de tres (3) factores, pero al momento de revisar estos resultados, se observó que de estas combinaciones, las que presentaron mayor influencia sobre la protección contra la corrosión, llegaron a ser menos responsables de evitar la corrosión que aquellas combinaciones de alta influencia estadística de dos (2) factores, razón por la cual no se considero necesario mostrar este análisis de varianza.

4.3. COMPARACION DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO

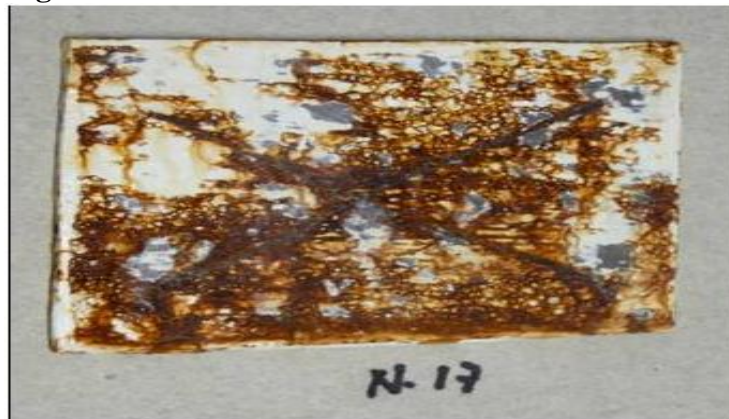
Después de una inspección visual, por su apariencia física (poco chorreado de la superficie) y sus buenas características en el metal base, al revisar la superficie por debajo del recubrimiento, se logró determinar que el mejor recubrimiento fue el que se desarrollo bajo la formulación No. 10 (Figura 12), el cual se comparó con el recubrimiento comercial (Figura 13).

Figura 12. Probeta No. 10



Fuente: Elaborada en la presente investigación
(CIDEMAT – Universidad de Antioquia)

Figura 13. Probeta No. 17



Fuente: Elaborada en la presente investigación
(CIDEMAT – Universidad de Antioquia)

Por ende, con una simple inspeccion visual, se pudo resaltar el mal comportamiento frente al control de la corrosion del recubrimiento comercial (Figura 13), al compararlo con el recubrimiento obtenido (Figura12), se observó gran cantidad de oxidos dispersos asi como espacios donde la pintura se desprendio, exponiendo directamente el metal al medio corrosivo, lo que aceleró la formacion de oxidos y compuestos ferrosos. Ninguna de las 16 formulaciones desarrolladas en el presente proyecto presentó ampollamiento, caso contrario a lo que sucedió con el recubrimiento comercial.

Como se aprecia en la Tabla 11, a las 24 horas el recubrimiento comercial cuenta con un grado de ampollamiento de 8M (tamaño más pequeño de ampollas fácilmente apreciable a simple vista, con una frecuencia media) y a las 125 horas un grado de ampollamiento 4MD (ampollas grande y una frecuencia medianamente densa) según la norma ASTM D714-02.

En cuanto al porcentaje de superficie corroida, el recubrimiento desarrollado superó ampliamente al recubrimiento comercial, debido a que a las 24 horas la placa No. 10 no presentó oxidación en la superficie, mientras que la placa No. 17 presentó un grado de herrumbre de 5G (oxidación general, que se produce cuando diversos tamaños de manchas de oxido, se distribuyen aleatoriamente a través de la superficie), lo que indicó un 3% de superficie corroida, a las 48 horas la placa No. 10 presentó un grado de herrumbre 9G (oxidacion general), lo que indicó un 0.03 % de superficie corroida, mientras que la placa No. 17 presentó un grado de herrumbre de 3G, lo que indicó un 16% de superficie corroida y a las 125 horas la placa No. 10 se destacó sobre la placa No. 17 con un grado de herrumbre de 4G, lo que indico un 10% de superficie corroida en comparacion con un grado de herrumbre 1S (manchas de óxido, que se produjeron cuando la mayor parte de la oxidación se concentró en pocas áreas localizadas de la superficie pintada), correspondiente a un 50% de superficie corroida según la norma ASTM – D 610 – 01, demostrando que el recubrimiento desarrollado a base componentes como el limoneno (solvente narual) y poliestireno expandido (EPS) reciclado, es mucho mejor que el recubrimiento comercial a base de aceite (esmalte), gracias a las acciones conjuntas de los factores altamente influyentes en las propiedades anticorrosivas de dicho recubrimiento.

Tabla 10. Resultados comparativos del ensayo en cámara de niebla salina

EVALUACIÓN DE PIEZAS			MUESTRAS	
			Placa No. 10	Placa No. 17
24 Horas	Ampollamiento	SI/NO	NO	SI
		#	10	8M
	Superficie Corroída	SI/NO	NO	SI=5G
		%	0	3
48 Horas	Ampollamiento	SI/NO	NO	SI
		#	10	6M
	Superficie Corroída	SI/NO	SI=9G	SI=3G
		%	0.03	16
125 Horas	Ampollamiento	SI/NO	NO	SI
		#	10	4MD
	Superficie Corroída	SI/NO	SI=4G	SI=1S
		%	10	50

Fuente: Elaborada en la presente investigación (CIDEMAT – Universidad de Antioquia).

Un aspecto positivo del recubrimiento comercial, es su facilidad de aplicación debido a la gran diversidad de aditivos que posee, y a las distintas pruebas a las que fue sometido (las pruebas reológicas y de propiedades mecánicas, están fuera del alcance de esta investigación), así mismo presentó mejores propiedades de secado que el recubrimiento desarrollado.

5. CONCLUSIONES

En este proyecto de investigación se logró comprobar que el recubrimiento anticorrosivo obtenido a partir de poliestireno expandido y limoneno, es una alternativa para controlar la corrosión y conservar el medio ambiente, lo cual coincide con la literatura consultada a lo largo del proyecto. Además, se demostró que la mejor formulación es la No. 10, ya que al finalizar el ensayo en cámara de niebla salina, la probeta a la que se aplicó, presentó una buena apariencia física y un porcentaje bajo de superficie corroída.

Al comparar la formulación No. 10 con el recubrimiento comercial, se concluye que el recubrimiento desarrollado posee mejores propiedades para el control de la corrosión, pues la probeta a la que fue aplicada, solo presentó un 10% de superficie corroída, frente al 50 % de superficie corroída de la probeta a la que se le aplicó el recubrimiento comercial.

El uso del limoneno como componente del recubrimiento es muy importante, ya que gracias a sus propiedades químicas, es la sustancia principal que brinda las propiedades anticorrosivas, a diferencia de los solventes a base de petróleo, es amigable con el medio ambiente y no causa problemas de salud en los seres humanos.

La utilización de pigmentos como el dióxido de titanio y el óxido de zinc en la formulación de recubrimientos anticorrosivos cobra relevancia gracias a su buena capacidad para absorber radiación electromagnética en la zona de la fracción UV, brindando protección tanto a los sustratos como al propio material formador de película de la pintura, logrando reducir la degradación fotoquímica de las películas aplicada en exteriores. Los pigmentos deben ser agregados en pocas cantidades, debido a que el dióxido de titanio en altas concentraciones posee un alto grado de formación de ampollas, y el óxido de zinc debido a su fuerte alcalinidad genera jabones que endurecen fuertemente la película pero que en elevadas concentraciones también la fragilizan de forma muy sensible.

Fueron resultados inesperados en este proyecto de investigación, las buenas propiedades anticorrosivas del recubrimiento obtenido frente a las propiedades del recubrimiento comercial anticorrosivo utilizado durante el desarrollo de este proyecto, por ser un recubrimiento totalmente innovador, no se esperaron resultados tan sobresalientes, a pesar de las bases que existían sobre el limoneno, el cual posee buenas propiedades como inhibidor de corrosión. Además de las propiedades anticorrosivas, no se esperó una buena adherencia del recubrimiento a las probetas en comparación con el recubrimiento comercial, lo cual se dedujo debido a la formación de ampollas y al fácil desprendimiento del recubrimiento comercial de la placa en la que se aplicó.

Las principales limitaciones que se presentaron durante el desarrollo de este proyecto fueron, la falta de recursos físicos y económicos, lo cual limitó directamente la ejecución de réplicas para cada una de las pruebas realizadas a nivel de laboratorio, no solo para el desarrollo de las formulaciones, sino también para el ensayo en cámara de niebla salina, esto con el fin de reducir los errores experimentales. Por estas razones no se llevaron a cabo la evaluación de la viscosidad y del tiempo de secado del recubrimiento.

6. RECOMENDACIONES

Al realizar un estudio más amplio es recomendable analizar variables tales como el tiempo de secado, formación de ampollas, facilidad de aplicación y viscosidad para saber que tanto influyen en las propiedades anticorrosivas del recubrimiento y su implementación a nivel industrial.

Realizar el estudio de factibilidad económica, para conocer qué tan rentable y viable es la producción a nivel industrial de este recubrimiento anticorrosivo, evaluando la posibilidad de usar otros materiales poliméricos con propiedades similares y solventes naturales de acuerdo a la disponibilidad en la región, considerando reducir aún más la presión ejercida por los plásticos al ambiente.

Utilizar mayor cantidad de limoneno para obtener un recubrimiento de menor viscosidad, lo que facilita su aplicación y a su vez mejora sus propiedades anticorrosivas, considerando además un método que permita neutralizar considerablemente el penetrante olor a cítrico que desprende este solvente.

Para manejar un mínimo error experimental en las distintas pruebas experimentales, se recomienda llevar a cabo por lo menos una réplica de cada una de estas, así como evaluar mayor cantidad de factores y niveles, es decir, considerar el uso de un mayor número de componentes que puedan aportar a las propiedades anticorrosivas del recubrimiento, entre los cuales podrían considerarse más variedad de pigmentos y diferentes tipos de poliestireno expandido.

Se recomienda complementar los resultados obtenidos mediante la norma ASTM – D 610 – 01, usada para determinar el grado de herrumbre y a su vez el porcentaje de superficie corroída en las probetas, con métodos electroquímicos más exacto que no se base únicamente en la inspección visual, pues este tiende a ser muy subjetivo al momento de reportar los resultados.

En futuras investigaciones, sería muy provechoso, además de utilizar el ensayo de cámara de niebla salina, usar otras técnicas más avanzadas como la microscopia electrónica de barrido, para contar con más datos, información y herramientas a la hora de analizar los resultados y llegar a nuevas conclusiones.

REFERENCIAS

- Aarnio, T., Hämäläinen, A. (2008). Challenges in packaging waste management in the fast food industry. *Conservation and Recycling*, 52: 4, 612-621
- Abdel-Gaber, A.M., et ál. (2010). Influence of natural inhibitor, pigment and extender on corrosion of polymer coated steel. *Progress in Organic Coatings*, 69, 402–409.
- Achilias, D.S., Giannoulis, A., Papageorgiou, G. (2009). Recycling of polymers from plastic packaging materials using the dissolution–reprecipitation technique. *Polym. Bull*, 63, 449–465
- Ahmad, S. (2003). Reinforcement corrosion in concrete structures, its monitoring and service life prediction—a review. *Cem. Concr. Compos.* (25) 459–471.
- Ahmad, Z. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*, Capítulo 1. 1-8
- Arroyo, G. et ál. (2011). Evaluación de dos pinturas en el acero SAE 1010 utilizando formulaciones de ácido tánico y fosfórico como convertidores de óxidos. *Memorias del XVII congreso internacional anual de la SOMIM*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Arvanitoyannis, I. S., Bosnea, L. A. (2001). Recycling of polymeric materials used for food packaging: current status and perspectives. *Food Reviews International*, 17:3, 291-346
- Arvanitoyannis, I. (2008). *Waste Management in Food Packaging Industries*. Washington: Elsevier.

CCI S.A. Ficha Técnica. Octoato de Cobalto. (s.f.) Recuperado el 17 de abril de 2012, de http://www.plastiref.cl/images/stories/PDF/115_OCTOATO%20DE%20COBALTO_6_T.pdf

Chaieb, E., Bouyanzer, A., Hammouti, B., Benkaddour, B. (2005). Inhibition of the corrosion of steel in 1 M HCl by eugenol derivatives. *Appl. Surf. Sci.*, 246, 199-206

Chaieb, E., Bouyanzer, A., Hammouti, B., Benkaddour, B. (2009). Limonene as Green Inhibitor for Steel Corrosion in Hydrochloric Acid Solutions. *Acta Physico Chimica Sinica*, 25(7), 1254-1258

Chunyong Wu., Bell J.P. (2003): Drying and property studies on protective coatings formed by spontaneous surface polymerization, *The Journal of Adhesion*, 79:8-9, 777-804.

CORQUIVEN C.A. Junio 2007. Material Safety Data Sheet. Octoato de Cobalto. Recuperado el 17 de abril de 2012, de <http://www.corquiven.com.ve/PDF/MSDS-OCTOATO-DE-COBALTO.pdf>

Ebewele, R.O. (2000). *Polymer Science and Technology*. New York: CRC Press. p. 429 – 432

Florida Chemical Company Inc. May 2006. Material Safety Data Sheet. Technical Grade d-Limonene. Recuperado el 17 de abril de 2012, de http://www.floridachemical.com/301000_Technical_Grade_d-Limonene_MSDS.pdf

García, M. et ál. (2009a). Recycling extruded polystyrene by dissolution with suitable solvents. *J Mater Cycles Waste Manag*, 11, 2–5

García, M., et ál. (2009b). Study of the solubility and stability of polystyrene wastes in a dissolution recycling process. *Waste Management*, 29, 1814–1818

Giudice, C.A., Pereyra, A.M. (2009). *Tecnología de Pinturas y Recubrimientos: Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad*. Buenos Aires: Edutecne.

Gonçalves, G.S., et ál. (2011). Alkyd coatings containing polyanilines for corrosion protection of mild steel. *Synthetic Metals*, 161, 313–323.

Gudze, M., Melchers, R. (2008). Operational based corrosion analysis in naval ships. *Corros. Sci.*, 50, 3296–3307.

Hattori, K., et ál. (2010). Dissolution of polystyrene into p-cymene and related substances in tree leaf oils. *J Wood Sci*, 56, 169–171

Huu, N. (2004). The inhibition of copper corrosion in aqueous environments heterocyclic compounds. Tesis de doctorado. Universidad Tecnológica de Queensland, Australia.

Instituto de Promoción Cerámica. La Adherencia Química. (2008) Recuperado el 07 de marzo de 2013, de http://www.ipc.org.es/guia_colocacion/info_tec_colocacion/mat_agarre/adherencia/adh_quimica.html

Kan, A., Demirboga, R. (2009). A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates. *Journal of materials processing technology*. 209, 2994–3000

Karaduman, A. (2002). Thermal degradation of polystyrene wastes in various solvents. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 62, 273–280

Kelly, R. G., Scully, J. R. (2002). *Electrochemical Techniques in Corrosion Science and Engineering*. New York: Marcel Dekker, Inc.

Kendig, M., Hon, M., Warren, L. (2003). 'Smart' corrosion inhibiting coatings. *Progress in Organic Coatings*, 47, 183-189.

Kim, J. (2002). Catalytic recycling of the mixture of polypropylene and polystyrene. *Polymer Degradation and Stability*, 76: 1, 61-67

Lahhit, N., et ál. (2011). Fennel (*Foeniculum Vulgare*) Essential Oil as Green Corrosion Inhibitor of Carbon Steel in Hydrochloric Acid Solution. *Portugaliae Electrochimica Acta*, 29(2), 127-138

Morrison, R.T., Boyd, R.N. (1998). *Química Orgánica*. Quinta Edición. Naucalpan de Juarez: Pearson.

NACE International. (2002). *Glossary of Corrosion-Related Terms*. Washington: NACE Editorial.

Navarro, J.M., Garcia, J.L., Agueda, E., Gomez, T. (2010). *Tratamiento y Recubrimiento de Superficies*. Madrid: Ediciones Paraninfo.

Nervion Pinturas. *Historia de las Pinturas*. (s.f.) Recuperado el 30 de julio de 2012, de http://www.nervion.com.mx/web/conocimientos/historia_pinturas.php

Nicholls, J.R., et ál. (2001). Smart overlay coatings – concept and practice. *Surface and Coatings Technology*, 149, 236-244.

Pachon, D.Y., Uribe Z.N., (2008). Utilización de poliestireno post-consumo como aditivo en pinturas tipo laca piroxilina. Tesis de grado en Ingeniería Química. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

- Payá, M. (2004). *Aislamiento Térmico y Acústico*. Barcelona: Ediciones CEAC.
- Rapin, P. J. (1990). *Prontuario del Frio*. Tercera Edición. Barcelona: Reverte.
- Roberge, P. R. (2000). *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: Mc Graw Hill.
- Rodríguez-Pérez, M., et ál. (2012, mayo-agosto). Evaluation of different types of varnishes to protect underwater welding electrodes. *Ingeniería Mecánica*, 15(2), 95-104.
- Sauvant-Moynot, V., Gonzalez, S., Kittel, J. (2008). Self-healing coatings: An alternative route for anticorrosion protection. *Progress in Organic Coatings*, 63, 307-315.
- Schweitzer, P. (2007). *Corrosion of lignings and coatings*. Florida: Taylor & Francis
- Shikata, S. (2011). Dissolution of polystyrene into cyclic monoterpenes present in tree essential oils. *J Mater Cycles Waste Manag*, 13, 127–130
- Shin, Ch., Chase, G. (2005). Nanofibers from recycle waste expanded polystyrene using natural solvent. *Polymer Bulletin*, 55, 209–215
- Song, H., Shen, X., Meng, X. (2010). Superhydrophobic Surfaces Produced by Carbon Nanotube Modified Polystyrene Composite Coating, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 31:11, 1465-1468
- Subramanian, P.M. (2000). Plastics recycling and waste management in the US. *Resources, Conservation and Recycling*, 28, 253–263
- Suyama, K., et ál. (2010). Chemical recycling of networked polystyrene derivatives using subcritical water in the presence of an aminoalcohol. *Polymer Degradation and Stability*, 95, 1588-1592

Swistek, M., Nguyen, G., Nicole, D. (1996). Contribution to the modeling of pre-depolymerisation of polystyrene. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 37, 15-26

Talbert, R. (2008). *Paint Technology Handbook*. New York: CRC Press Taylor & Francis Group.

Uhlig, H.H., Revie, R.W. (2008). *Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering*. Fourth Edition. New Jersey: John Wiley & Sons.

Vashi, E., Kadiya, H. (2009). Corrosion Study of Metals in Marine Environment. *Journal of Chemistry*, 4, 1240-1246.

Zumelzu, E., et ál. (2006). Caracterización superficial de laminados metal-polímeros sometidos a ensayos de adherencia electroquímico-mecánico. CONAMET/SAM.

ANEXOS

ANEXO A. Norma ASTM – B 117 – 03



Designation: B 117 – 03

Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus¹

This standard is issued under the fixed designation B 117; 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 practice covers the apparatus, procedure, and conditions required to create and maintain the salt spray (fog) test environment. Suitable apparatus which may be used is described in Appendix X1.

1.2 This practice does not prescribe the type of test specimen or exposure periods to be used for a specific product, nor the interpretation to be given to the results.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The inch-pound units in parentheses are provided for information and may be approximate.

1.4 *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 Standards:*
 - B 368 Method for Copper-Accelerated Acetic Acid-Salt Spray (Fog) Testing (CASS Test)²
 - D 609 Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings, and Related Coating Products³
 - D 1193 Specification for Reagent Water⁴
 - D 1654 Test Method for Evaluation of Painted or Coated Specimens Subjected to Corrosive Environments³
 - E 70 Test Method for pH of Aqueous Solutions with the Glass Electrode⁵
 - E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G01 on Corrosion of Metals and is the direct responsibility of Subcommittee G01.05 on Laboratory Corrosion Tests.

Current edition approved October 1, 2003. Published October 2003. Originally approved in 1939. Last previous edition approved in 2002 as B 117 – 02.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 02.05.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 06.01.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 11.01.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.05.

⁶ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

G 85 Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing⁷

3. Significance and Use

3.1 This practice provides a controlled corrosive environment which has been utilized to produce relative corrosion resistance information for specimens of metals and coated metals exposed in a given test chamber.

3.2 Prediction of performance in natural environments has seldom been correlated with salt spray results when used as stand alone data.

3.2.1 Correlation and extrapolation of corrosion performance based on exposure to the test environment provided by this practice are not always predictable.

3.2.2 Correlation and extrapolation should be considered only in cases where appropriate corroborating long-term atmospheric exposures have been conducted.

3.3 The reproducibility of results in the salt spray exposure is highly dependent on the type of specimens tested and the evaluation criteria selected, as well as the control of the operating variables. In any testing program, sufficient replicates should be included to establish the variability of the results. Variability has been observed when similar specimens are tested in different fog chambers even though the testing conditions are nominally similar and within the ranges specified in this practice.

4. Apparatus

4.1 The apparatus required for salt spray (fog) exposure consists of a fog chamber, a salt solution reservoir, a supply of suitably conditioned compressed air, one or more atomizing nozzles, specimen supports, provision for heating the chamber, and necessary means of control. The size and detailed construction of the apparatus are optional, provided the conditions obtained meet the requirements of this practice.

4.2 Drops of solution which accumulate on the ceiling or cover of the chamber shall not be permitted to fall on the specimens being exposed.

⁷ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.02.

4.3 Drops of solution which fall from the specimens shall not be returned to the solution reservoir for respraying.

4.4 Material of construction shall be such that it will not affect the corrosiveness of the fog.

4.5 All water used for this practice shall conform to Type IV water in Specification D 1193 (except that for this practice limits for chlorides and sodium may be ignored). This does not apply to running tap water. All other water will be referred to as reagent grade.

5. Test Specimens

5.1 The type and number of test specimens to be used, as well as the criteria for the evaluation of the test results, shall be defined in the specifications covering the material or product being exposed or shall be mutually agreed upon between the purchaser and the seller.

6. Preparation of Test Specimens

6.1 Specimens shall be suitably cleaned. The cleaning method shall be optional depending on the nature of the surface and the contaminants. Care shall be taken that specimens are not recontaminated after cleaning by excessive or careless handling.

6.2 Specimens for the evaluation of paints and other organic coatings shall be prepared in accordance with applicable specification(s) for the material(s) being exposed, or as agreed upon between the purchaser and the supplier. Otherwise, the test specimens shall consist of steel meeting the requirements of Practice D 609 and shall be cleaned and prepared for coating in accordance with the applicable procedure of Practice D 609.

6.3 Specimens coated with paints or nonmetallic coatings shall not be cleaned or handled excessively prior to test.

6.4 Whenever it is desired to determine the development of corrosion from an abraded area in the paint or organic coating, a scratch or scribed line shall be made through the coating with a sharp instrument so as to expose the underlying metal before testing. The conditions of making the scratch shall be as defined in Test Method D 1654, unless otherwise agreed upon between the purchaser and the seller.

6.5 Unless otherwise specified, the cut edges of plated, coated, or duplex materials and areas containing identification marks or in contact with the racks or supports shall be protected with a suitable coating stable under the conditions of the practice.

NOTE 1—Should it be desirable to cut test specimens from parts or from preplated, painted, or otherwise coated steel sheet, the cut edges shall be protected by coating them with paint, wax, tape, or other effective media so that the development of a galvanic effect between such edges and the adjacent plated or otherwise coated metal surfaces, is prevented.

7. Position of Specimens During Exposure

7.1 The position of the specimens in the salt spray chamber during the test shall be such that the following conditions are met:

7.1.1 Unless otherwise specified, the specimens shall be supported or suspended between 15 and 30° from the vertical and preferably parallel to the principal direction of flow of fog through the chamber, based upon the dominant surface being tested.

7.1.2 The specimens shall not contact each other or any metallic material or any material capable of acting as a wick.

7.1.3 Each specimen shall be placed to permit unencumbered exposure to the fog.

7.1.4 Salt solution from one specimen shall not drip on any other specimen.

NOTE 2—Suitable materials for the construction or coating of racks and supports are glass, rubber, plastic, or suitably coated wood. Bare metal shall not be used. Specimens shall preferably be supported from the bottom or the side. Slotted wooden strips are suitable for the support of flat panels. Suspension from glass hooks or waxed string may be used as long as the specified position of the specimens is obtained, if necessary by means of secondary support at the bottom of the specimens.

8. Salt Solution

8.1 The salt solution shall be prepared by dissolving 5 ± 1 parts by mass of sodium chloride in 95 parts of water conforming to Type IV water in Specification D 1193 (except that for this practice limits for chlorides and sodium may be ignored). Careful attention should be given to the chemical content of the salt. The salt used shall be sodium chloride with not more than 0.3 % by mass of total impurities. Halides (Bromide, Fluoride, and Iodide) other than Chloride shall constitute less than 0.1 % by mass of the salt content. Copper content shall be less than 0.3 ppm by mass. Sodium chloride containing anti-caking agents shall not be used because such agents may act as corrosion inhibitors. See Table 1 for a listing of these impurity restrictions. Upon agreement between the purchaser and the seller, analysis may be required and limits established for elements or compounds not specified in the chemical composition given above.

TABLE 1 Maximum Allowable Limits for Impurity Levels in Sodium Chloride^{A,B}

Impurity Description	Allowable Amount
Total Impurities	≤ 0.3 %
Halides (Bromide, Fluoride and Iodide) excluding Chloride	≤ 0.1 %
Copper	< 0.3 ppm
Anti-caking Agents	0.0 %

^A A common formula used to calculate the amount of salt required by mass to achieve a 5 % salt solution of a known mass of water is:

$$.053 \times \text{Mass of Water} = \text{Mass of NaCl required}$$

The mass of water is 1 g per 1 mL. To calculate the mass of salt required in grams to mix 1 L of a 5 % salt solution, multiply .053 by 1000 g (35.27 oz., the mass of 1 L of water). This formula yields a result of 53 g (1.87 oz.) of NaCl required for each liter of water to achieve a 5 % salt solution by mass.

The 0.053 multiplier for the sodium chloride used above is derived by the following:

1000 g (mass of a full L of water) divided by 0.95 (water is only 95 % of the total mixture by mass) yields 1053 g

This 1053 g is the total mass of the mixture of one L of water with a 5% sodium chloride concentration. 1053 g minus the original weight of the L of water, 1000 g, yields 53 g for the weight of the sodium chloride. 53 g of total sodium chloride divided by the original 1000 g of water yields a 0.053 multiplier for the sodium chloride.

As an example: to mix the equivalent of 200 L (52.83 gal) of 5 % sodium chloride solution, mix 10.6 kg (23.37 lb) of sodium chloride into 200 L (52.83 gal) of water. 200 L of water weighs 200,000 g. 200,000 g of water x .053 (sodium chloride multiplier) = 10,600 g of sodium chloride, or 10.6 kg.

^B In order to ensure that the proper salt concentration was achieved when mixing the solution, it is recommended that the solution be checked with either a salimeter hydrometer or specific gravity hydrometer. When using a salimeter hydrometer, the measurement should be between 4 and 6 % at 25°C (77°F). When using a specific gravity hydrometer, the measurement should be between 1.0255 and 1.0400 at 25°C (77°F).

8.2 The pH of the salt solution shall be such that when atomized at 35°C (95°F) the collected solution will be in the pH range from 6.5 to 7.2 (Note 3). Before the solution is atomized it shall be free of suspended solids (Note 4). The pH measurement shall be made at 25°C (77°F) using a suitable glass pH-sensing electrode, reference electrode, and pH meter system in accordance with Test Method E 70.

NOTE 3—Temperature affects the pH of a salt solution prepared from water saturated with carbon dioxide at room temperature and pH adjustment may be made by the following three methods:

(1) When the pH of a salt solution is adjusted at room temperature, and atomized at 35°C (95°F), the pH of the collected solution will be higher than the original solution due to the loss of carbon dioxide at the higher temperature. When the pH of the salt solution is adjusted at room temperature, it is therefore necessary to adjust it below 6.5 so the collected solution after atomizing at 35°C (95°F) will meet the pH limits of 6.5 to 7.2. Take about a 50-mL sample of the salt solution as prepared at room temperature, boil gently for 30 s, cool, and determine the pH. When the pH of the salt solution is adjusted to 6.5 to 7.2 by this procedure, the pH of the atomized and collected solution at 35°C (95°F) will come within this range.

(2) Heating the salt solution to boiling and cooling to 35°C (95°F) and maintaining it at 35°C (95°F) for approximately 48 h before adjusting the pH produces a solution the pH of which does not materially change when atomized at 35°C (95°F).

(3) Heating the water from which the salt solution is prepared to 35°C (95°F) or above, to expel carbon dioxide, and adjusting the pH of the salt solution within the limits of 6.5 to 7.2 produces a solution the pH of which does not materially change when atomized at 35°C (95°F).

NOTE 4—The freshly prepared salt solution may be filtered or decanted before it is placed in the reservoir, or the end of the tube leading from the solution to the atomizer may be covered with a double layer of cheesecloth to prevent plugging of the nozzle.

NOTE 5—The pH can be adjusted by additions of dilute ACS reagent grade hydrochloric acid or sodium hydroxide solutions.

9. Air Supply

9.1 The compressed air supply to the Air Saturator Tower shall be free of grease, oil, and dirt before use by passing through well-maintained filters. (Note 6) This air should be maintained at a sufficient pressure at the base of the Air Saturator Tower to meet the suggested pressures of Table 2 at the top of the Air Saturator Tower.

NOTE 6—The air supply may be freed from oil and dirt by passing it through a suitable oil/water extractor (that is commercially available) to stop any oil from reaching the Air Saturator Tower. Many oil/water extractors have an expiration indicator, proper preventive maintenance intervals should take these into account.

9.2 The compressed air supply to the atomizer nozzle or nozzles shall be conditioned by introducing it into the bottom of a tower filled with water. A common method of introducing the air is through an air dispersion device (X1.4.1). The level of the water must be maintained automatically to ensure adequate humidification. It is common practice to maintain the temperature in this tower between 46 and 49°C (114–121°F) to offset the cooling effect of expansion to atmospheric pressure during the atomization process. Table 2 in 9.3 of this practice shows the temperature, at different pressures, that are commonly used to offset the cooling effect of expansion to atmospheric pressure.

9.3 Careful attention should be given to the relationship of tower temperature to pressure since this relationship can have

a direct impact to maintaining proper collection rates (Note 7). It is preferable to saturate the air at temperatures well above the chamber temperature as insurance of a wet fog as listed in Table 2.

TABLE 2 Suggested Temperature and Pressure guideline for the top of the Air Saturator Tower for the operation of a test at 35°C (95°F)

Air Pressure, kPa	Temperature, °C	Air Pressure, PSI	Temperature, °F
83	46	12	114
96	47	14	117
110	48	16	119
124	49	18	121

NOTE 7—If the tower is run outside of these suggested temperature and pressure ranges to achieve proper collection rates as described in 10.2 of this practice, other means of verifying the proper corrosion rate in the chamber should be investigated, such as the use of control specimens (panels of known performance in the test conducted). It is preferred that control panels be provided that bracket the expected test specimen performance. The controls allow for the normalization of test conditions during repeated running of the test and will also allow comparisons of test results from different repeats of the same test. (Refer to Appendix X3, Evaluation of Corrosive Conditions, for mass loss procedures).

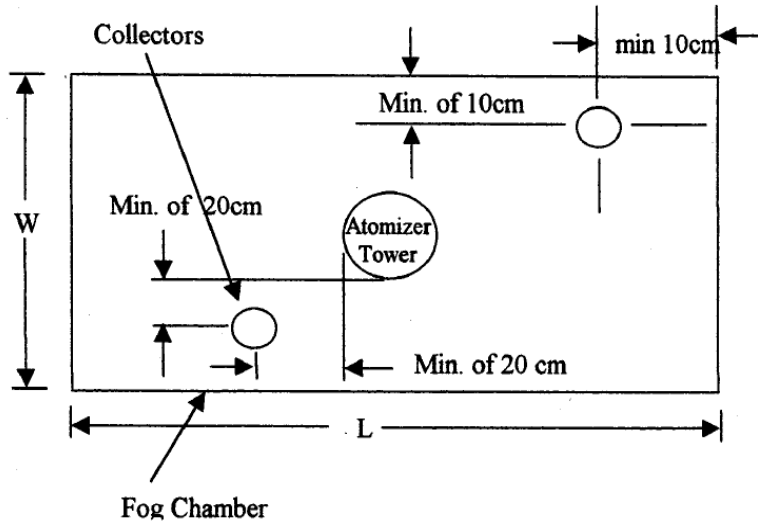
10. Conditions in the Salt Spray Chamber

10.1 *Temperature*—The exposure zone of the salt spray chamber shall be maintained at 35 + 1.1 – 1.7°C (95 + 2 – 3°F). Each set point and its tolerance represents an operational control point for equilibrium conditions at a single location in the cabinet which may not necessarily represent the uniformity of conditions throughout the cabinet. The temperature within the exposure zone of the closed cabinet shall be recorded (Note 8) at least twice a day at least 7 h apart (except on Saturdays, Sundays, and holidays when the salt spray test is not interrupted for exposing, rearranging, or removing test specimens or to check and replenish the solution in the reservoir)

NOTE 8—A suitable method to record the temperature is by a continuous recording device or by a thermometer which can be read from outside the closed cabinet. The recorded temperature must be obtained with the salt spray chamber closed to avoid a false low reading because of wet-bulb effect when the chamber is open.

10.2 *Atomization and Quantity of Fog*—Place at least two clean fog collectors per atomizer tower within the exposure zone so that no drops of solution will be collected from the test specimens or any other source. Position the collectors in the proximity of the test specimens, one nearest to any nozzle and the other farthest from all nozzles. A typical arrangement is shown in Fig. 1. The fog shall be such that for each 80 cm² (12.4 in.²) of horizontal collecting area, there will be collected from 1.0 to 2.0 mL of solution per hour based on an average run of at least 16 h (Note 9). The sodium chloride concentration of the collected solution shall be 5 ± 1 mass % (Notes 9-11). The pH of the collected solution shall be 6.5 to 7.2. The pH measurement shall be made as described in 8.2 (Note 3).

NOTE 9—Suitable collecting devices are glass or plastic funnels with



NOTE—This figure shows a typical fog collector arrangement for a single atomizer tower cabinet. The same fog collector arrangement is also applicable for multiple atomizer tower and horizontal (“T” type) atomizer tower cabinet constructions as well.

FIG. 1 Arrangement of Fog Collectors

the stems inserted through stoppers into graduated cylinders, or crystallizing dishes. Funnels and dishes with a diameter of 10 cm (3.94 in.) have an area of about 80 cm² (12.4 in.²).

NOTE 10—A solution having a specific gravity of 1.0255 to 1.0400 at 25°C (77°F) will meet the concentration requirement. The sodium chloride concentration may also be determined using a suitable salinity meter (for example, utilizing a sodium ion-selective glass electrode) or colorimetrically as follows. Dilute 5 mL of the collected solution to 100 mL with distilled water and mix thoroughly; pipet a 10-mL aliquot into an evaporating dish or casserole; add 40 mL of distilled water and 1 mL of 1 % potassium chromate solution (chloride-free) and titrate with 0.1 N silver nitrate solution to the first appearance of a permanent red coloration. A solution that requires between 3.4 and 5.1 mL of 0.1 N silver nitrate solution will meet the concentration requirements.

NOTE 11—Salt solutions from 2 to 6 % will give the same results, though for uniformity the limits are set at 4 to 6 %.

10.3 The nozzle or nozzles shall be so directed or baffled that none of the spray can impinge directly on the test specimens.

11. Continuity of Exposure

11.1 Unless otherwise specified in the specifications covering the material or product being tested, the test shall be continuous for the duration of the entire test period. Continuous operation implies that the chamber be closed and the spray operating continuously except for the short daily interruptions necessary to inspect, rearrange, or remove test specimens, to check and replenish the solution in the reservoir, and to make necessary recordings as described in Section 10. Operations shall be so scheduled that these interruptions are held to a minimum.

12. Period of Exposure

12.1 The period of exposure shall be as designated by the specifications covering the material or product being tested or as mutually agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 12—Recommended exposure periods are to be as agreed upon between the purchaser and the seller, but exposure periods of multiples of 24 h are suggested.

13. Cleaning of Tested Specimens

13.1 Unless otherwise specified in the specifications covering the material or product being tested, specimens shall be treated as follows at the end of the test:

13.1.1 The specimens shall be carefully removed.

13.2 Specimens may be gently washed or dipped in clean running water not warmer than 38°C (100°F) to remove salt deposits from their surface, and then immediately dried.

14. Evaluation of Results

14.1 A careful and immediate examination shall be made as required by the specifications covering the material or product being tested or by agreement between the purchaser and the seller.

15. Records and Reports

15.1 The following information shall be recorded, unless otherwise prescribed in the specifications covering the material or product being tested:

15.1.1 Type of salt and water used in preparing the salt solution,

15.1.2 All readings of temperature within the exposure zone of the chamber,

15.1.3 Daily records of data obtained from each fog-collecting device including the following:

15.1.3.1 Volume of salt solution collected in millilitres per hour per 80 cm² (12.4 in.²),

15.1.3.2 Concentration or specific gravity at 35°C (95°F) of solution collected, and

15.1.3.3 pH of collected solution.

- 15.2 Type of specimen and its dimensions, or number or description of part.
- 15.3 Method of cleaning specimens before and after testing.
- 15.4 Method of supporting or suspending article in the salt spray chamber.
- 15.5 Description of protection used as required in 6.5.
- 15.6 Exposure period.
- 15.7 Interruptions in exposure, cause, and length of time, and

- 15.8 Results of all inspections.

NOTE 13—If any of the atomized salt solution which has not contacted the test specimens is returned to the reservoir, it is advisable to record the concentration or specific gravity of this solution also.

16. Keywords

16.1 controlled corrosive environment; corrosive conditions; determining mass loss; salt spray (fog) exposure

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

XI. CONSTRUCTION OF APPARATUS

XI.1 Cabinets

XI.1.1 Standard salt spray cabinets are available from several suppliers, but certain pertinent accessories are required before they will function according to this practice and provide consistent control for duplication of results.

XI.1.2 The salt spray cabinet consists of the basic chamber, an air-saturator tower, a salt solution reservoir, atomizing nozzles, specimen supports, provisions for heating the chamber, and suitable controls for maintaining the desired temperature.

XI.1.3 Accessories such as a suitable adjustable baffle or central fog tower, automatic level control for the salt reservoir, and automatic level control for the air-saturator tower are pertinent parts of the apparatus.

XI.1.4 The size and shape of the cabinet shall be such that the atomization and quantity of collected solution is within the limits of this practice.

XI.1.5 The chamber shall be made of suitably inert materials such as plastic, glass, or stone, or constructed of metal and lined with impervious plastics, rubber, or epoxy-type materials or equivalent.

XI.1.6 All piping that contacts the salt solution or spray should be of inert materials such as plastic. Vent piping should be of sufficient size so that a minimum of back pressure exists and should be installed so that no solution is trapped. The exposed end of the vent pipe should be shielded from extreme air currents that may cause fluctuation of pressure or vacuum in the cabinet.

XI.2 Temperature Control

XI.2.1 The maintenance of temperature within the salt chamber can be accomplished by several methods. It is generally desirable to control the temperature of the surroundings of the salt spray chamber and to maintain it as stable as possible. This may be accomplished by placing the apparatus in a constant-temperature room, but may also be achieved by surrounding the basic chamber of a jacket containing water or air at a controlled temperature.

XI.2.2 The use of immersion heaters in an internal salt solution reservoir or within the chamber is detrimental where

heat losses are appreciable because of solution evaporation and radiant heat on the specimens.

XI.3 Spray Nozzles

XI.3.1 Satisfactory nozzles may be made of hard rubber, plastic, or other inert materials. The most commonly used type is made of plastic. Nozzles calibrated for air consumption and solution-atomized are available. The operating characteristics of a typical nozzle are given in Table XI.1.

XI.3.2 It can readily be seen that air consumption is relatively stable at the pressures normally used, but a marked reduction in solution sprayed occurs if the level of the solution is allowed to drop appreciably during the test. Thus, the level of the solution in the salt reservoir must be maintained automatically to ensure uniform fog delivery during the test.⁸

XI.3.3 If the nozzle selected does not atomize the salt solution into uniform droplets, it will be necessary to direct the spray at a baffle or wall to pick up the larger drops and prevent them from impinging on the test specimens. Pending a complete understanding of air-pressure effects, and so forth, it is important that the nozzle selected shall produce the desired

⁸ A suitable device for maintaining the level of liquid in either the saturator tower or reservoir of test solution may be designed by a local engineering group, or may be purchased from manufacturers of test cabinets as an accessory.

TABLE XI.1 Operating Characteristics of Typical Spray Nozzle

Siphon Height, cm	Air Flow, dm ³ /min				Solution Consumption, cm ³ /h			
	34	69	103	138	34	69	103	138
10	19	26.5	31.5	36	2100	3840	4584	5256
20	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
30	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
40	19	26.6	31.5	36	0	780	2124	2904

Siphon Height, in.	Air Flow, L/min				Solution Consumption, mL/h			
	Air Pressure, psi				Air Pressure, psi			
	5	10	15	20	5	10	15	20
4	19	26.5	31.5	36	2100	3840	4584	5256
8	19	26.5	31.5	36	636	2760	3720	4320
12	19	26.5	31.5	36	0	1380	3000	3710
16	19	26.6	31.5	36	0	780	2124	2904

condition when operated at the air pressure selected. Nozzles are not necessarily located at one end, but may be placed in the center and can also be directed vertically up through a suitable tower.

X1.4 Air for Atomization

X1.4.1 The air used for atomization must be free of grease, oil, and dirt before use by passing through well-maintained filters. Room air may be compressed, heated, humidified, and washed in a water-sealed rotary pump if the temperature of the water is suitably controlled. Otherwise cleaned air may be introduced into the bottom of a tower filled with water through a porous stone or multiple nozzles. The level of the water must be maintained automatically to ensure adequate humidification. A chamber operated in accordance with this method and Appendix X1 will have a relative humidity between 95 and 98 %. Since salt solutions from 2 to 6 % will give the same results (though for uniformity the limits are set at 4 to 6 %), it is preferable to saturate the air at temperatures well above the chamber temperature as insurance of a wet fog. Table X1.2 shows the temperatures, at different pressures, that are required to offset the cooling effect of expansion to atmospheric pressure.

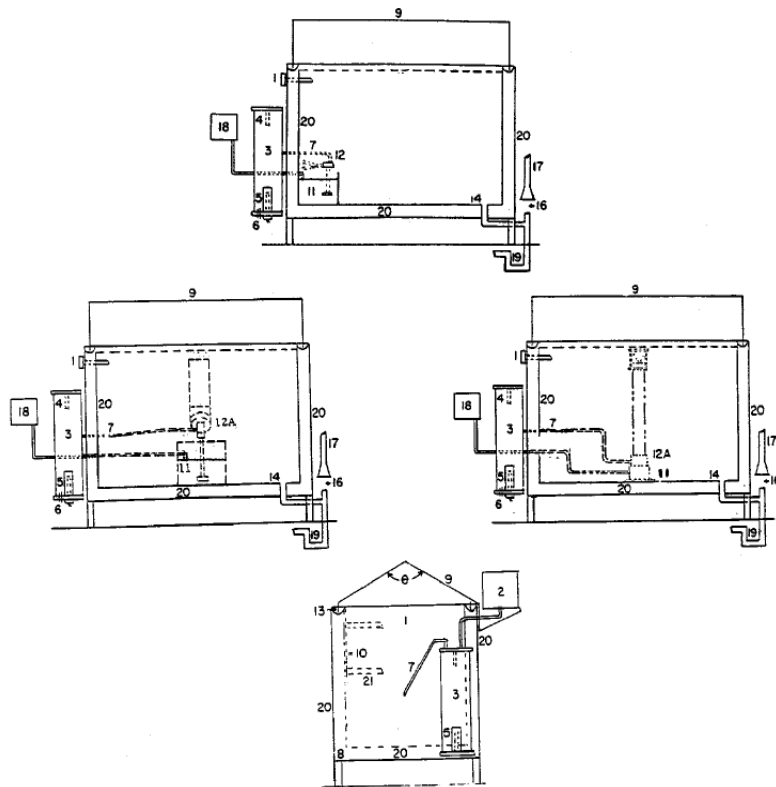
TABLE X1.2 Temperature and Pressure Requirements for Operation of Test at 95°F

	Air Pressure, kPa			
	83	96	110	124
Temperature, °C	46	47	48	49
	Air Pressure, psi			
	12	14	16	18
Temperature, °F	114	117	119	121

X1.4.2 Experience has shown that most uniform spray chamber atmospheres are obtained by increasing the atomizing air temperature sufficiently to offset heat losses, except those that can be replaced otherwise at very low-temperature gradients.

X1.5 Types of Construction

X1.5.1 A modern laboratory cabinet is shown in Fig. X1.1. Walk-in chambers are usually constructed with a sloping ceiling. Suitably located and directed spray nozzles avoid ceiling accumulation and drip. Nozzles may be located at the ceiling, or 0.91 m (3 ft) from the floor directed upward at 30 to 60° over a passageway. The number of nozzles depends on type and capacity and is related to the area of the test space. An 11 to 19 L (3 to 5-gal) reservoir is required within the chamber, with the level controlled. The major features of a walk-in type cabinet, which differs significantly from the laboratory type, are illustrated in Fig. X1.2. Construction of a plastic nozzle, such as is furnished by several suppliers, is shown in Fig. X1.3.

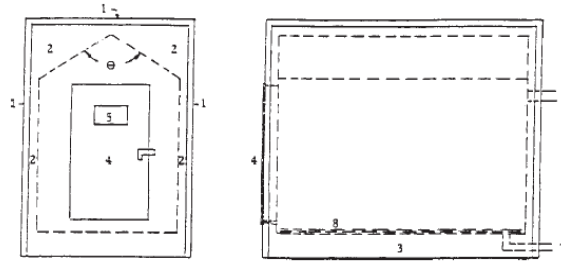


NOTE 1— θ —Angle of lid, 90 to 125°

- 1—Thermometer and thermostat for controlling heater (Item No. 8) in base
- 2—Automatic water leveling device
- 3—Humidifying tower
- 4—Automatic temperature regulator for controlling heater (Item No. 5)
- 5—Immersion heater, nonrusting
- 6—Air inlet, multiple openings
- 7—Air tube to spray nozzle
- 8—Heater in base
- 9—Hinged top, hydraulically operated, or counterbalanced
- 10—Brackets for rods supporting specimens, or test table
- 11—Internal reservoir
- 12—Spray nozzle above reservoir, suitably designed, located, and baffled
- 12A—Spray nozzle housed in dispersion tower located preferably in center of cabinet (typical examples)
- 13—Water seal
- 14—Combination drain and exhaust. Exhaust at opposite side of test space from spray nozzle (Item 12), but preferably in combination with drain, waste trap, and forced draft waste pipe (Items 16, 17, and 19).
- 16—Complete separation between forced draft waste pipe (Item 17) and combination drain and exhaust (Items 14 and 19) to avoid undesirable suction or back pressure.
- 17—Forced draft waste pipe
- 18—Automatic leveling device for reservoir
- 19—Waste trap
- 20—Air space or water jacket
- 21—Test table or rack, well below roof area

NOTE 2—This figure shows the various components including alternate arrangements of the spray nozzles and solution reservoir.

FIG. X1.1 Typical Salt Spray Cabinet



NOTE—The controls are the same, in general as for the smaller laboratory type cabinet (Fig. X1.1), but are sized to care for the larger cube. The chamber has the following features:

- θ—Angle of ceiling, 90 to 125°
- 1—Heavy insulated outer panels
- 2—Air space
- 3—Low-watt density heaters, or steam coils
- 4—Single- or double-, full-opening door (refrigeration type), with inward sloping door sill
- 5—Viewing window/s
- 6—Inner chamber vent
- 7—Inner chamber drain
- 8—Duct boards on floor

FIG. X1.2 Walk-in Chamber, 1.5 by 2.4 m (5 by 8 ft) and Upward in Overall Size

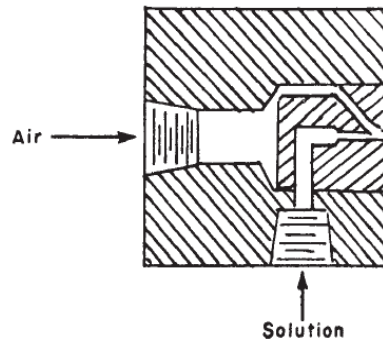


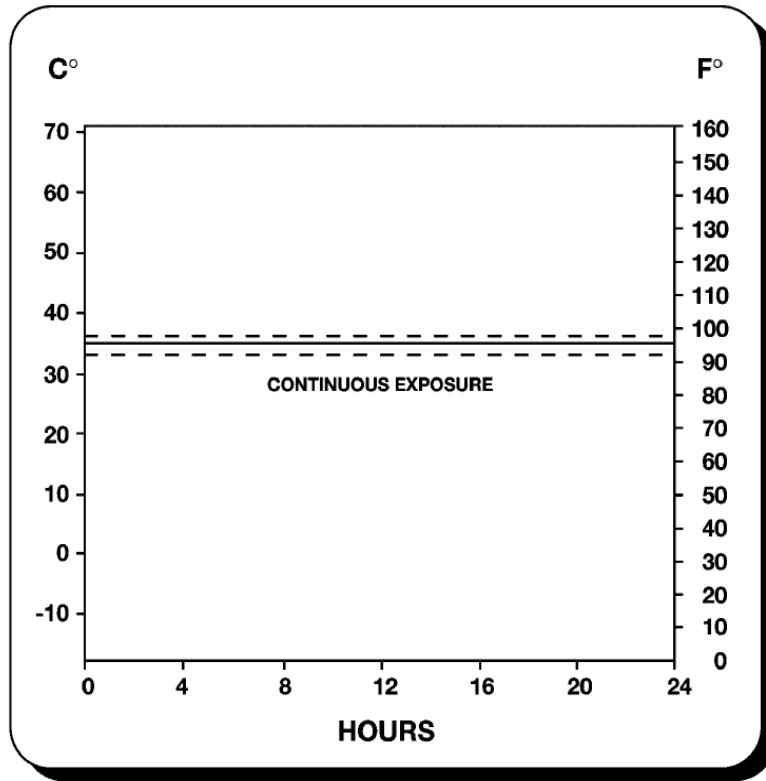
FIG. X1.3 Typical Spray Nozzle

X2. USE OF THE SALT SPRAY (FOG) TEST IN RESEARCH

X2.1 This practice is primarily used for process qualification and quality acceptance. Regarding any new applications, it is essential to correlate the results of this practice with actual field exposure results. (See Fig. X2.1.)

X2.2 The salt spray has been used to a considerable extent for the purpose of comparing different materials or finishes. It should be noted there is usually not a direct relation between salt spray (fog) resistance and resistance to corrosion in other media, because the chemistry of the reactions, including the formation of films and their protective value, frequently varies greatly with the precise conditions encountered. Informed personnel are aware of the erratic composition of basic alloys, the possibility of wide variations in quality and thickness of plated items produced on the same racks at the same time, and the consequent need for a mathematical determination of the

number of specimens required to constitute an adequate sample for test purposes. In this connection it is well to point out that Practice B 117 is not applicable to the study or testing of decorative chromium plate (nickel-chromium) on steel or on zinc-base die castings or of cadmium plate on steel. For this purpose Method B 368 and Practice G 85 are available, which are also considered by some to be superior for comparison of chemically treated aluminum (chromated, phosphated, or anodized), although final conclusions regarding the validity of test results related to service experience have not been reached. Practice B 117 and Practice G 85 are considered to be most useful in estimating the relative behavior of closely related materials in marine atmospheres, since it simulates the basic conditions with some acceleration due to either wetness or temperature, or both.



- (1) Salt Solution: 5 ± 1 parts by mass of sodium chloride (NaCl) in 95 parts by mass of Specification D 1193 Type IV water.
- (2) pH 6.5 to 7.2 of collected solution.
- (3) The exposure zone of the salt spray chamber shall be maintained at $35 \pm 1.1 - 1.7^\circ\text{C}$ ($95 \pm 2 - 3^\circ\text{F}$). Each set point and its tolerance represents an operational control point for equilibrium conditions at a single location in the cabinet which may not necessarily represent the uniformity of conditions throughout the cabinet.
- (4) Fog at a rate of 1.0 to 2.0 mL/hr per 80 cm² of horizontal collection area.

Note: Dashed chart lines indicate temperature tolerance limits.
 Note: Reprinted with permission.

FIG. X2.1 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus

X3. EVALUATION OF CORROSIVE CONDITIONS

X3.1 *General*—This appendix covers test panels and procedures for evaluating the corrosive conditions within a salt spray cabinet. The procedure involves the exposure of steel test panels and the determination of their mass losses in a specified period of time. This may be done monthly or more frequently to ensure consistent operation over time. It is also useful for correlating the corrosive conditions among different cabinets.

X3.2 *Test Panels*—The required test panels, 76 by 127 by 0.8 mm (3.0 by 5.0 by .0315 in.), are made from SAE 1008 commercial-grade cold-rolled carbon steel (UNS G10080).

X3.3 *Preparation of Panels Before Testing*—Clean panels before testing by degreasing only, so that the surfaces are free of dirt, oil, or other foreign matter that could influence the test results. After cleaning, weigh each panel on an analytical balance to the nearest 1.0 mg and record the mass.

X3.4 *Positioning of Test Panels*—Place a minimum of two weighed panels in the cabinet, with the 127-mm (5.0 in.) length supported 30° from vertical. Place the panels in the proximity of the condensate collectors. (See Section 6.)

X3.5 *Duration of Test*—Expose panels to the salt fog for 48 to 168 h.

X3.6 *Cleaning of Test Panels After Exposure*—After removal of the panels from the cabinet, rinse each panel immediately with running tap water to remove salt, and rinse in reagent grade water (see Specification D 1193, Type IV). Chemically clean each panel for 10 min at 20 to 25°C in a fresh solution prepared as follows:

Mix 1000 mL of hydrochloric acid (sp gr 1.19) with 1000 mL reagent grade water (D 1193, Type IV) and add 10 g of hexamethylene tetramine. After cleaning, rinse each panel with reagent grade water (Type IV) and dry (see 13.2).

X3.7 *Determining Mass Loss*—Immediately after drying, determine the mass loss by reweighing and subtracting panel mass after exposure from its original mass.

TABLE X3.1 Repeatability Statistics

NOTE—Based on two replicates in every test run. No. = number of different salt spray cabinets in test program; r = 95 % repeatability limits, g; Cv = S_r /avg, coefficient of variation, %; and S_r = repeatability standard deviations, g.

Materials	Test Duration, h	Average Mass Loss, g	S_r , g	Cv , %	r , g	No.
QP1	48	0.8170	0.0588	7.20	0.1646	12
QP1	96	1.5347	0.1048	7.28	0.2934	12
QP1	168	2.5996	0.2498	9.61	0.6994	12
AP	48	0.7787	0.0403	5.17	0.1128	10
AP	96	1.4094	0.0923	6.55	0.2584	10
AP	168	2.4309	0.1594	6.56	0.4463	10
QP2	48	0.8566	0.0686	8.01	0.1921	5
QP2	96	1.5720	0.0976	6.21	0.2733	5
QP2	168	2.7600	0.2588	9.38	0.7246	5

TABLE X3.2 Reproducibility Statistics

NOTE—No. = number of different salt spray cabinets in test program; R = 95 % reproducibility limits, g; Cv = S_R /avg, coefficient of variation, %; and S_R = reproducibility standard deviation, g.

Materials	Test Duration, h	Average Mass Loss, g	S_R , g	Cv , %	R , g	No.
QP1	48	0.8170	0.0947	11.58	0.2652	12
QP1	96	1.5347	0.2019	14.02	0.5653	12
QP1	168	2.5996	0.3255	12.52	0.9114	12
AP	48	0.7787	0.0805	10.33	0.2254	10
AP	96	1.4094	0.1626	11.54	0.4553	10
AP	168	2.4309	0.3402	14.00	0.9526	10
QP2	48	0.8566	0.1529	17.85	0.4281	5
QP2	96	1.5720	0.1319	8.39	0.3693	5
QP2	168	2.7600	0.3873	14.03	1.0844	5

X3.7.1 Data generated in the interlaboratory study using this method are available from ASTM as a Research Report.⁹

⁹ Available from ASTM Headquarters. Request RR No. G1-1003.

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).

X3.8 *Precision and Bias—Steel Panel Test:*

X3.8.1 An interlaboratory test program using three different sets of UNS G10080 steel panels, 76 by 127 by 0.8 mm (3.0 by 5.0 by .0315 in.) has shown that the repeatability of the mass loss of the steel panels, that is, the consistency in mass loss results that may be expected when replicate panels are run simultaneously in a salt spray cabinet, is dependent upon exposure time and the panel lot or source. The interlaboratory program yielded repeatability standard deviations, S_r , from which 95 % repeatability limits, r , were calculated as follows (see Practice E 691):

$$r = 2.8 S_r \tag{X3.1}$$

The values of S_r and r are reported in Table X3.1. Note that the corrosion rate of steel in this environment is approximately constant over the exposure interval and that the ratio of the standard deviation to the average mass loss, the coefficient of variation, Cv , varies between 5 and 10 % with a weighted average of 7.4 % and an r of ± 21 % of the average mass loss.

X3.8.2 This interlaboratory program also produced results on the reproducibility of results, that is, the consistency of mass loss results in tests in different laboratories or in different cabinets in the same facility. This program yielded reproducibility standard deviations, S_R , from which 95 % reproducibility limits, R , were calculated as follows (See Practice E 691):

$$R = 2.8 S_R \tag{X3.2}$$

The values of S_R and R are reported in Table X3.2. Note that the ratio of standard deviation to the average mass loss, the coefficient of variation, Cv , varies between 8 to 18 % with a weighted average of 12.7 % and an R of ± 36 % of the average mass loss.

X3.8.3 The mass loss of steel in this salt spray practice is dependent upon the area of steel exposed, the temperature, time of exposure, salt solution make up and purity, pH, spray conditions, and the metallurgy of the steel. The procedure in Appendix X3 for measuring the corrosivity of neutral salt spray cabinets with steel panels has no bias because the value of corrosivity of the salt spray is defined only in terms of this practice.



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.

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

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.

TABLE 1 Scale and Description of Rust Ratings

Rust Grade	Percent of Surface Rusted	Spot(s)	Visual Examples	
			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.

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

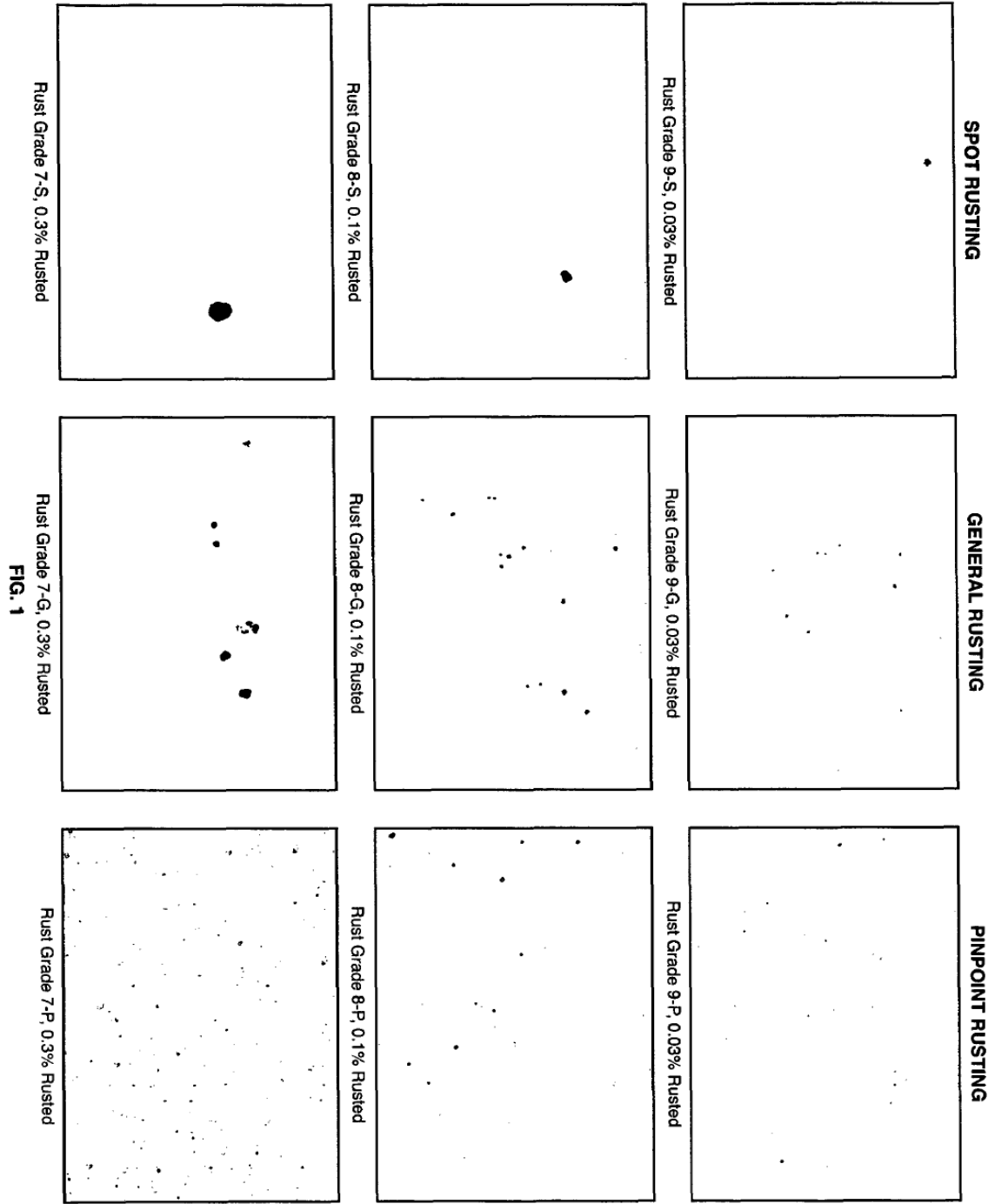


FIG. 1 Examples of Area Percentages

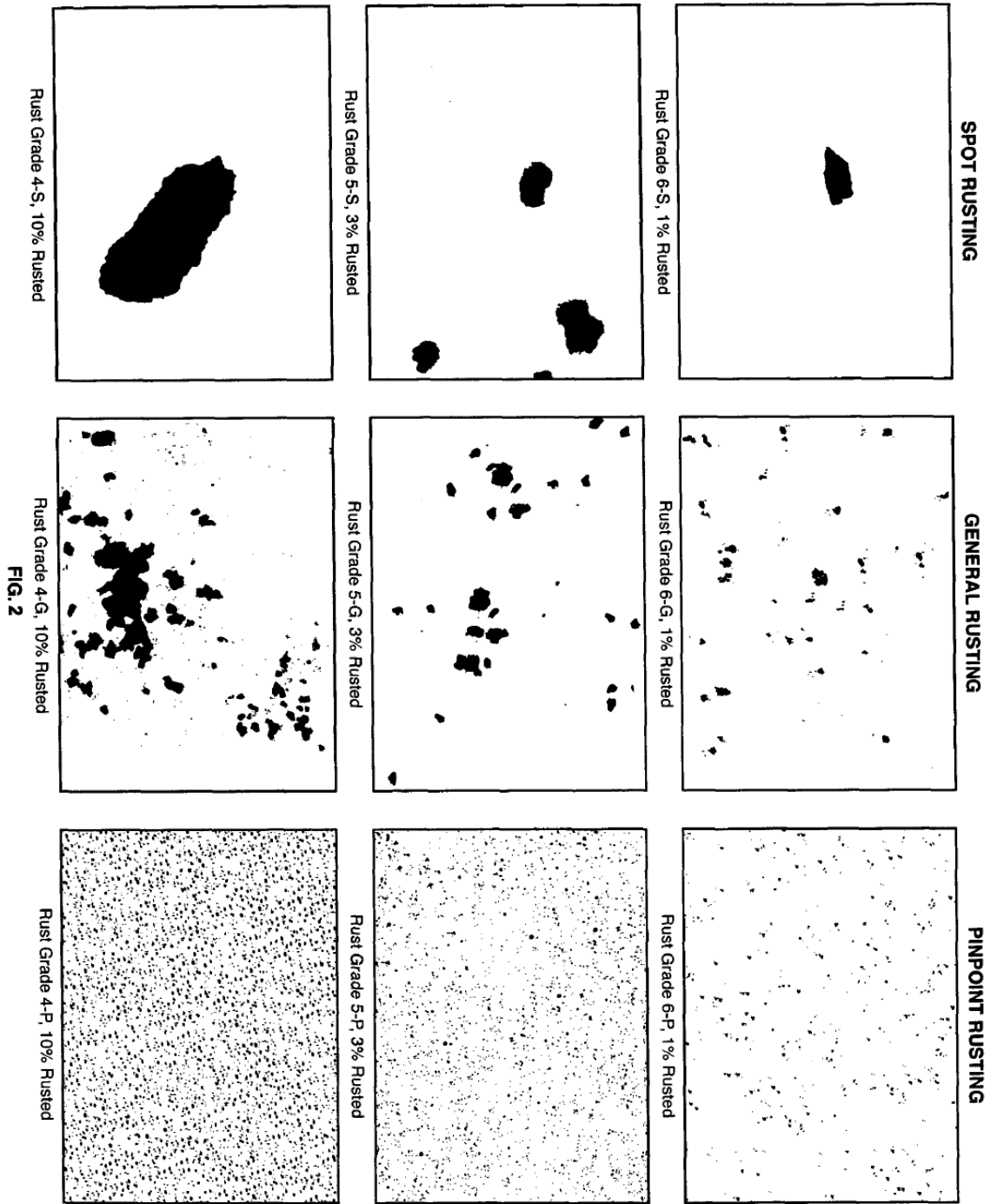


FIG. 2 Examples of Area Percentages

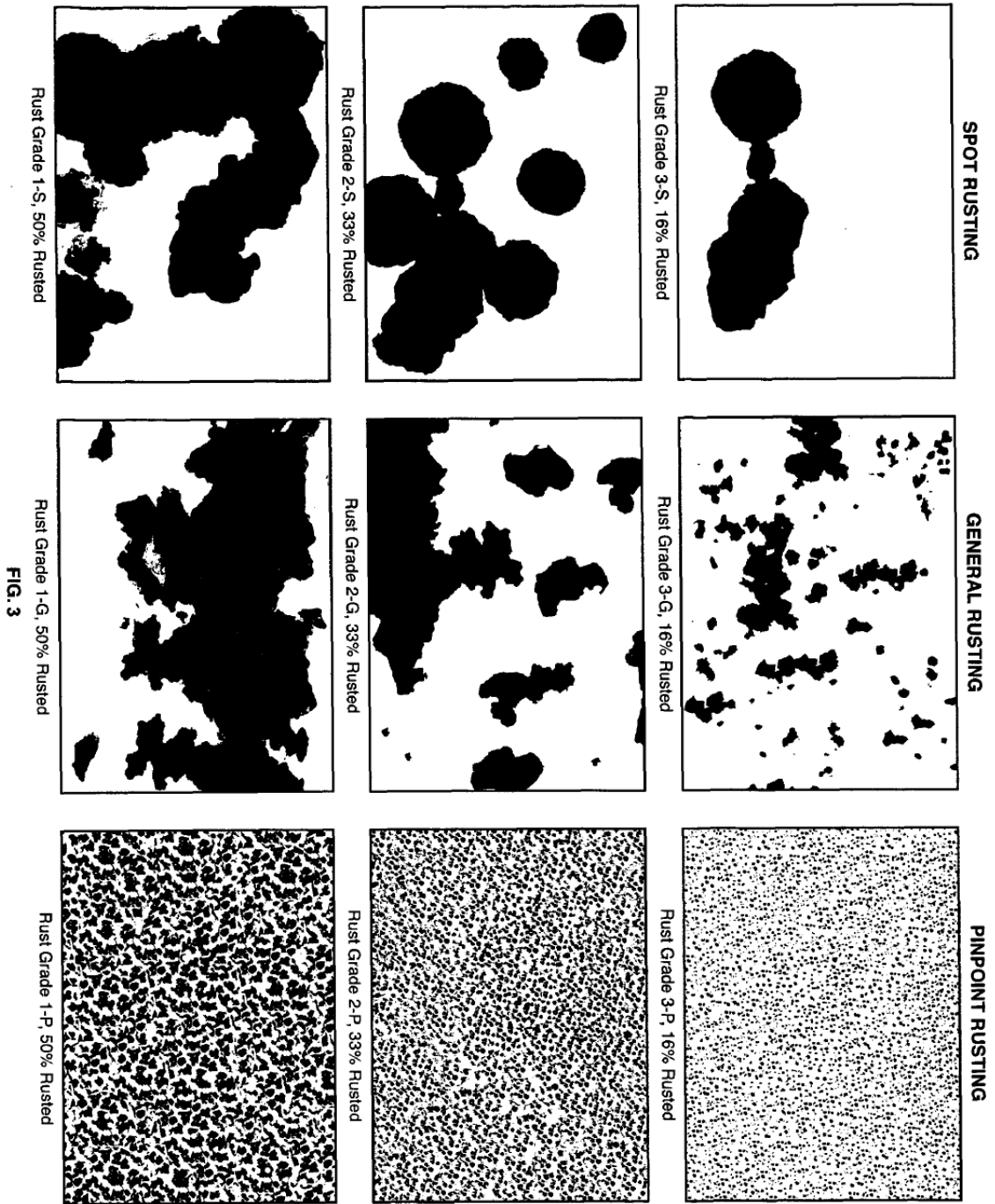


FIG. 3 Examples of Area Percentages

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.

 **D 610**

(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


The American Society for Testing and Materials 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 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, 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).

ANEXO C. Cotización de ensayo de cámara de niebla salina

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>COTIZACIÓN COT-12-560</p>	<p>CIDEMAT Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales</p>	
<p>CÓDIGO LF0002</p>		<p>VERSIÓN 01</p>	
<p>Fecha: Noviembre 19 de 2012.</p>			
<p>Datos del cliente</p>			
<p>Nombre: Jorge Andrés Vélez Díaz, CC: 1.143.335.461 de Cartagena</p>			
<p>Dirección: Barrio Santa Mónica, Calle 30A No. 78D-61</p>			
<p>Ciudad: Cartagena.</p>	<p>Teléfono/Fax: 6534641</p>		
		<p>Celular: 3006823232</p>	
<p>Contacto: Jorge Andres Velez jvelezd@gmail.com</p>			
<p>Descripción</p>	<p>Cantidad</p>	<p>Valor unitario</p>	<p>Valor total</p>
<p>ENSAYO DE CAMARA DE NIEBLA SALINA SEGÚN NORMA ASTM B-117 (Prueba para 17 Placas pintadas)</p>	<p>125 horas</p>	<p>\$ 3.500/h</p>	<p>\$437.500</p>
<p>TOTAL</p>			<p>\$437.500</p>
<p>Total de las Pruebas. \$437.500</p>			
<p>Nota 1: La fecha de inicio de las pruebas es a partir del 1 de Diciembre.</p>			
<p>Nota 2. : El valor presentado anteriormente no incluye IVA y no deberá hacerse retención en la fuente sobre él a raíz de que la Universidad de Antioquia no es agente retenedor y no está sujeta a impuestos.</p>			
<p>Nota 3. Los datos de envío de las muestras son los que aparecen en el pie de página de la cotización: calle 62 No. 52-59 Laboratorio 330-T2 SIU, a nombre del Ing Alex Restrepo.</p>			

Condiciones de pago
El costo total del ensayo deberá cancelarse mediante consignación en la cuenta de ahorros Bancolombia 10537229522 a nombre de la Universidad de Antioquia y enviar copia de la consignación al fax 219 65 65 o por correo electrónico para elaborar la factura por pago de contado.
Transporte y entrega de muestras
El cliente se hará responsable del envío de las muestras a las instalaciones del Laboratorio y de la recolección de las mismas y el informe una vez terminado el ensayo. En caso de que el cliente sea de otra ciudad, el informe será enviado en copia física y digital.
Manejo de muestras
El Laboratorio asegura la integridad de las muestras, mediante la aplicación de un procedimiento interno de manejo y preparación de muestras por parte del personal encargado de la realización de los ensayos.
Confidencialidad
La Universidad se compromete a manejar toda la información relacionada con el presente trabajo con total confidencialidad, no permitiendo el acceso a la misma de ninguna persona ajena a su ejecución o a la empresa contratante.
Responsable
 <p>Responsable Ing. Alex H. Restrepo CIDEMAT UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA-MEDELLIN.</p>

ANEXO D. Informe de resultados de ensayo de cámara de niebla salina






 UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA <small>L. R. O. 3</small>	INFORME DE RESULTADOS ENSAYO EN CAMARA DE NIEBLA SALINA	CNS-12-278
CIDEMAT: Centro de Investigación, Innovación y Desarrollo de Materiales		







FECHA	NÚMERO DE SOLICITUD
Diciembre 12 de 2012	178
CLIENTE	
Nombre: ING. JORGE ANDRES VELEZ C.C. 1.143.335.461	Teléfono: _____ Fax: _____
Contacto: Jorge Andrés Vélez Díaz	Dirección: Universidad de Cartagena - Programa de Ingeniería Química
DATOS DEL ENSAYO	
Método utilizado: ASTM B117	
Fecha de inicio: 03-12-2012	Fecha de finalización: 09-12-2012
Período de exposición: 125 horas	
Características de la sal: Sal Refrisal	
Características del agua: Agua desionizada	
Método de limpieza de las muestras antes del ensayo: Ninguno	
Método de limpieza de la muestra después del ensayo: Agua y secado con aire seco.	
Método de apoyo o suspensión: En Soportes.	
Protección de bordes y aristas de la muestra: No, Placa completamente pintada	
Interrupciones	
Causa	Duración






DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS			Observaciones
Muestra código Interno	Características	Tipo de recubrimiento	
1	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	El proveedor conoce las características de formulación de cada una de sus muestras, las cuales solo se han identificado mediante un número.
2	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
3	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
4	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
5	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
6	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
7	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
8	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
9	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
10	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
11	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
12	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
13	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
14	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
15	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
16	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	
17	Con Indentación en X	Recubrimiento Blanco Especial	

EVALUACIÓN DE PIEZAS												
MUESTRA	24 Horas				48 Hora				125 Horas			
	Ampollamiento		Oxidación de la superficie		Ampollamiento		Oxidación de la superficie		Ampollamiento		Oxidación de la superficie	
	SI/NO	#	SI/NO	%	SI/NO	#	SI/NO	%	SI/NO	#	SI/NO	%
1	NO	10	SI=9P	0.03	NO	10	SI=5G	3	NO	10	SI=3G	16
2	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0.03	NO	10	SI=3G	16
3	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0.03	NO	10	SI=4G	10
4	NO	10	SI=9G	0.03	NO	10	SI=6G	1	NO	10	SI=3G	16
5	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0.03	NO	10	SI=4G	10
6	NO	10	SI=9P	0.03	NO	10	SI=7G	0.3	NO	10	SI=3G	16
7	NO	10	NO	0	NO	10	SI=5G	3	NO	10	SI=3G	16
8	NO	10	NO	0	NO	10	SI=4G	10	NO	10	SI=2G	33
9	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0.03	NO	10	SI=4G	10
10	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0.03	NO	10	SI=4G	10
11	NO	10	SI=9P	0.03	NO	10	SI=6G	1	NO	10	SI=3G	16
12	NO	10	SI=5G	3	NO	10	SI=4G	10	NO	10	SI=2G	33
13	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0.03	NO	10	SI=4G	10
14	NO	10	NO	0	NO	10	SI=9G	0.03	NO	10	SI=4G	10
15	NO	10	SI=9P	0.03	NO	10	SI=6G	1	NO	10	SI=3G	16
16	NO	10	NO	0	NO	10	SI=4G	10	NO	10	SI=1G	50
17	SI	8M	SI=5G	3	SI	6M	SI=3G	16	SI	4MD	SI=1S	50

EVALUACIÓN DE PIEZAS (Penetración en la Entalla)				
125 Horas				
MUESTRA	La medida se realiza teniendo encuenta la corrosión por debajo de la entalla utilizando un calibrador Mitutoyo			
	Medida 1 (mm)	Medida 2 (mm)	Medida 3 (mm)	Promediom (mm)
1	6,09	3,42	9,33	6,28
2	1,4	1,01	1,4	1,27
3	3,7	4,21	10,19	6,03
4	22,9	2,84	4,95	10,23
5	3,41	2,8	1,91	2,71
6	6,76	3,66	2,13	4,18
7	7,06	3,52	5,38	5,32
8	4,62	5,07	7,24	5,64
9	3,88	6,07	4,73	4,89
10	3,61	2,39	2,61	2,87
11	3,95	2,34	4,59	3,63
12	5,46	5,1	3,8	4,79
13	3,39	3,62	5,46	4,16
14	4,91	3,19	1,77	3,29
15	1,4	4,2	3,77	3,12
16	6,66	5,74	3,52	5,31
17	NO SE PUEDE MEDIR POR FALLA DE LA PROBETA			

REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO		
Muestra 1. (0 horas)		Muestra 3. (0 horas)
	Muestra 5 (0 horas)	
Muestra 4 (0 horas)		Muestra 6 (0 horas)
		

REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO		
Muestra 7 (0 horas)	Muestra 8 (0 horas)	Muestra 9 (0 horas)
		
Muestra 10 (0 horas)	Muestra 11 (0 horas)	Muestra 12 (0 horas)
		

REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO	
Muestra 13 (0 horas)	Muestra 15 (0 horas)
	
Muestra 14 (0 horas)	Muestra 17 (0 horas)
	
Muestra 16 (0 horas)	
	

REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO

Muestra 1. (125 horas)



Muestra 2. (125 horas)



REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO

Muestra 3. (125 horas)



Muestra 4. (125 horas)



REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO

Muestra 5. (125 horas)

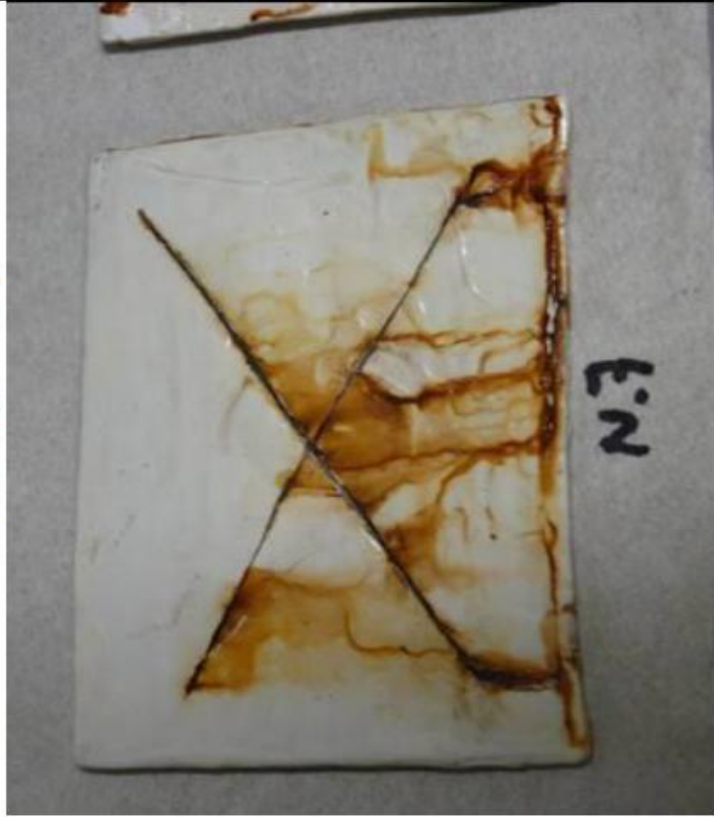


Muestra 6. (125 horas)



REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO

Muestra 7. (125 horas)



Muestra 8. (125 horas)



REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO

Muestra 9. (125 horas)



Muestra 10. (125 horas)



REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO

Muestra 11. (125 horas)



Muestra 12. (125 horas)



REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO

Muestra 13. (125 horas)



Muestra 14. (125 horas)



REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO

Muestra 15. (125 horas)



Muestra 16. (125 horas)



REGISTRO FOTOGRAFICO DEL ENSAYO

Muestra 17. (125 horas)



OBSERVACIONES

- Todas las muestras presentan daños en el recubrimiento y baja adherencia de la pintura al sustrato, pues es posible desprender fácilmente el recubrimiento blanco del metal base principalmente por la zona en que se encuentra la entalla. Sin embargo las muestras de mejor comportamiento luego de 125 horas en cámara salina, ya sea por su apariencia física (poco chorreado de la superficie) o por su baja penetración de la oxidación en la entalla, o por sus buenas características en el metal base al revisar la superficie por debajo del recubrimiento son en su orden: No. 10 y No. 9
- Le seguirían a estas dos muestras las siguientes: No. 5, No. 2 y No. 14
- El resto de probetas tienen mal comportamiento en la evaluación a 125 horas de Cámara Salina.
- El grado de ampollamiento de las muestras se determina con base en la norma ASTM D714 y el grado de oxidación con base en la norma ASTM D610 (Remitirse a las normas para corroborar los resultados de manera visual).


Confidencialidad

- Las muestras fueron llevadas al laboratorio del Grupo de Corrosión y Protección por el interesado.
- Los resultados reportados en el presente informe son válidos únicamente para las muestras recibidas y sometidas al ensayo en el laboratorio, son de carácter confidencial y de propiedad del cliente.



Elaborado por
Ing. Alex H. Restrepo C.
CIDEMAT-Universidad de Antioquia

ANEXO E. Factura del ensayo de cámara de niebla salina

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA		FACTURA DE VENTA 175007		VICERRECTORIA ADMINISTRATIVA							
		REFERENCIA : 0100000175007 - 3		DEPARTAMENTO FINANCIERO AREA CARTERA							
NIT:8909800408		Direccion : Calle 67 Nro. 53 108		Fax: (4) 219 11 02 A.A. 1226 MEDELLIN - COLOMBIA							
Señor(es): VELEZ DIAZ JORGE ANDRES		Nit: 1143336461 0		Fax:							
Direccion: CL 30 A # 78 D-61 BRR SANTA MONICA		Teléfono: 681 73 13		Dpto BOLIVAR Mpio CARTAGENA							
Descripción ENSAYO DE CAMARA SALINA. CONTACTO: JORGE VELEZ, JVELEZD@GMAIL.COM. GRUPO CIDEMAT											
Valor en letras:			Total Bruto COP 447,500								
CUATROCIENTOS CUARENTA Y SIETE MIL QUINIENTOS PESO COLOMBIANO M/L			Retencion: COP 0								
			Debe : COP 447,500								
La Universidad de Antioquia, por ser Institución Oficial, Esta legalmente exenta de Retencion en la fuente y todo tipo de impuestos, tasas y contribuciones . Este documento se asimila en todos sus efectos a una letra de cambio de acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 774 del Código de Comercio. Exija en esta factura el timbre de la máquina registradora o sello de cancelación del Banco y consérvelo, es la base para efectuar reclamos.											
Recuerde cancelar su factura antes de la fecha de vencimiento, de lo contrario el código de barras se invalida											
Nombre aceptante o persona autorizada		Número de Cédula de Ciudadanía		Responsable de Cartera							
Recibi real y materialmente el concepto detallado		CLIENTE									
		REFERENCIA : 0100000175007 - 3		VICERRECTORIA ADMINISTRATIVA DEPARTAMENTO FINANCIERO AREA CARTERA							
Señor(es): VELEZ DIAZ JORGE ANDRES		Nit: 1143335461		Fecha Elaborada: 16-01-2013							
Direccion: CL 30 A # 78 D-61 BRR SANTA MONICA		Teléfono: 681 73 13		Fecha Vencimiento: 15-02-2013							
Centro Costo 8790		Dependencia CENTRO DE ADMINISTRACION DE PROYECTOS SIU/SEDE INVEST UNIVER		Total Bruto: COP 447,500							
				Retenciones: COP 0							
FORMA DE PAGO		<table border="1"> <tr> <td>Efect Cheq</td> <td>Banco</td> <td>Nro Cheque</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Efect Cheq	Banco	Nro Cheque				Total Neto: COP 447,500	
Efect Cheq	Banco	Nro Cheque									
PAGAR EN :		 (415)7707234873570(8020)01000001750073(3900)0000447500(96)20130215									
Bancolombia convenio 5808 Banco de Bogotá convenio 27p											
Si paga por otro medio enviar soporte al fax 2191102 email: jcartera@udea.edu.co		BANCO		NO COLOCAR SELLOS NI RAYAR EL CODIGO DE BARRA							