

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS
RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS UTILIZADOS EN
ESTRUCTURAS METÁLICAS DE EDIFICIOS DE LA
REGIÓN COSTA DEL ECUADOR”**

Tesis previa a la obtención del
título de Ingeniero Mecánico.

Autores:

Miguel Andrés Cajamarca Morquecho

Marco Fabricio Romero Vintimilla

Director:

Ing. Nelson Jara Cobos

Cuenca, Mayo 2014

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres por el apoyo incondicional, por ser los principales pilares en los momentos difíciles y por los valores que me han sabido inculcar, con el fin de que pueda cumplir cada uno de mis objetivos.

Miguel Andrés Cajamarca Morquecho

Este trabajo está dedicado para las personas que más quiero, mis padres, mi hermana y sobrino, quienes han sido mi guía mis orientadores en la formación profesional que hoy concluyo con éxito.

Marco Fabricio Romero Vintimilla

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primeramente a Dios por habernos guiado a lo largo de nuestros estudios de Ingeniería Mecánica en la Universidad Politécnica Salesiana, a todos los que conforman la Facultad, nuestro sincero agradecimiento por lo que entregaron para nuestra formación.

De igual manera es nuestro deseo, dejar expreso los más sentidos agradecimientos a nuestro director de tesis, Ingeniero Nelson Jara, por su incondicional e importante aporte durante estos meses de trabajo.

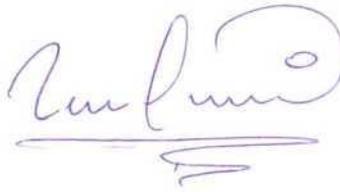
DECLARATORIA

El trabajo que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud los fundamentos técnicos – científicos y los resultados son exclusiva responsabilidad de los autores.

A través de la presenta declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la Normativa Institucional vigente.



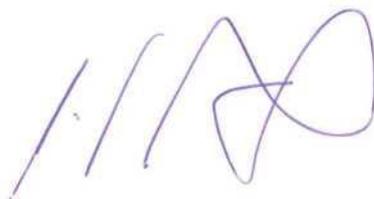
Miguel Andrés Cajamarca Morquecho



Marco Fabricio Romero Vintimilla

CERTIFICADO

Que el presente proyecto de tesis “*Estudio del comportamiento de los recubrimientos anticorrosivos utilizados en estructuras metálicas de edificios de la región Costa del Ecuador*”, realizado por los estudiantes: *Miguel Andrés Cajamarca Morquecho* y *Marco Fabricio Romero Vintimilla*, fue dirigido por mi persona.

A handwritten signature in blue ink, consisting of several loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Ing. Nelson Jara Cobos

RESUMEN

El presente trabajo trata sobre un estudio del comportamiento de los recubrimientos anticorrosivos utilizados en estructuras metálicas de edificios de la región costa del Ecuador; en primera instancia se realiza un análisis de la importancia del uso de anticorrosivos en las estructuras metálicas de la región costa del Ecuador, indicando el volumen de construcciones, materiales utilizados, durabilidad, teniendo en cuenta los fundamentos de la corrosión, como se manifiesta y en que formas; luego se establece la protección necesaria con recubrimientos anticorrosivos; posterior a ello se realiza un ensayo de corrosión identificando los tipos de ensayos existentes, centrandose el estudio en un ensayo de cámara de niebla salina, el mismo que emula las condiciones de salinidad de la región costa, estableciendo una metodología adecuada para este ensayo y teniendo en cuenta las normas ASTM B117 y ASTM D610, las mismas que indican la manera de realizar el ensayo de la cámara de niebla salina y la manera de indicar el grado de corrosión respectivamente, se continúa con la realización de pruebas y el análisis de resultados.

Palabras clave: Recubrimientos anticorrosivos, ASTM B117 y D610, corrosión, niebla salina.

ÍNDICE

Pág.

ÍNDICE DE TABLAS	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
PRÓLOGO.....	XIII
1. Establecer la importancia del uso de anticorrosivos en estructuras metálicas en la región Costa del Ecuador	1
1.1 Introducción	1
1.2 Análisis de la construcción en estructuras metálicas de edificios de la región Costa del Ecuador.....	2
1.2.1 Volumen de construcciones que se están realizando en la región Costa	2
1.2.2 Materiales utilizados en las estructuras de edificios en la región Costa	3
1.2.3 Durabilidad de estructuras metálicas	3
1.2.4 Durabilidad en una estructura: tipo de ambiente y protección.....	4
1.3 Fundamentos del mecanismo de corrosión.....	5
1.3.1 Corrosión electroquímica.....	5
1.3.2 Cinética de la corrosión	6
1.3.2.1 Polarización	7
1.3.2.2 Pasivación.....	9
1.3.3 Formas de corrosión.....	9
1.3.4 Protección contra la corrosión	12
1.4 Revestimientos orgánicos - pinturas.....	15
1.5 Polímeros conductores	18
1.6 Conclusiones	20
1.7 Referencias	21
2. Metodología para ensayos de probetas de acero con recubrimiento en cámara de niebla. ..	23
2.1 Introducción	23
2.2 Cámara de Niebla Salina.....	25
2.2.1 Antecedentes	25
2.2.2 Condiciones de trabajo.....	26
2.2.3 Propósito de una cámara de niebla salina	27
2.2.4 Resultados que se pueden obtener de una Cámara de niebla salina.....	27
2.2.5 Clases de ensayos de niebla salina en función de su composición.	28
2.2.6 Tipos de cámara de niebla salina	28
2.2.6.1 Neurtek	29
2.2.6.2 Chemisa	29
2.2.6.3 Q-LAB.....	30
2.3 Cámara de niebla salina “Q-FOG”.....	31
2.3.1 Principales componentes.....	32

2.3.1.1	Depósito de solución.....	32
2.3.1.2	Torre de burbuja	32
2.3.1.3	Caldera.....	33
2.3.1.4	Filtro de aire.....	34
2.3.1.5	Calentadores	34
2.3.1.6	Bomba.....	35
2.3.1.7	Difusor	35
2.3.1.8	Boquilla de rocío.....	36
2.3.1.9	Bloqueo para la tapa	36
2.3.1.10	Sensor de temperatura.....	37
2.3.2	Funcionamiento de la cámara de niebla salina “Q-FOG”	37
2.3.2.1	Fase de niebla	37
2.3.2.2	Fase de secado	38
2.3.2.3	Fase de humedad.....	38
2.4	Normas para ensayos utilizando cámara de niebla salina	39
2.4.1	Introducción	39
2.4.2	Norma ASTM-B117-11	39
2.5	Pinturas anticorrosivas a utilizar en el procedimiento.....	41
2.5.1	Introducción.....	41
2.5.2	Pinturas anticorrosivas para el ensayo.....	42
2.5.3	Localización de distribuidoras de pintura en la provincia del Guayas.....	44
2.5.4	Aplicación de los recubrimientos con pinturas	47
2.5.4.1	Pintado con Brochas y rodillos	48
2.5.4.2	Pintado por aspersion.....	49
2.5.5	Parámetros ambientales en la zona costa	49
2.6	Metodología	51
2.7	Conclusiones	52
2.8	Referencias	53
3.	Realización de las pruebas	55
3.1	Introducción	55
3.2	Dimensión y preparación de la superficie	55
3.2.1	Dimensión de la probeta	55
3.2.2	Preparación de la superficie.....	57
3.3	Preparación de los anticorrosivos y pintado.....	57
3.3.1	Preparación de los anticorrosivos.....	58
3.3.1.1	Preparación de anticorrosivos para ser pintados con brocha.....	58
3.3.1.2	Preparación de anticorrosivos para ser pintados por aspersion.....	60
3.4	Uso de la cámara de niebla salina Q-FOG.....	65
3.4.1	Datos de la muestra para ingreso a la cámara de niebla salina.....	65

3.4.2	Pasos a seguir para el uso de la cámara de niebla salina.....	66
3.5	Toma de datos del ensayo de corrosión.....	70
3.5.1	Grado de degradación de un recubrimiento protector no metálico.....	70
3.5.1.1	Inspección previa al ensayo	70
3.6	Conclusiones	73
4.	Análisis de los resultados de las pruebas realizadas en cámara de niebla salina.....	75
4.1	Introducción.	75
4.2	Norma ASTM D610.....	75
4.3	Parámetros de exposición a la cámara salina.	78
4.4	Resultados Obtenidos.....	78
4.4.1.	Análisis del anticorrosivo Wesco.....	79
4.4.2.	Análisis del anticorrosivo Cóndor	81
4.4.3.	Análisis del anticorrosivo Pintuco	84
4.4.4.	Análisis del anticorrosivo Sherwin Williams	86
4.4.5.	Análisis del anticorrosivo Hempel.....	89
4.4.6.	Análisis del anticorrosivo Unidas	91
4.5	Resumen del Análisis	94
4.6	Conclusiones	95
4.7	Bibliografía	96
	Conclusiones Generales	97
	Recomendaciones Generales	98
	Bibliografía General.....	100
	Anexos	102

ÍNDICE DE TABLAS

Pág:

Tabla 1-1: Volumen de construcciones en la región Costa del Ecuador para el año 2010..	2
Tabla 1-2: Materiales utilizados en estructuras de edificios en la región Costa.	3
Tabla 1-3: Formas de corrosión.	10
Tabla 2-1: Condiciones de trabajo de la cámara de niebla salina	26
Tabla 2-2: Clasificación industrial que requieren la prueba de niebla salina.	26
Tabla 2-3: Resultados que se pueden obtener en una cámara de niebla salina	27
Tabla 2-4: Características de la cámara Q-FOG	31
Tabla 2-5: Datos de temperatura vs densidad	41
Tabla 2-6: Marcas de pintura Ecuatoriana vs Importadas.	44
Tabla 2-7: Distribuidoras de pinturas en la provincia del Guayas	44
Tabla 2-8: Precios de pinturas anticorrosivas en el mercado en dólares americanos.	46
Tabla 2-9: Método de pintado y rendimiento.	48
Tabla 2-10: Tabla salinidad en el ambiente sobre el nivel del mar.	51
Tabla 3-1: Características de la probeta utilizada como material base.	55
Tabla 3-2: Denominación de las probetas para ser pintadas y su color	57
Tabla 3-3: Mezcla de pintura con diluyente para pintado con brocha	59
Tabla 3-4: Mezcla de pintura con diluyente para pintado por aspersion	60
Tabla 3-5: Valores a utilizar en pintado por aspersion	62
Tabla 3-6: Codificación de las muestras según el LEMAT	65
Tabla 3-7: Resultados de aire sintético seco	66
Tabla 4-1: Clasificación visual de la escala de una superficie oxidada	76
Tabla 4-2: Parámetros de tratamiento de la cámara salina.	78
Tabla 4-3: Resumen de resultados	94
Tabla 4-4: Relación de costos de las mejores anticorrosivas	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág:

Figura 1-1: Celda electroquímica.....	6
Figura 1-2: Diagrama de Evans para un sistema hierro – hidrógeno	7
Figura 1-3 Curva de polarización para un sistema metal-ion metálico.....	9
Figura 1-4: Componentes de una pintura.....	15
Figura 1-5: Mecanismo de protección otorgado por pigmento	16
Figura 1-6: Reacciones redox de la polianilina.....	19
Figura 1-7: Síntesis química del PTE dopado y dedopado	20
Figura 2-1: Intemperiómetro.....	24
Figura 2-2: Cámara de UV.....	24
Figura 2-3: Especificaciones de modelos Alpha 500 y 1000.....	29
Figura 2-4: Especificaciones de las cámaras Chemisa.....	30
Figura 2-5: Especificaciones de las cámaras Q-FOG	30
Figura 2-6: Cámara de niebla Q-FOG.....	31
Figura 2-7: Depósito de solución salina.....	32
Figura 2-8: Torre de Burbuja	33
Figura 2-9: Caldera	33
Figura 2-10: Filtro de aire	34
Figura 2-11: Calentadores.....	34
Figura 2-12: Bomba	35
Figura 2-13: Difusor	35
Figura 2-14: Boquilla de rocío.....	36
Figura 2-15: Bloqueo para la tapa.....	36
Figura 2-16: Sensor de temperatura.	37
Figura 2-17: Fase de niebla.....	38
Figura 2-18: Fase de secado.....	38
Figura 2-19: Fase de humedad.....	39
Figura 2-20: Fabricación de una pintura.....	43
Figura 2-21: Principales vendedores en el mercado nacional en el año 2002.....	43
Figura 2-22: Tabla intrasectorial de las principales empresas (2002).....	46
Figura 2-23: Costo de pinturas ¼ de Galón (en dólares americanos).	46
Figura 2-24: Costo de pinturas de Galón (en dólares americanos).	47
Figura 3-1: Material base de las muestras a utilizar en las pruebas	56
Figura 3-2: Vista frontal de la probeta en mm.	56
Figura 3-3: Longitud de la probeta en mm	56

Figura 3-4: Lijado de una probeta a ser utilizada.....	57
Figura 3-5: Vasos de precipitación la preparación del anticorrosivo.....	58
Figura 3-6: Probetas pintadas con brocha.....	63
Figura 3-7: Probetas pintadas por aspersion 65	65
Figura 3-8: Cloruro de sodio NaCl y tanque de solución salina.	67
Figura 3-9: Calentadores de la cámara.....	67
Figura 3-10: Torres de control de dispersión homogénea de la cámara.....	67
Figura 3-11: Disposición de las muestras en la cámara salina.....	68
Figura 3-12: Panel de control.....	68
Figura 3-13: Barómetro principal de la cámara	68
Figura 3-14: Programación interna de la cámara	69
Figura 3-15: Switch principal del equipo.....	70
Figura 3-16: Vista general de las 12 muestras montadas en la cámara de niebla salina, previo al ensayo.	71
Figura 3-17: Probetas pintadas con brocha.....	72
Figura 3. 18: Probetas a ser pintadas por aspersion.	73
Figura 4-1: Clasificación visual de óxido puntual sobre una superficie	76
Figura 4-2: Clasificación visual de óxido general sobre una superficie.	77
Figura 4-3: Clasificación visual de óxido disperso sobre una superficie.....	77
Figura 4-4: Disposición de probetas sobre la cámara salina	78

PRÓLOGO

El objetivo primordial de esta tesis es de presentar una propuesta de los mejores recubrimientos anticorrosivos existentes en el medio para la protección de estructuras metálicas en la región costa del Ecuador, mediante información actualizada del principal factor que afecta al deterioro de dichas estructuras, que es el ambiente salino, humedad, etc.

A lo largo de los capítulos se encontrará una breve descripción de las actividades ejecutadas para la realización de este estudio, así como un marco teórico que abarca el volumen, materiales y durabilidad de las estructuras metálicas; fundamentos de la corrosión y revestimientos anticorrosivos; además de la metodología a seguir para realizar las pruebas de laboratorio en una cámara de niebla salina necesarias para la elección del mejor anticorrosivo para el análisis en cuestión.

Cabe aclarar que este trabajo presenta solamente un estudio de los parámetros atmosféricos de la región costa del Ecuador, para ello el ensayo de laboratorio ha sido elaborado como se indicó en el párrafo anterior en una cámara de niebla salina tomando en cuenta la norma ASTM B117, la misma que rige la manera de ejecutar dicho ensayo.

Esperamos que este trabajo sea de agrado para los lectores y que los resultados sean expresados en una directa aplicación en las estructuras de la región costa del Ecuador.

Atentamente

Los Autores.

1. Establecer la importancia del uso de anticorrosivos en estructuras metálicas en la región Costa del Ecuador

1.1 Introducción

En nuestro país en los últimos años, el diseño de edificios en acero estructural se ha incrementado en 120% respecto del censo de 2005 [1] y avanza cada día más, esto debido a algunos factores tales como: *rapidez de montaje*, debido a que sus elementos se prestan a procesos de pre-fabricación, *facilidad de acoplamiento* de los elementos ya sean estos soldados o empernados, *alta resistencia por unidad de peso*, en comparación con los materiales normalmente empleados en construcción como el hormigón armado; además el acero estructural posee buenas características de elasticidad, ductibilidad y durabilidad, lo que lo convierte en una de las opciones más atractivas en lo que a construcciones se refiere [2].

Las estructuras metálicas presentan varias ventajas respecto de la forma de fabricación, pero por el contrario presentan también un problema muy conocido denominado corrosión. En este estudio se pretende desarrollar un análisis comparativo de diferentes inhibidores de corrosión, fenómeno que define la interacción de un metal con el medio que le rodea, y que produce deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas.

Este trabajo se concentra principalmente en la región Costa del Ecuador, debido a que los índices corrosivos se presentan con mayor agresividad en esta zona como consecuencia de valores de temperatura (28 - 30°C), humedad (75 - 80%), estos datos corresponden a valores promedio para la ciudad de Guayaquil, recopilados desde el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) [3]. Las repercusiones y problemas debido a este fenómeno son muchos y variados, tales como pérdida de metal, y deterioro del concreto, el deterioro de estos genera vulnerabilidad ante sismos [4].

Este problema a veces es omitido por las familias que habitan los lugares más afectados, ya que en el proceso de construcción de sus viviendas y otros, hacen caso omiso a las sugerencias de arquitectos e ingenieros, pensando que estas sugerencias

son irrelevantes. Dándose cuenta del error cometido en futuros daños estructurales de sus respectivas viviendas.

1.2 Análisis de la construcción en estructuras metálicas de edificios de la región Costa del Ecuador

Las estructuras metálicas hoy en día son muy utilizadas para la construcción de edificios ya que se elige fundamentalmente por su gran capacidad de resistencia, rapidez de montaje y construcción [5].

A continuación en esta sección se analiza los siguientes aspectos, debido a que es de fundamental importancia el establecer la cantidad de estructuras metálicas construidas en la región de estudio.

- a) Volumen de construcciones que se están realizando en la Costa.
- b) Materiales utilizados en las estructuras metálicas de edificios en la Costa.
- c) Durabilidad de estructuras metálicas.
- d) Aspectos generales para la durabilidad en una estructura.

1.2.1 Volumen de construcciones que se están realizando en la región Costa

Según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), el volumen de construcciones desarrolladas en la región Costa del Ecuador, llega a un 40,71% respecto del total nacional ver Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Volumen de construcciones en la región Costa del Ecuador para el año 2010.
Tomado de: [6].

Provincia	Casos	Del porcentaje nacional
Guayas	7465	26,5
Manabí	1714	6,1
El Oro	1377	4,9
Los Ríos	892	3,1
Esmeraldas	37	0,11
Total	11485	40,71

Se ha establecido el análisis en 5 provincias de la región Costa, seleccionado por su cantidad poblacional, de entre las provincias seleccionadas, la provincia del Guayas posee un 26,5% del total nacional para el año 2010.

1.2.2 Materiales utilizados en las estructuras de edificios en la región Costa

En la Tabla 1-2 se muestra los materiales usados comúnmente para construcción en la región Costa.

Tabla 1-2: Materiales utilizados en estructuras de edificios en la región Costa. Tomado de: [6]

Tipo	Casos
Hormigón armado	10657
No aplica	476
Metálica	304
Madera	36
Otros	12
Total	11485

La cantidad de permisos emitidos para construcción de estructuras metálicas en la región Costa, es muy bajo en comparación con el número de casos en los cuales se usa hormigón armado como material primario de construcción.

1.2.3 Durabilidad de estructuras metálicas

La durabilidad es la capacidad para soportar, la vida útil para la que haya sido proyectado dicho material, de acuerdo a las condiciones físicas y químicas a la que haya sido expuesta, y que podrían provocar alguna degradación en las mismas [7].

Para tener una excelente durabilidad en las estructuras se debe tomar en cuenta puntos clave, capaces de considerar todos los aspectos posibles como:

- Tipo de estructura.
- Cargas a la que está sometido.

- Tipos de ambiente y protección.
- Material usado en la construcción.
- Lugar de emplazamiento de la edificación.

A continuación en la subsección 1.2.4, se analiza específicamente la durabilidad de la estructura en función del tipo de ambiente.

1.2.4 Durabilidad en una estructura: tipo de ambiente y protección

Para conseguir una durabilidad en una estructura se debe contemplar todos los posibles mecanismos de degradación, teniendo en cuenta medidas específicas de agresividad a la que se encuentre sometida el material [2], [7].

En la cual como mínimo deberá considerarse los siguientes aspectos:

- Evitar el diseño de formas complejas que lleven a una corrosión elevada, debemos elegir formas de los elementos sencillas de los elementos: usar elementos sin alto grado de superficies curvas, o donde se pueda acumular humedad.
- Se debe reducir el mínimo contacto del agua con el acero: colocar protecciones y evitar goteras, colocar inhibidores de corrosión.
- En el proyecto definir los esquemas estructurales, las formas geométricas, en la cual se facilitará la preparación de superficies, el pintado, las inspecciones y el mantenimiento: asegurar que en la fase de fabricación de cada elemento estructural se cumpla normas de construcción ecuatoriana o extranjeras, establecer que en la fase de montaje las superficies sean adecuadamente preparadas y los inhibidores de corrosión sean los adecuados al tipo de material y exposición ambiental.

1.3 Fundamentos del mecanismo de corrosión

La corrosión es definida como el deterioro de materiales bajo la acción ambiental en el cual está inmerso. Este deterioro es debido al resultado de interacciones material – ambiente bajo condiciones de exposición determinadas [8].

1.3.1 Corrosión electroquímica

La corrosión electroquímica o solución directa, un material se disuelve en un medio corrosivo líquido, este material continuará disolviéndose hasta que se consuma totalmente o hasta que el líquido se sature. Esta energía ha existido siempre, pero en la actualidad se ha prestado mayor atención, como efecto de los avances de la tecnología, es importante mencionar que aproximadamente el 25 % de la producción anual de acero es destruida por la corrosión [9].

La corrosión electroquímica sucede cuando dos o más reacciones químicas ocurren superficialmente en un metal. Como resultado, algunos elementos del metal o aleación cambian de un estado metálico a un estado no metálico. Los efectos de la corrosión pueden ser especies en disolución o productos de la corrosión; en los dos casos, la energía del sistema se reduce a la vez que el metal se convierte a una forma menos energética [10].

El acero oxidado es el ejemplo más conocido de la conversión de un metal (hierro) en un producto de corrosión no metálico (óxido). El cambio de energía del sistema es la fuerza conductora para los procesos de corrosión y sujeto de la termodinámica [11].

La corrosión electroquímica ocurre con mayor frecuencia en un medio acuoso, donde los iones están presentes en el agua, tierra o aire húmedo; en este proceso se crea un circuito eléctrico y el sistema se conoce como *celda electroquímica*.

En la Figura 1-1, se observa una celda electroquímica, la cual consta fundamentalmente de cuatro componentes.

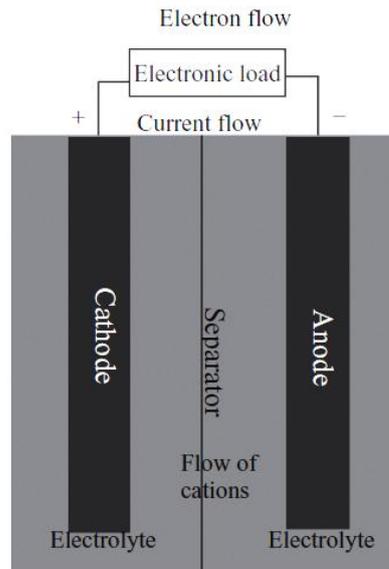


Figura 1-1: Celda electroquímica. Tomado de: [12].

1. **Ánodo:** cede electrones hacia el circuito y se corroe.
2. **Cátodo:** recibe electrones del circuito a través de una reacción química o catódica. Los iones que se combinan con los electrones crean un subproducto en el cátodo.
3. El ánodo y cátodo deben estar conectados eléctricamente, generalmente un contacto físico, que permite el flujo de electrones entre el ánodo y cátodo.
4. Un **electrolito** líquido debe estar en contacto tanto con el ánodo como el cátodo.

El electrolito es conductor, con lo que se cierra el circuito. De esta manera los medio por los cuales los iones metálicos salen de la superficie del ánodo y aseguran que los iones se muevan hacia el cátodo para aceptar los electrones. Si en este proceso se invierte la corriente, se depositan iones de metal en el cátodo y se presenta la electrodeposición [8].

1.3.2 Cinética de la corrosión

Durante el proceso de corrosión, un metal puede asemejarse a una celda en la que la energía se disipa durante el consumo del catódico y la formación de los productos de corrosión. Expresando el balance de masas en términos electroquímicos, se puede establecer que la corriente producida durante la reacción catódica debe ser igual, y de

signo opuesto, a la corriente que se produce durante la reacción del ánodo. Esto equivale a que la velocidad de oxidación anódica se iguala a la velocidad de reducción catódica. La ley de Faraday relaciona la velocidad de corrosión de un metal a cualquier potencial v_{corr} , y la densidad de corriente i_{corr} , mediante la ecuación:

$$v_{corr} = \frac{i_{corr}}{nF} \quad (1-1)$$

Donde n es el número de electrones involucrados en la reacción de disolución del metal y F es la constante de Faraday (96480 C/mol).

1.3.2.1 Polarización

Cuando es aplicada una fuerza electromotriz ($E_{cátodo} - E_{ánodo}$), se forma una celda de corrosión con una corriente que fluye del ánodo al cátodo. El potencial del cátodo se ve modificado hacia una dirección menos noble. Este cambio de potencial se denomina polarización. Por este motivo, la polarización se define como la disminución de la diferencia de potencial entre los electrodos, que tiene lugar al cerrarse el circuito. El potencial cuando circula corriente es distinto al potencial en circuito abierto.

Las curvas que muestran la relación entre la velocidad de corrosión y el potencial se denominan curvas de polarización catódica o anódica y se representan mediante el diagrama de Evans, tal y como puede observarse en la Figura 1-2.

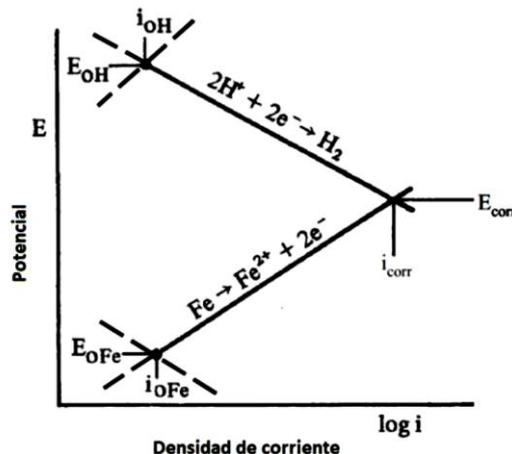


Figura 1-2: Diagrama de Evans para un sistema hierro – hidrógeno. Tomado de: [9]

El potencial de corrosión y la corriente de corrosión vienen dadas por la intersección de las curvas de polarización catódica y anódica, lo que indica que ambos electrodos reaccionan a la misma velocidad durante el proceso de corrosión. Existen tres tipos de polarización:

- **Polarización por activación:** está relacionada con la energía de activación que se necesita para que la reacción tenga lugar en un electrodo. Para superar la energía de activación se requiere una sobretensión, para la reacción anódica o catódica. Dicha polarización puede calcularse mediante la ecuación de Tafel [13].

$$\eta_A = \beta \log \frac{i}{i_0} \quad (1-2)$$

Siendo i_0 la densidad de corriente de intercambio. En el caso de tener polarización catódica, $\beta < 0$. En cambio, en la polarización anódica $\beta > 0$. En la mayoría de los procesos de corrosión la contribución mayor corresponde a la polarización por activación.

- **Polarización por resistencia:** tiene lugar por la modificación del equilibrio por la presencia de una resistencia de valor elevado en el electrolito o el electrodo. Su valor se calcula de la forma siguiente [14]:

$$\eta_R = I \cdot R \quad (1-3)$$

Donde R es la resistencia del electrolito situado en las proximidades del electrodo e I es la intensidad de corriente.

- **Polarización por concentración:** es debida a cambios de concentración en las cercanías del electrodo durante el proceso de difusión de los iones hacia el electrodo, creándose una zona de agotamiento. Puede calcularse mediante la siguiente expresión:

$$\eta_c = \frac{RT}{nF} \ln \left(1 - \frac{i}{i_L} \right) \quad (1-4)$$

Siendo i_L la densidad de corriente límite.

1.3.2.2 Pasivación

La pasivación tiene lugar cuando el potencial de corrosión excede (es más positivo) que el potencial correspondiente al equilibrio entre el metal y uno de sus óxidos/hidróxidos. Bajo condiciones de pasivación, la velocidad de corrosión disminuye y se anula prácticamente mientras no se destruya la capa de óxido formada [15].

La curva de polarización para el proceso anódico puede dividirse en un cierto número de zonas, de acuerdo con la Figura 1-3. Para $E > E_{corr}$, se dice que el metal se encuentra en la zona de pasivación. En esta región, la corriente es independiente del potencial, y la disolución del metal ocurre a una velocidad constante [16].

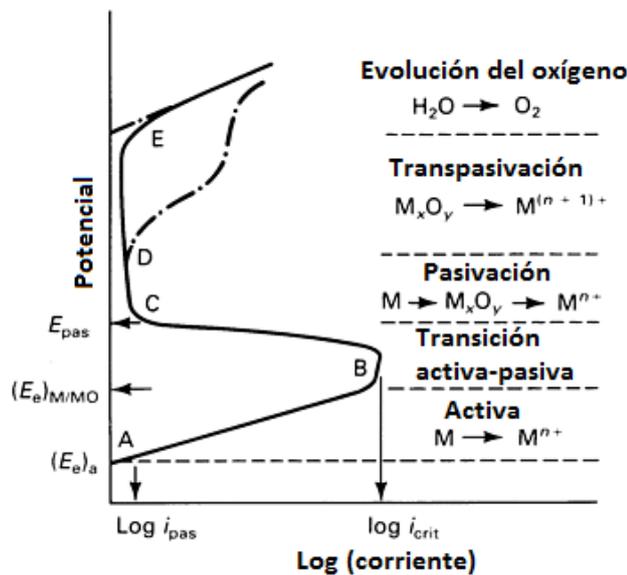


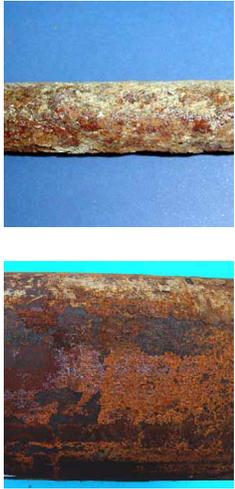
Figura 1-3 Curva de polarización para un sistema metal-ion metálico. Tomado de: [9]

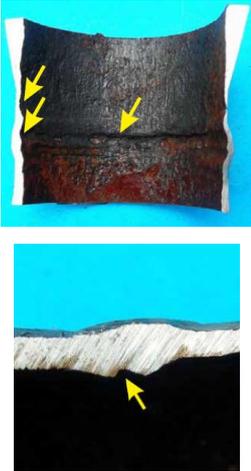
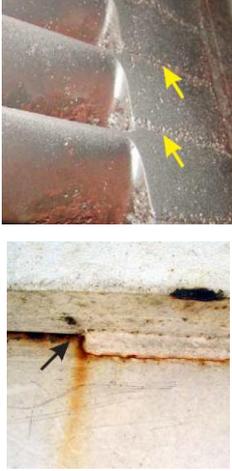
1.3.3 Formas de corrosión

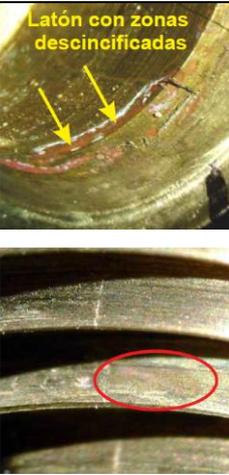
Las variadas formas de corrosión en general se deben a la geometría del metal, a la interacción metal – ambiente, estado de la superficie (limpieza y rugosidad), y a otros mecanismos de desgaste [17].

Según la interacción entre las variables expuestas la corrosión se puede clasificar como se muestra a continuación.

Tabla 1-3: Formas de corrosión. Tomado de: [18]

Tipo de corrosión	Descripción	Figura
Generalizada	Se presenta ataque y depósitos producto de la corrosión, sobre toda el área de la pieza expuesta al medio corrosivo.	
Galvánica	Cuando se presenta corrosión acelerada de un metal, por el hecho de estar en contacto con otro metal más resistente al ataque, dentro de un mismo medio corrosivo.	
Gradiente de concentración	Se da por corrosión localizada en ciertas zonas de una superficie metálica expuesta a un medio corrosivo, producto de gradientes de composición química en el seno del medio atacante.	

<p>Preferente en soldaduras</p>	<p>Se tiene corrosión acelerada en el metal de soldadura, la ZAC (zona afectada por el calor) y/o en el metal base, dentro de una junta soldada expuesta a un medio corrosivo, producto de las diferencias en composición química y durezas entre estas zonas.</p>	
<p>Rendija</p>	<p>Muestra ataque localizado en zonas de traslape de piezas, donde el fluido corrosivo al infiltrarse genera gradientes de composición química respecto al fluido exterior, que aceleran el ataque.</p>	
<p>Bajo depósitos</p>	<p>Muestra ataque localizado en zonas debajo de depósitos, pinturas, productos de corrosión, etc., donde el fluido corrosivo al infiltrarse genera gradientes de composición química respecto al fluido exterior, que aceleran el ataque.</p>	 <p>Depósitos debajo de los cuales se tiene ataque corrosivo</p> <p>Ampollado de pintura debajo del cual hay ataque corrosivo</p>

<p>Tuberculación</p>	<p>Es una forma de corrosión bajo depósitos, donde los productos de la corrosión presentan un crecimiento descontrolado en forma de tubérculos, los cuales pueden taponar tuberías.</p>	
<p>Dealeado</p>	<p>Se da por ataque corrosivo selectivo de un elemento químico de una aleación, lo que origina extracción o dealeación de dicho elemento de la superficie, dejando los demás en la pieza.</p>	
<p>Erosión - corrosión</p>	<p>Cuando un fluido corrosivo en movimiento presenta una tasa de corrosión mayor a la esperada, producto de la cooperación de la acción erosiva del propio fluido o de partículas abrasivas que viajen con él. Las zonas corroídas muestran patrón de flujo.</p>	

1.3.4 Protección contra la corrosión

Muchos de los metales usados en la construcción de estructuras, máquinas entre otros resultan inapropiados cuando se exponen a la atmósfera. En el caso del acero, el hierro se oxida a un hidróxido ferrítico termodinámicamente más estable, es decir hierro con mayor

nivel de energía libre se transforma en lepidocrocita¹, γ -FeOOH, hacia un nivel energético más bajo, según la ecuación 1.5 .[19]



Mediante la aplicación de un recubrimiento sobre la superficie metálica, se consigue prolongar el tiempo para la formación del óxido sobre el sustrato. La elección de un método particular de protección depende de las condiciones generales que prevalecen y de factores económicos. Los métodos fundamentales son los siguientes:

- Recubrimientos orgánicos

Los recubrimientos orgánicos proporcionan protección por dos vías: una acción protectora como barrera; y por inhibición activa de la corrosión mediante los pigmentos que contienen.

La velocidad de transmisión media de agua a través de un recubrimiento es de 10 a 100 veces mayor que en el caso de una superficie descubierta. Pero en la práctica, las propiedades como barrera están limitadas debido a la cierta permeabilidad de los recubrimientos orgánicos al agua y al oxígeno. Por este motivo, se añaden pigmentos que inhiben la corrosión. En muchos casos los materiales que inhiben la corrosión están solamente en el recubrimiento inicial o imprimación, aunque se han desarrollado sistemas de pintado que incluyen pigmentos inhibidores en cada una de las distintas capas del sistema.

- Recubrimientos metálicos

Los recubrimientos metálicos pueden clasificarse de acuerdo a las siguientes categorías:

- **Electrodeposición:** Consiste en recubrir un material con una capa metálica protectora (normalmente zinc o estaño), utilizando corriente eléctrica.

¹ La lepidocrocita o pyrrhosiderita es un mineral de la clase de los hidróxidos, químicamente un hidróxido de hierro frecuentemente con impurezas de manganeso.

- ***Recubrimientos auto catalíticos:*** En estos recubrimientos, el metal (Ni, Co, Pd, Pt, Cu, Ag o algunas aleaciones de éstos) está en forma iónica en la disolución y se reduce por un procedimiento químico sin utilizar corriente.
- ***Anodizado del aluminio:*** Se trata de un procedimiento electrolítico en el que el metal actúa como ánodo en un circuito eléctrico adecuado, de manera que se oxida y el óxido resultante es protector.
- ***Galvanizado en caliente:*** Esta operación consiste en sumergir las piezas a proteger en un baño de zinc fundido a elevada temperatura. Así se consiguen diferentes capas de aleaciones zinc-hierro de distinta composición que le confieren protección.
- Protección catódica de estructuras sumergidas o enterradas.

Este tipo de protección se define como el empleo de una corriente impresa para evitar o disminuir la velocidad de corrosión de un metal en un electrolito, convirtiendo el metal en cátodo de la corriente impresa. La fuente de corriente es indiferente. Puede ser una corriente alterna rectificada, una corriente continua generada, o puede tener un origen galvánico, como en el caso en que el hierro y un metal activo, como el zinc o el magnesio, se conectan y sumergen en un electrólito común, de tal forma que el hierro queda protegido a expensas del zinc o del magnesio.

- Inhibidores

Se trata de compuestos orgánicos o inorgánicos que disminuyen la agresividad del medio sobre un metal, bien por reducir la probabilidad de que tenga lugar la corrosión, bien por reducir la velocidad de ataque. Se utilizan generalmente cantidades menores del 1% en disolución acuosa, aunque también pueden utilizarse en fase gaseosa.

1.4 Revestimientos orgánicos - pinturas

Los recubrimientos orgánicos más usados comúnmente son las pinturas. Las pinturas pueden proteger las estructuras metálicas contra un ambiente corrosivo de forma relativamente económica. El grado de protección depende de las propiedades del sistema total pintado, que consiste en: la capa de pintura, el sustrato metálico, y su pre-tratamiento [20], [21].

La pintura líquida básicamente es un sistema disperso formado por partículas sólidas de pigmentos, en un medio líquido que se convierte en película sólida y opaca después de su aplicación, en forma de capa fina, sobre un sustrato metálico. Los principales componentes de la pintura son: el vehículo, formado por el aglutinante (o formadores de película) y los disolventes, los pigmentos, los aditivos y las cargas. La Figura 1-4 muestra un esquema de los distintos componentes que constituyen una pintura [10].

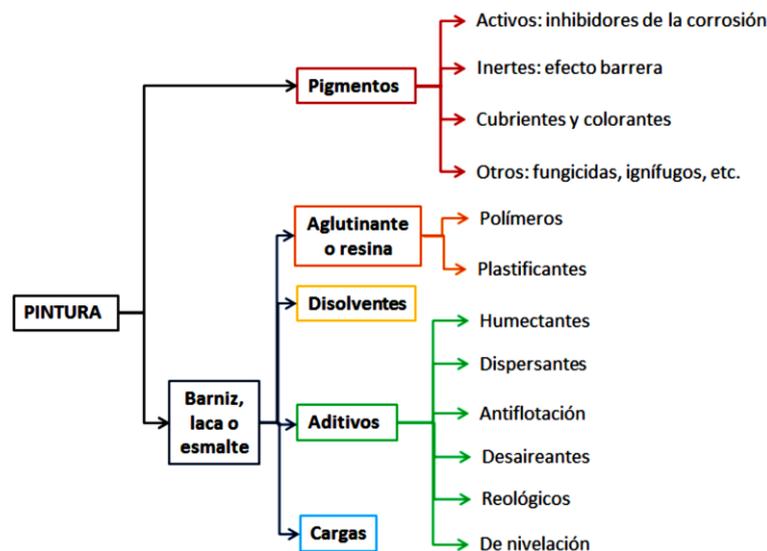


Figura 1-4: Componentes de una pintura. Tomado de: [9]

El *vehículo* es la porción líquida de una pintura, formada por el disolvente y la resina o aglutinante. Aunque el aglutinante presenta el efecto predominante en cuanto a la resistencia y las propiedades de la pintura, el tipo y la cantidad de pigmentos, disolventes y aditivos influyen en las propiedades de aplicación y las cualidades protectoras de la película aplicada.

La función del *disolvente* es reducir la viscosidad del aglutinante y otros componentes para permitir una mezcla homogénea. Además, la reducción de la viscosidad permite aplicar la pintura de forma continua, fina y suave en una superficie específica. Algunos de los disolventes más utilizados son: hidrocarburos aromáticos, alifáticos, cetonas, esterés, alcoholes, éteres, glicoles y agua.

Los *aglutinantes* son los componentes que al secarse polimerizan o reaccionan formando una capa sólida, la película de pintura. Su densidad y composición determinan la permeabilidad, la resistencia química y la resistencia a los rayos ultravioleta (UV) de la pintura. La capa continua se forma por un proceso de curado físico o químico, o bien, mediante una combinación de ambos.

Los *aditivos* sirven para mejorar las propiedades físicas y químicas de los recubrimientos. La mayor parte de aditivos se formulan en una pintura en cantidades muy pequeñas (entre el 0,005 y el 5%) para proporcionar una función específica. Para conseguir un almacenamiento y unas propiedades de aplicación óptimas, la correcta elección de los aditivos resulta de vital importancia.

Los *pigmentos* se definen como partículas sólidas finas ($>0,1\mu\text{m}$ - $0,5\mu\text{m}$) que son fundamentalmente insolubles en el vehículo. Los pigmentos confieren color y opacidad, así como una mejora de su resistencia mecánica. Por otro lado, pueden ser añadidos como mecanismos de protección frente a la corrosión. Estos mecanismos se muestran esquemáticamente en la Figura 1-5. Una pintura sin pigmento, sólo con vehículo, recibe el nombre de barniz, laca o esmalte. Su acción protectora contra la corrosión se limita al efecto barrera, puesto que no tienen carácter inhibidor.

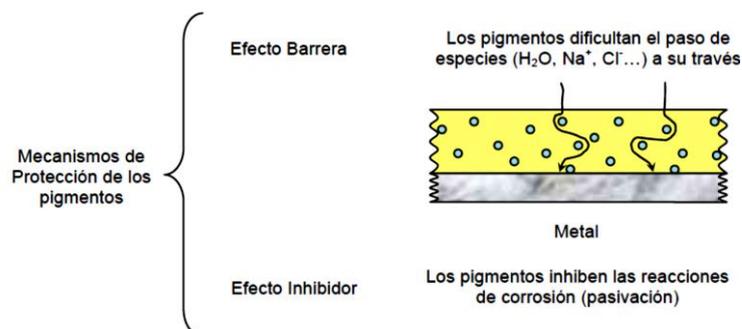


Figura 1-5: Mecanismo de protección otorgado por pigmentos. Tomado de: [9]

Las pinturas pueden contener algunos o varios tipos de pigmentos. Los *pigmentos activos* son los pigmentos inhibidores de la corrosión. Actúan mediante pasivación anódica o catódica, o bien, mediante la generación de una protección catódica. El zinc, por ejemplo, se emplea en elevadas concentraciones para obtener contacto eléctrico y conseguir una protección galvánica en ambientes con pH entre 5 y 10. Los *pigmentos inertes* son pigmentos que se emplean en pinturas que trabajan por efecto barrera en ambientes neutros, separando el metal del medio. Los *pigmentos anti incrustantes* son pigmentos que impiden el crecimiento de microorganismos, especialmente en cascos de buques y circuitos de refrigeración; *pigmentos fungicidas*, que impiden el crecimiento de hongos; o *pigmentos ignífugos*, que aumentan la resistencia al fuego de la pintura [22].

En general, la adición de pigmentación en el sistema (pigmentos activos) da lugar a una mejora de las propiedades anticorrosivas siempre que no se supere la concentración crítica de pigmentos en volumen (CCPV), a partir de la cual distintas propiedades del sistema (entre ellas la protección) empeoran.

La principal función de las *cargas* o extensores en las pinturas es incrementar el volumen del recubrimiento mediante la incorporación de materiales de bajo coste, tales como la mica o el talco. A su vez, también mejoran algunas de las propiedades de la pintura como la resistencia al impacto y a la abrasión. Cuando la pintura ha secado, las cargas reducen la permeabilidad al agua y al oxígeno, y proporcionan una estructura de refuerzo en la película.

En estado líquido, antes de la aplicación, la pintura debe formar emulsión estable de aglutinante, pigmentos y aditivos en el disolvente. Todos los componentes deben permanecer distribuidos, más o menos homogéneamente, en la fase líquida. Esto requiere una elevada compatibilidad entre el disolvente y el resto de componentes, y la presencia de fuerzas repulsivas entre componentes para evitar aglomerados. En cambio, una vez la pintura ha sido aplicada, se requiere una mayor fuerza atractiva entre los distintos componentes para la formación de una película continua. Por otra parte, la interacción con el disolvente debe disminuir para permitir su evaporación de la película.

1.5 Polímeros conductores

Antiguamente se creía que los polímeros no podían conducir electricidad, debido a que eran considerados excelente aislante. No obstante en el año 2000 el premio Nobel de química fue otorgado a Alan J. Heeger, Alan G. MacDiarmid y Hideki Shirakawa por el descubrimiento y el estudio de los polímeros conductores. Debido a esto en los últimos años se han sintetizado materiales poliméricos los cuales poseen conductividades eléctricas similares a las de los conductores metálicos. Estos materiales pueden presentar valores de conductividad tan altas como $1,5 \cdot 10^7 \text{ (}\Omega \cdot \text{m)}^{-1}$; en base al volumen, este valor representa una cuarta parte de la conductividad del cobre, o bien el doble de su conductividad en base al peso [23].

Este fenómeno ha sido observado en alrededor de una docena de polímeros, incluyendo poliacetileno, poliparafenileno, polipirrol y polianilina dopados con impurezas apropiadas. De la misma manera que en los semiconductores, estos polímeros pueden ser de tipo *n* (dominan los electrones libres), o bien de tipo *p* (dominan los huecos) según cuál sea el dopante. Sin embargo, a diferencia de los semiconductores, los átomos o moléculas dopantes no sustituyen o reemplazan a ninguno de los átomos del polímero [24].

Los polímeros de alta pureza tienen la estructura electrónica de bandas características de los aisladores eléctricos. El mecanismo por el cual se generan en estos polímeros grandes cantidades de electrones libres y huecos es complejo y no bien conocido. En términos muy simples, parece que los átomos dopantes provocan la creación de nuevas bandas de energía que se solapan con las bandas de valencia y conducción parcialmente llenas y la producción a temperatura ambiente de una alta concentración de electrones libres y de huecos. Orientando las cadenas del polímero, ya sea mecánicamente o bien magnéticamente, durante la síntesis, resulta un material altamente anisotrópico que tiene un máximo de conductividad a lo largo de la dirección de la orientación [25].

La polianilina es uno de los polímeros conductores más utilizados actualmente en la protección frente a la corrosión debido a las siguientes propiedades: alta conductividad eléctrica; el proceso de dopado es reversible, es decir, es posible de

dopar el polímero una vez ha sido dopado; cambio de color a diferentes potenciales (el color es una indicación de si el polímero está dopado o no y en qué grado); alta estabilidad atmosférica; tiene una gran resistencia al aire y al calor; y es de fácil obtención y bajo coste. Además, este polímero tiene la particularidad que puede representarse en diferentes estados redox (Figura 1-6), los cuales se diferencian en el número de protones unidos al nitrógeno y determinan el grado de oxidación del polímero [26], [27].

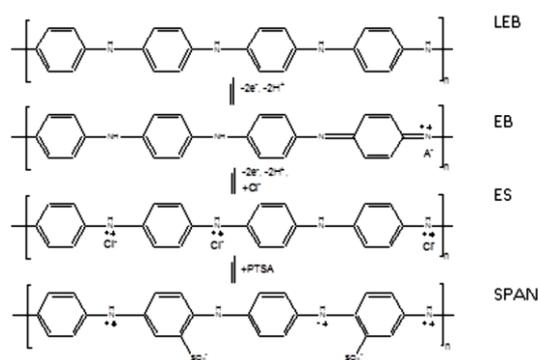


Figura 1-6: Reacciones redox de la polianilina. Tomado de: [9]

El polímero conductor a ejercer como agente anticorrosivo del nuevo recubrimiento a formular es el PTE, un derivado del politiofeno sintetizado y patentado en los laboratorios del grupo IMEM y diseñado especialmente para ser soluble en disolventes orgánicos como los utilizados en pinturas anticorrosivas. A diferencia de otros polímeros conductores, este no es sintetizado mediante vías electroquímicas, hecho que permite preparar grandes cantidades de polímero. La síntesis química de este polímero se obtiene vía polimerización del monómero tiofeno ácido (TA) a partir del cual se suceden una serie de reacciones de esterificación, polimerización, dopado y neutralización hasta la obtención de un precipitado de color rojizo. En la figura siguiente se representa el esquema de síntesis. Por motivos de confidencialidad no se desvela el grupo R lateral [25].

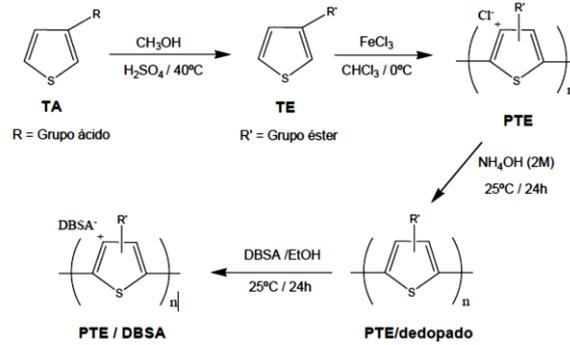


Figura 1-7: Síntesis química del PTE dopado y dedopado. Tomado de: [9], [27]

1.6 Conclusiones

El crecimiento acelerado de las construcciones de acero estructural debido a su rapidez de montaje, facilidad de acoplamiento, etc., ha llevado a realizar un estudio profundo sobre los distintos mecanismos de corrosión siendo este el principal problema en la región costa del Ecuador ya que los parámetros medioambientales son muy agresivos (temperatura 28 – 30°, humedad 75 – 80%) considerando el ambiente salino como principal causante del deterioro acelerado de las estructuras metálicas. Para ello se definen los diferentes métodos de aplicación de anticorrosivos, para alargar la vida útil del acero, material base.

La mantención de las estructuras metálicas puede llegar a ser de costos muy elevados a comparación de la inversión inicial, en nuestro medio la mayoría de las empresas constructoras tratan de abaratar costos, no realizan una planificación de la protección del metal por lo cual no realizan ningún tipo de protección antes de armar la infraestructura, la mayoría prefiere utilizar la pintura como la primera opción anticorrosiva para los metales debido a su costo y a su fácil aplicación.

La mayoría de constructores arman esquemas estructurales de formas geométricas diversas con la finalidad de evitar contacto con agentes anticorrosivos, las mismas deben ser de fácil armado para poder pintarlas, realizar inspecciones continuas y para realizar su mantenimiento respectivo.

1.7 Referencias

- [1] D. Timbi and J. Sarmiento, “Diseño y cálculo estructural en acero de un edificio de 9 pisos, 36m. de altura destinado a vivienda multifamiliar utilizando las características mecánicas de los productos que fabrica y comercializa la empresa TUGALT S.A.,” Proyecto final de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2008.
- [2] J. McCormac, *Diseño de estructuras de acero: método LRFD*, 1st ed. México: Alfaomega, 2002.
- [3] INAMHI, “Boletín Meteorológico de Guayaquil,” INAMHI, Guayaquil, Meteorológico 257, Oct. 2013.
- [4] A. M. Carvajal, “Análisis de las Normas Chilenas relacionadas con corrosión de acero y su protección,” *Rev. Construcción*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2002.
- [5] R. Hibbeler, *Structural analysis*, 8th ed. Estados Unidos: Prentice Hall, 2009.
- [6] INEC, “Encuesta anual de Edificaciones 2012 , Permisos de Construcción,” Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito, Ecuador, Edificaciones - Código de provincia, 2010.
- [7] O. González, *Análisis estructural*, 1st ed. México: Limusa, 2002.
- [8] D. Askeland and P. Pradeep, *Ciencia e ingeniería de los materiales*, 4th ed. México: Thomson, 2004.
- [9] L. Molina, “Estudio avanzado de corrosión,” Maestría en Ingeniería Química, Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2011.
- [10] T. Charng and F. Lansing, “Review of corrosion causes and corrosion control in a technical facility,” *Tda Prog. Rep.*, vol. 42, no. 69, pp. 145–156, 1982.
- [11] R. Burns, “The corrosion of metals -- I Mechanism of Corrosion Processes,” *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 15, no. 1, p. 20, Jan. 1936.
- [12] R. Vasant and T. Sarakonsri, *Introduction to electrochemical cells*, 1st ed. Germany: Wiley-Vch, 2010.
- [13] Y. Meas, “Técnicas electroquímicas para la medición de la velocidad de corrosión,” Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2012.
- [14] S. Cramer and B. Covino, *ASM Handbook : Corrosion Materials*, 1st ed., vol. 13B. Estados Unidos: ASM International, 2005.
- [15] E. Bardal, *Corrosion and protection*, 1st ed. London, U.K.: Springer.
- [16] P. Roberge, *Corrosion Engineering: Principles and Practices*, 1st ed. New York: McGraw - Hill, 2008.
- [17] Y. Waseda and S. Suzuki, *Characterization of Corrosion Products on Steel Surfaces*, 1st ed. Springer, 2005.
- [18] E. Espejo, “Tipo de corrosión y de superficies corroídas en metales.” Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [19] R. Baboian, *Corrosion tests and Standards: Application and Interpretation*, 2nd ed. Baltimore: ASTM International, 2005.
- [20] C. Guidice and A. Pereyra, “Pinturas anticorrosivas para sustratos de hierro y acero,” p. 11.
- [21] E. Flick, *Corrosion Inhibitors - An Industrial Guide*, 2nd ed. Estados Unidos: Noyes Publications, 1993.
- [22] A. Guzmán, “Evaluación de la resistencia a la corrosión con altos sólidos por medio de espectroscopía de impedancia electroquímica,” Maestría en Ingeniería - Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2011.

- [23] D. Kumar and R. C. Sharma, "Advances in conductive polymers," *Eur. Polym. J.*, vol. 34, no. 8, pp. 1053–1060, 1998.
- [24] H. S. Rzepa, "Conducting polymers." Imperial College, 2003.
- [25] L. Dai, *Intelligent Macromolecules for Smart devices from materials synthesis to device applications*, 1st ed. Germany: Springer, 2004.
- [26] P. R. Bidez, S. Li, A. G. MacDiarmid, E. C. Venancio, Y. Wei, and P. I. Lelkes, "Polyaniline, an electroactive polymer, supports adhesion and proliferation of cardiac myoblasts," *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.*, vol. 17, no. 1–2, pp. 199–212, 2006.
- [27] K. M. Molapo, P. M. Ndangili, R. F. Ajayi, G. Mbambisa, S. M. Mailu, N. Njomo, M. Masikini, P. Baker, and E. I. Iwuoha, "Electronics of Conjugated Polymers (I): Polyaniline," *Int J Electrochem Sci*, vol. 7, pp. 11859–11875, 2012.

2. Metodología para ensayos de probetas de acero con recubrimiento en cámara de niebla.

2.1 Introducción

La degradación de una pintura por los agentes atmosféricos resulta de la combinación de numerosas causas, las mismas que en su gran mayoría actúan de una manera repetitiva con un gran impacto dañino sobre la pintura y a su vez sobre el material recubierto.

Las principales variables asociadas con un entorno que afecte de manera significativa a la degradación de un recubrimiento por pintura son: *la luz solar*, específicamente la región ultravioleta (UV), la misma que es la causante de la degradación de materiales; *el calor, la temperatura, la humedad; los contaminantes*, esto debido a la creciente contaminación industrial, que provoca la llamada lluvia ácida y esta degrada a los materiales; y por último *el ambiente atmosférico*, que engloba todas las anteriores y podría constituirse en un factor muy agresivo para provocar degradación en la pintura [28].

Para complementar los efectos de la degradación de un recubrimiento de pintura es necesario conocer cómo se determina dicho efecto, para ello se simulan las condiciones ambientales en maquinaria propia para ello, entre los cuales se citan los siguientes:

Intemperiómetros o Weather Ometers: Son equipos que utilizan una fuente de energía radiante, la cual es una lámpara de xenón, el mismo que permite emitir un espectro de luz similar al espectro de luz emitido por el sol. Para la simulación de la humedad se utiliza un dispositivo de pulverización de agua, que conjuntamente con el control de la humedad se genera un choque térmico [28] [29].

La degradación en este ensayo se debe a la elevada energía que absorben los elementos orgánicos de la pintura, el funcionamiento continuo de estos equipos van desde 500 a 2000 horas.

La acción directa de este ensayo esta en las propiedades ópticas de la capa de pintura.

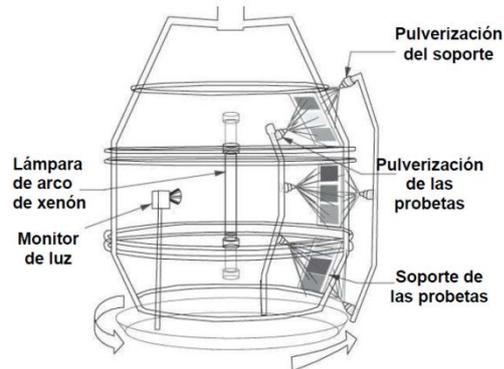


Figura 2-1: Intemperiómetro. Tomado de: [28]

Cámara de UV: Como su nombre lo indica es un ensayo que mide la resistencia a la luz UV, de las capas de pintura, el mismo que se ejecuta sobre paneles con características preestablecidas, estos se ensayan a la acción de la luz ultravioleta con el fin de comprobar dicha resistencia y demás parámetros contemplados en normalizaciones. Por lo general se identifica color y brillo, y demás propiedades fisicomecánicas [29].



Figura 2-2: Cámara de UV. Tomado de: [30]

Para un análisis en el que sea posible determinar *la resistencia a la corrosión* de los materiales con o sin algún tipo de recubrimiento se utilizan los siguientes equipos:

- Cámara de niebla salina.
- Cámara de humedad y temperatura controladas.

- Resistencia a la temperatura.
- Resistencia al agua y otros agentes químicos.

Siendo para el presente estudio el estudio específico de la cámara de niebla salina.

2.2 Cámara de Niebla Salina

Es un equipo capaz de reproducir las condiciones reales atmosféricas que se producen en las áreas marítimas que provocan la corrosión, tales como la niebla salina marina, la contaminación urbana o la contaminación industrial

2.2.1 Antecedentes

Desde tiempos atrás la corrosión es un fenómeno que causa grandes pérdidas de dinero hasta la actualidad. Por eso los fabricantes de la materia prima prueban en un laboratorio las resistencias de dicho material simulando condiciones climáticas corrosivas en una cámara de niebla.

La cámara de niebla salina fue inventada en 1914 por el entonces Director de la “National Bureau of Standars” el Ingeniero J.A. Capo, quien buscando una prueba que reprodujera los efectos de las condiciones del mundo real pero de forma acelerada y con variables controladas, se percató que el agua de mar pulverizada corroía más rápido de lo normal. Por lo que en 1939 se crea la norma ASTM B117.

Muchas personas debido a mayores exigencias para sus productos se han cambiado de la norma ASTM B117 a otras normas con modificaciones que cumplen con sus requisitos de aplicación.

A pesar de numerosos estudios con otras pruebas, en la actualidad se sigue utilizando la cámara de niebla salida basada en la norma ASTM B117, ya que los resultados obtenidos siguen de gran utilidad en el sector industrial y científico determinando de cierta forma el comportamiento de los materiales ante ambientes corrosivos.

2.2.2 Condiciones de trabajo

Las condiciones de funcionamiento de la cámara están precisadas en la norma ASTM B 117 como se indica en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Condiciones de trabajo de la cámara de niebla salina. Tomado de: [31]

CONDICION	RANGO
Temperatura,	35 ± 1 °C
Ph	6,5 a 7,2
Concentración salina	5 ± 1 % en peso

La cantidad de condensado por unidad de superficie está también establecida; los paneles se disponen en posición vertical o inclinados con un ángulo entre 10 y 30 grados respecto al eje vertical.

El pulverizado actúa directamente sobre un deflector de acrílico; el condensado es recirculado pero el que permaneció en contacto con la superficie en estudio se elimina por la parte inferior de la cámara.

En la Tabla 2-2 se muestra algunos materiales o productos que requieren cámara de niebla salina:

Tabla 2-2: Clasificación industrial que requieren la prueba de niebla salina Tomado de: [31]

MATERIALES SUPERFICIES	PRODUCTOS QUE REQUIEREN LA PRUEBA DE NIEBLA SALINA
Materiales arquitectónicos y acabados	<ul style="list-style-type: none">• Pinturas interiores y exteriores• Acabados orgánicos e inorgánicos• Materiales de construcción
Materiales de automotores	<ul style="list-style-type: none">• Pinturas y barnices• Acabados brillantes
Superficies resistentes a la corrosión	<ul style="list-style-type: none">• Capas protectoras y revestimientos• Acabados plateados y pintados• Pinturas y capas
Materiales aeroespaciales	<ul style="list-style-type: none">• Materiales de construcción• Herramientas y componentes

Materiales marítimos y acabados	<ul style="list-style-type: none"> • Pinturas y recubrimientos • Acabados galvanizados • Tarjetas de circuitos
Sistema eléctrico y electrónico	<ul style="list-style-type: none"> • Transformadores • Relés

2.2.3 Propósito de una cámara de niebla salina

EL propósito de la cámara de niebla salina es de duplicar en el laboratorio el comportamiento frente a la corrosión en campo de un producto. Esto provee a los científicos e ingenieros medios de desarrollo de nuevos productos. Por muchos años el ensayo de niebla salina ha sido usado con este fin por los investigadores en la evaluación de nuevos recubrimientos metálicos, nuevos recubrimientos de pinturas, y como ensayo de varios tratamientos químicos y tratamientos de pre pintado para usar con los productos de planchas de acero recubiertas.

2.2.4 Resultados que se pueden obtener de una Cámara de niebla salina

Los resultados se pueden evidenciar desde los siguientes puntos como se indica en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Resultados que se pueden obtener en una cámara de niebla salina. Tomado de: [31]

La superficie del metal.	Es el más frecuentemente utilizado para juzgar sobre la corrosión. Con tal observación se presta atención a los daños producidos tales como grietas o fisuras. Cuando la corrosión es localizada podemos estimar el grado, por la magnitud y la distribución de los lugares corroídos.
Investigaciones microscópicas de la superficie.	En las investigaciones modernas se ha empleado este tipo de método para ver el grado de corrosión del material.
Reconocimiento de defectos superficiales, grietas.	Se producen con frecuencia defectos superficiales cuyo reconocimiento es importante para juzgar el proceso del ataque. En este método se utilizan ensayos no destructivos entre los cuales se pueden citar: <ul style="list-style-type: none"> • Emplear materiales fluorescentes

	<ul style="list-style-type: none"> • Emplear polvos magnéticos • Indicadores radiactivos • Indicadores ultrasónicos
Determinación de las variaciones de peso.	En la mayoría de corrosión se mide la magnitud por variaciones de peso.
Determinación de las variaciones de espesor.	La característica más sencilla de determinar es la disminución del espesor

2.2.5 Clases de ensayos de niebla salina en función de su composición.

Los ensayos de corrosión por niebla salina se clasifican en tres clases, en función de su composición, como sigue:

a) Niebla salina neutra (NSS): Está formada por una solución acuosa de ClNa a pH 7, bajo las prescripciones de la norma ASTM B-117 y sus homólogas.

b) Niebla salina ácida (AASS): Está formada por una solución acuosa de ClNa a pH 3, bajo las prescripciones de la norma ASTM G 1-90 y sus homólogas.

c) Niebla salina Cupro-Acética (CASS): Está formada por una solución acuosa de sales con presencia de Cu y CH₃COOH, bajo las prescripciones de la norma ASTM B 368-97 y sus homólogas.

Aplicaciones:

NSS: Ensayos de corrosión de metales y aleaciones diversas en general.

AASS: Ensayos de corrosión de aluminio y cobre.

CASS: Ensayos de corrosión de superficies cromadas y niqueladas sobre piezas de acero, aleaciones de zinc, aluminio o plásticos. [32]

2.2.6 Tipos de cámara de niebla salina

En el mercado existen diferentes proveedores de estas cámaras y también diferentes empresas que fabrican este tipo de equipos, hoy en día la competencia a nivel mundial es grande lo que es difícil centrarnos en un equipo en especial.

Entre algunas de las marcas disponibles en el mercado podemos citar los siguientes con algunas de sus principales características.

2.2.6.1 Neurtek

Este tipo de equipos son de procedencia Española, a continuación en la Figura 2-3 se presenta las especificaciones de los modelos Alpha 500 y 1000 respectivamente.

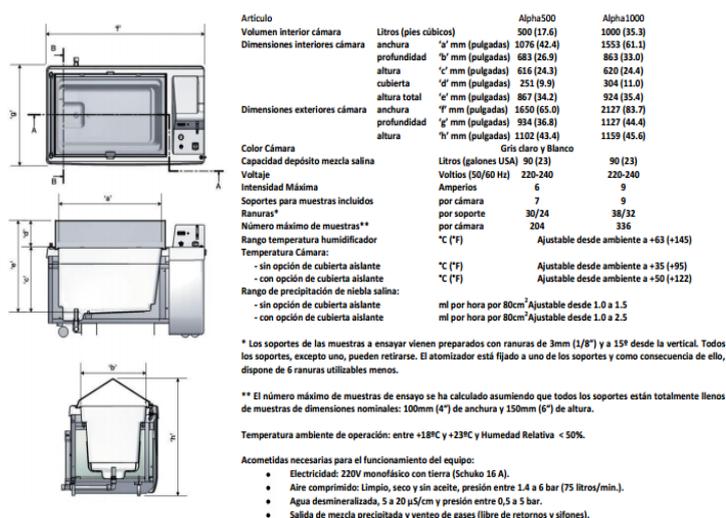


Figura 2-3: Especificaciones de modelos Alpha 500 y 1000. Tomado de: [33]

Los tamaños de las cámaras Alpha cumplen con las normas internacionales más habituales para los ensayos de corrosión por niebla salina, incluyéndola norma ASTM B117

2.2.6.2 Chemisa

Es una empresa Argentina fabricante de productos químicos, y también fabrica cámaras de niebla salina. En la Figura 2-4 se muestra los diferentes tipos de modelos de esta marca.

MODELO	NS-200	NS-400	NS-1200
Volumenes			
Cámara de niebla	230 litros.	390 litros	1200 litros
Volumen total (tapa)	270 litros.	450 litros	1380 litros
Depósito de solución salina	120 litros	120 litros	120 litros
Depósito de agua	27 litros	27 litros	27 litros
Espacio Muestras			
Paneles de 100 x 300 mm	120 unidades.	220 unidades.	400 unidades.
Largo	340 mm.	1200 mm.	1300 mm.
Ancho	500 mm.	500 mm.	1000 mm.
Profundidad	550 mm.	650 mm.	950 mm.
Dimensiones Externas			
Largo	1850 mm.	2200 mm.	2400 mm.
Ancho	800 mm.	800 mm.	1300 mm.
Altura máxima (tapa cerrada)	1050 mm.	1050 mm.	1300 mm.

Figura 2-4: Especificaciones de las cámaras Chemisa. Tomado de: [34]

2.2.6.3 Q-LAB

Estos productos son de procedencia Española, las cámaras de ensayos de corrosión cíclicos Q-FOG de Q-Lab pueden realizar ensayos de niebla salina tradicionales, ensayos Prohesion y la mayoría de los ensayos cíclicos de automoción. Las cámaras Q-FOG se ofrecen en dos tamaños para cumplir una amplia gama de requisitos de ensayo. En la Figura 2-5 se muestra los diferentes modelos que ofrecen para la venta al público de acuerdo a la necesidad del usuario.

Model Number:	SSP 600	SSP 1100	CCT 600	CCT 1100
Chamber Volume Liters	640	1103	640	1103
Sample Capacity: 4" x 12" Panels (100 x 300mm) 3" x 6" Panels (75 x 150mm)	128 160	200 240	128 160	200 240
Sample Space: Length Width Height (not including lid) Height (including lid)	42.9" (1090mm) 25.8" (655mm) 18.0" (457mm) 28.5" (655mm)	57.4" (1458mm) 32.1" (815mm) 18.0" (457mm) 30.5" (775mm)	42.9" (1090mm) 25.8" (655mm) 18.0" (457mm) 28.5" (655mm)	57.4" (1458mm) 32.1" (815mm) 18.0" (457mm) 30.5" (775mm)
Salt Fog Ambient to 60° C	•	•	•	•
Dry-Off (forced air) Ambient to 70° C	•	•	•	•
Dwell (no action) Ambient to 60° C	•	•	•	•
100% Humidity 45° C to 60° C			•	•
Visual Monitoring via Window & Light			•	•

Figura 2-5: Especificaciones de las cámaras Q-FOG. Tomado de:[35]

En conclusión a lo revisado se nota claramente que todas las marcas de niebla salina tienen la misma funcionalidad y características comunes ya utilizan la norma ASTM B117. La diferencia frecuentemente entre modelos es que cambia el tamaño de la máquina y capacidad para las muestras, es aquí donde también va a variar el precio entre ellas.

2.3 Cámara de niebla salina “Q-FOG”

La cámara de niebla salina a utilizar es la siguiente como se indica en la Figura 2-6.



Figura 2-6: Cámara de niebla Q-FOG.

El tamaño y características se encuentran en la Tabla 2-4:

Tabla 2-4: Características de la cámara Q-FOG	
Modelo	Q-FOG/CCT600
Serie No.	10-0141-40-CCT600
Volumen de la cámara en litros	640
Voltaje en voltios	230
Amperios	14
Frecuencia	50/60Hz
Espacio muestral:	
longitud	42.9" (1090mm)
ancho	25.8" (655mm)
Altura (sin incluir la tapa)	18.0" (457mm)
Altura (incluyendo tapa)	28.5" (724mm)
Capacidad de la muestra:	
4 "x 12" Paneles (100 x 300mm)	128
3 "x 6" Paneles (75 x 150mm)	160

2.3.1 Principales componentes.

Los principales componentes de la máquina modelo Q-FOG/CCT600 con serie No. 10-0141-40-CCT600 se enumeran a continuación:

2.3.1.1 Depósito de solución

El depósito de 120 litros contiene suficiente solución durante cinco días de niebla salina continua. Los sensores detectan cuando el nivel de la solución es muy bajo y se detendrá automáticamente la prueba cuando el depósito está vacío.



Figura 2-7: Depósito de solución salina

2.3.1.2 Torre de burbuja

El propósito de la torre de la burbuja es de saturar el aire comprimido usado para atomizar la solución de sal. También actúa como un filtro para eliminar el aceite del mencionado aire, además contiene un calentador para mantener el agua a 12°C más caliente que la temperatura de inclinación durante los pasos de niebla.

El nivel de agua en la torre de la burbuja se mantiene automáticamente por los interruptores de nivel y válvula de solenoide de llenado de agua

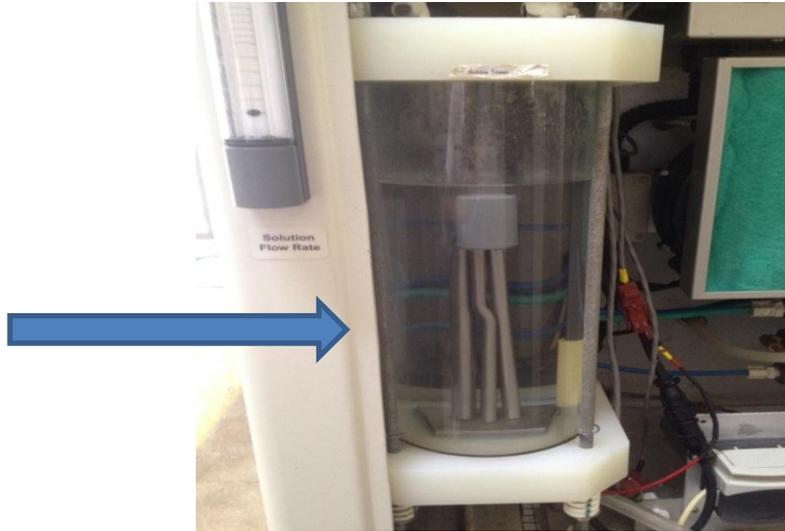


Figura 2-8: Torre de Burbuja

2.3.1.3 Caldera

La función de la caldera es la de mantener una humedad relativa de 100% mediante el vapor de agua generado, el mismo que mantiene la temperatura de proceso por el vapor que se añade a la cámara.

El nivel del agua en la caldera es automático, ya que es controlado por un interruptor de nivel y válvula de solenoide de llenado de agua.

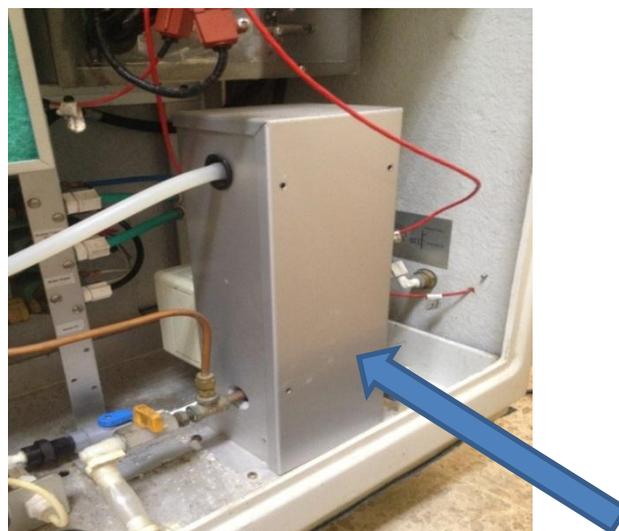


Figura 2-9: Caldera

2.3.1.4 Filtro de aire.

Durante la etapa en la que no existe humedad, el ventilador sopla aire al interior de la cámara pasando por un filtro de aire.

Una válvula se abre para permitir que el aire ingrese en la cámara cada vez que el ventilador está encendido, mientras que cuando el ventilador se apaga, la válvula se cierra para evitar que la niebla salina se escape.

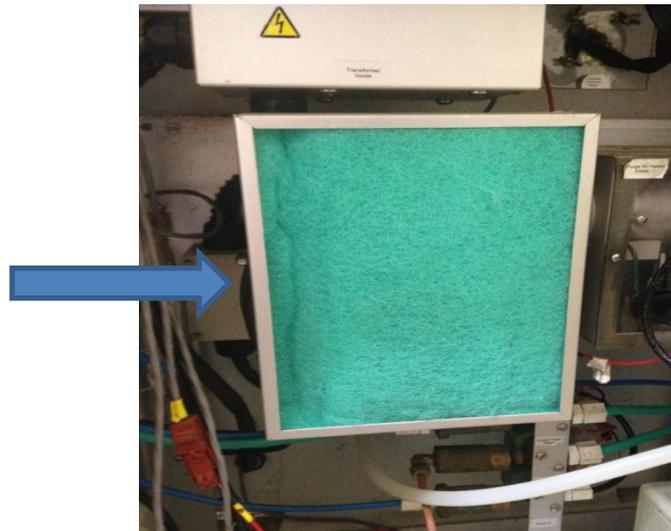


Figura 2-10: Filtro de aire

2.3.1.5 Calentadores

Dos calentadores en la parte inferior de la cámara se utilizan para mantener la temperatura durante la niebla, y las condiciones necesarias para todos los pasos del proceso



Figura 2-11: Calentadores

2.3.1.6 Bomba

Se utiliza una bomba para suministrar solución de sal a la boquilla pulverizadora. Un pequeño filtro antes de la bomba evita que las partículas o los contaminantes entren en la bomba y a la boquilla de pulverización.

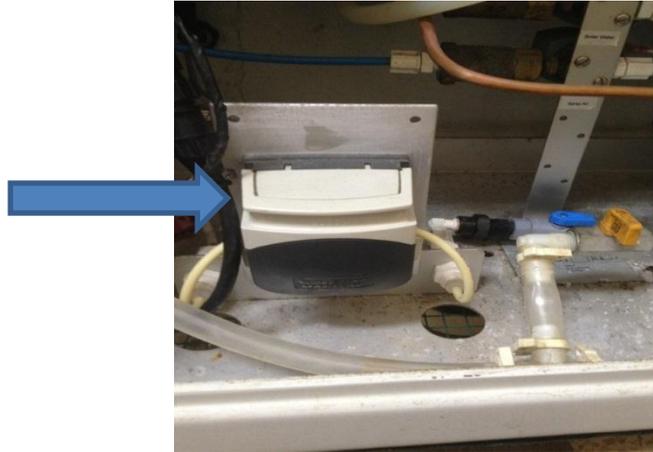


Figura 2-12: Bomba

2.3.1.7 Difusor

Hojas de fibra de vidrio perforadas se sitúan por encima de los calentadores de la cámara. Ellos ayudan a difundir el aire de purga que entra en la cámara durante las etapas secas, no tienen la intención de mantener las muestras de ensayo a utilizar.



Figura 2-13: Difusor

2.3.1.8 Boquilla de rocío

La solución salina entra en el lado derecho de la boquilla y el aire comprimido entra en el lado izquierdo. A medida que se mezclan, el aire comprimido atomiza la solución de sal en una fina niebla.



Figura 2-14: Boquilla de rocío

2.3.1.9 Bloqueo para la tapa

La tapa posee un dispositivo que si se la abre, la bomba, ventilador y calentadores se detendrán, a pesar de ello no se aconseja abrir la tapa ya que la cámara está generando demasiada niebla y la misma se escaparía, por lo tanto, antes de abrir la tapa en cualquier etapa del proceso, se debe parar el mismo y se debe esperar alrededor de 5 minutos para que la niebla salina baje antes de abrir la tapa.



Figura 2-15: Bloqueo para la tapa

2.3.1.10 Sensor de temperatura.

El sensor de temperatura de la cámara está montada en el lado derecho de la cámara para proteger la cámara del calor excesivo, y además posee un indicador luminoso que indicará cualquier anomalía de la temperatura.

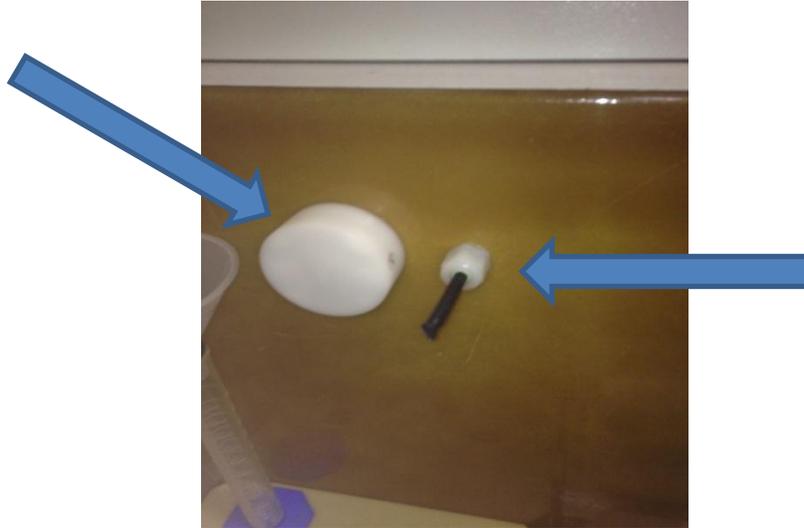


Figura 2-16: Sensor de temperatura.

2.3.2 Funcionamiento de la cámara de niebla salina “Q-FOG” [36]

Para explicar el funcionamiento de la cámara se explicará en 3 fases como se detalla a continuación:

2.3.2.1 Fase de niebla

Durante la función de Niebla, el probador de la corrosión por lo general funciona como una niebla salina convencional.

- La solución salina (corrosiva) del depósito interno se bombea a la boquilla.
- El aire comprimido se humidifica pasando a través de la torre de la burbuja de paso a la boquilla.
- La boquilla de aire atomiza la solución en una niebla salina (corrosiva).
- Los calentadores de la cámara mantienen la temperatura de la cámara programada.

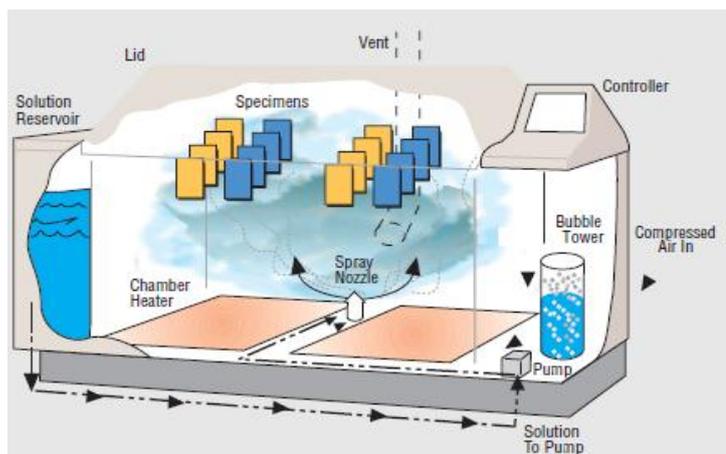


Figura 2-17: Fase de niebla

2.3.2.2 Fase de secado

Durante la función de secado, se ingresa aire caliente a la cámara mientras se purga la niebla, esto crea una condición de baja humedad dentro de la cámara. La temperatura de la cámara se controla por los calentadores de cámara y el calentador de aire.

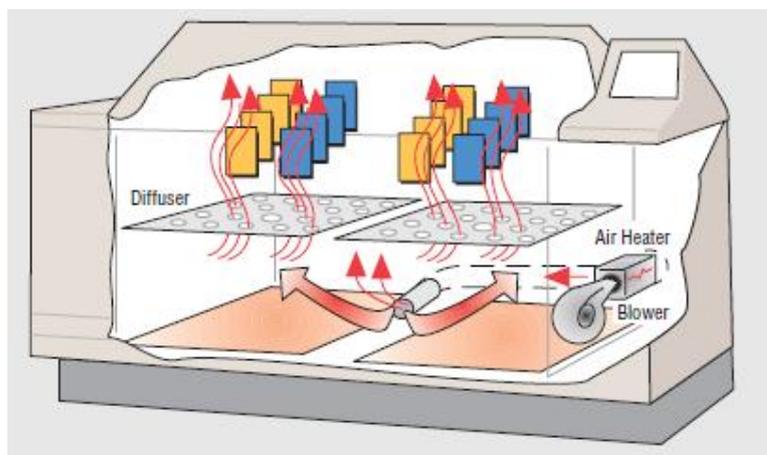


Figura 2-18: Fase de secado

2.3.2.3 Fase de humedad

Durante la función de Humedad, la cámara se mantiene a una humedad relativa del 100% al forzar el vapor de agua caliente en la cámara. El calentador del generador de vapor mantiene la temperatura de la cámara programada ($35 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$).

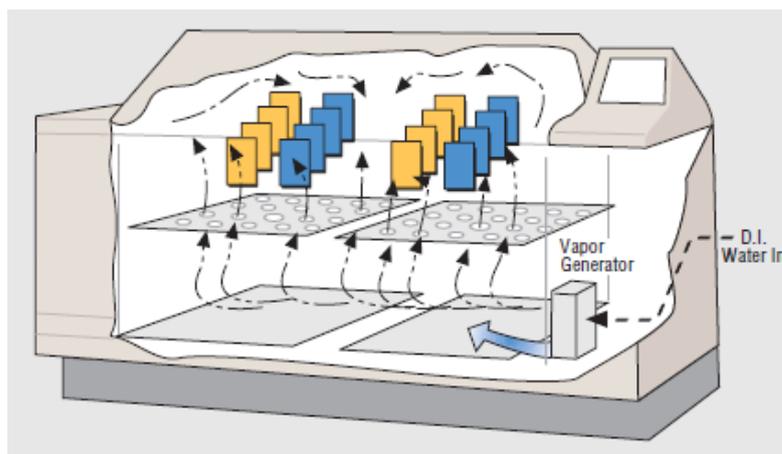


Figura 2-19: Fase de humedad

2.4 Normas para ensayos utilizando cámara de niebla salina

2.4.1 Introducción

Los ensayos de corrosión por niebla salina se rigen por una extensa variedad de normas internacionales, entre las que cabe destacar las siguientes ASTM B-117, ISO 9227, GM 4465, en el presente estudio se analizará específicamente la norma ASTM B-117; la mayoría de empresas que utilizan estos tipos son en el área automotriz teniendo sus propias normas en lo referente a la pintura y brillo que utilizan para sus vehículos.

Si se quiere determinar el grado de resistencia de los metales, tomando en cuenta el clima, sus variaciones y la humedad existente en la costa del Ecuador, se debe utilizar criterios de ensayo unificados internacionalmente para certificar ante terceros, en forma documentada, la calidad de los productos, no únicamente para evaluar los resultados de laboratorio, sino para cumplir con las normativas establecidas por organismos certificadores de cada país.

2.4.2 Norma ASTM-B117-11

La norma ASTM B117 describe entre los aspectos más importantes el equipo a utilizar, condiciones necesarias para crear un entorno de prueba mediante una niebla de rocío salino, así como también los procedimientos adecuados para este ensayo.

Importancia y uso

Este procedimiento proporciona un ambiente corrosivo controlado, de manera que se pueda tener información referente de la resistencia a la corrosión en metales puros y con recubrimiento.

El equipo

El equipo para la exposición de ambiente salino en la cámara debe consistir en un depósito con una solución de sal, un suministro de aire comprimido acondicionado, boquillas de pulverización, soportes para las muestras, dispositivo para el calentamiento de la cámara y los medios de control necesarios. El tamaño y la construcción detallada del aparato son opcionales, siempre que las condiciones obtenidas cumplen con los requisitos del presente ensayo.

Las Muestras

Las muestras para ingresar en el equipo deben ser limpiadas adecuadamente, el método de limpieza deberá ser opcional, dependiendo de la naturaleza de la superficie y los contaminantes, se debe tener particular atención en el cuidado de las muestras de manera que no se contamine después de la limpieza, en lo que respecta al recubrimiento de las muestras se deben realizar con las especificaciones aplicables para el material a ser expuesto. La aplicación del recubrimiento debe ser uniforme utilizando cualquier medio para realizarlo.

Posición de las muestras durante la exposición

En lo que respecta a la posición de las muestras, estas deben ser colocadas con una inclinación de 15°-30° con respecto a la vertical, paralelas entre sí y al flujo de la niebla salina a través de la cámara, cada muestra debe estar con una separación tal que no impida el paso de la niebla salina, y por último se debe considerar que el único contacto sea con la niebla salina no por algún tipo de goteo de otras muestras.

Condiciones en la cámara de niebla salina

En lo que respecta a la solución salina, dicha solución deberá estar compuesta por 5% de masa de cloruro de sodio y un 95% de agua, de particular importancia es la composición del cloruro de sodio, ya que este debe contener como máximo 0,3% de impurezas, 0,1% halogenuros (bromuro, fluoruro y yoduro); el contenido de cobre debe ser de 0,3 ppm. El PH de la solución debe estar en el intervalo de 6,5 a 7,2.

En la Tabla 2-5, se indica los rangos de factores a utilizar en la configuración del ensayo de niebla salina, teniendo en cuenta: temperatura, densidad y concentración de sal.

Tabla 2-5: Datos de temperatura vs densidad

Temperatura		Densidad (g/m ³)		
°C	°F	4% de concentración de sal	5% de concentración de sal	6% de concentración de sal
20	-68	1.025758	1.03236	1.038867
21	-69.8	1.02548	1.032067	1.03856
22	-71.6	1.025193	1.031766	1.038245
23	-73.4	1.024899	1.031458	1.037924
24	-75.2	1.024596	1.031142	1.037596
25	-77	1.024286	1.030819	1.037261
26	-78.8	1.023969	1.030489	1.036919
27	-80.6	1.023643	1.030152	1.03657
28	-82.4	1.023311	1.029808	1.036215
29	-84.2	1.022971	1.029457	1.035853
30	-86	1.022624	1.029099	1.035485
31	-87.8	1.02227	1.028735	1.03511
32	-89.6	1.02191	1.028364	1.034729
33	-91.4	1.021542	1.027986	1.034343
34	-93.2	1.021168	1.027602	1.03395
35	-95	1.020787	1.027212	1.033551
36	-96.8	1.020399	1.026816	1.033146
37	-98.6	1.020006	1.026413	1.032735
38	-100.4	1.019605	1.026005	1.032319
39	-102.2	1.019199	1.02559	1.031897
40	-104	1.018786	1.02517	1.031469

2.5 Pinturas anticorrosivas a utilizar en el procedimiento

2.5.1 Introducción.

El grave problema existente en la actualidad, es el mantenimiento de equipos y herramientas, tratando de minimizar costos por desgaste de piezas, teniendo en

consideración la humedad y salinidad de la región costa, para lo cual es necesario tomar conciencia del problema y tratar de recuperar las piezas que representan menor inversión, teniendo en cuenta que generalmente implica la aplicación de un recubrimiento metálico por soldadura y un maquinado para su acabado. Lo importante es tener conocimiento del material adecuado para su restauración y su aplicación correcta.

Las pinturas anticorrosivas se han tornado insustituibles porque protegen y alargan la vida del producto, sobretodo en la región costa, conservando en buen estado los recursos naturales: madera o minerales metálicos además de recursos energéticos y económicos. Además, dan mayor facilidad para la limpieza y descontaminación de superficies, las protegen de las inclemencias meteorológicas y la acción del sol.

2.5.2 Pinturas anticorrosivas para el ensayo.

Las pinturas anticorrosivas constituyen desde un punto de vista técnico-económico la mejor alternativa para controlar el fenómeno corrosivo en hierros y aceros. La selección de un esquema de pintado debe contemplar el empleo de materiales de bajo costo con repintado frecuente o bien la especificación de productos más costosos con una mayor vida útil en servicio.

La evaluación de costos debe considerar las dimensiones de la estructura, las condiciones operativas, la preparación de la superficie, las pinturas, la mano de obra, el recambio de áreas corroídas, intervalos de repintado, seguros e impuestos.

Antes de conocer los principales fabricantes de pinturas en el Ecuador se muestra en la Figura 2-20 los componentes para la fabricación de una pintura.

La materia más importante, y que caracteriza a la película es la resina ya que es el elemento responsable de la formación de la película y que, al secar la película “liga” todos los componentes formando una unidad.

El uso de disolvente es imprescindible para la fabricación de la pintura, ya que la mayoría de las resinas son productos sólidos o de alta viscosidad, y es preciso disolverlos a fin de poderlos manejar.

El pigmento se incorpora a la pintura para darle cuerpo, color y en determinados casos da propiedades antioxidantes. [37]

Los aditivos son utilizados para mejorar alguna de sus propiedades.

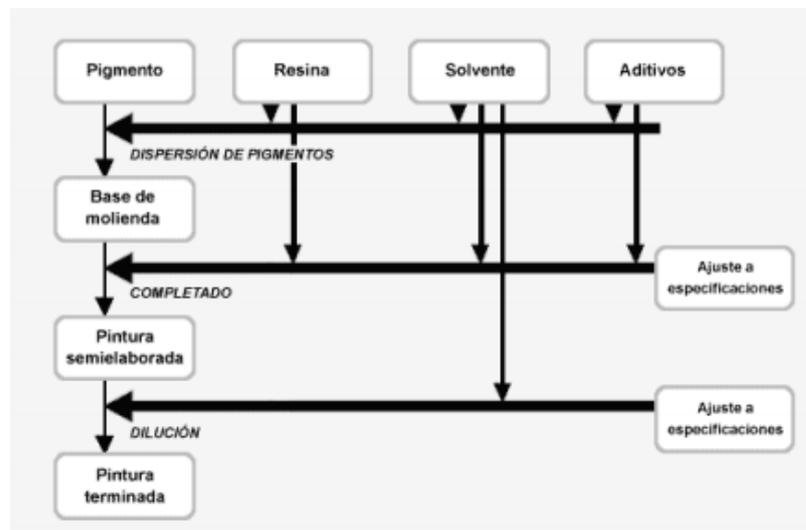


Figura 2-20: Fabricación de una pintura. Tomado de: [37]

A continuación podemos ver los principales distribuidores de pinturas en el Ecuador como se muestra en la Figura 2-21.

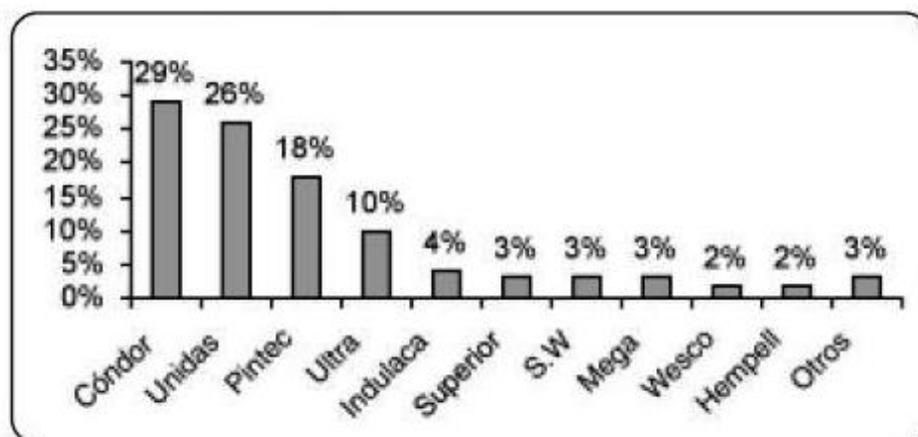


Figura 2-21: Principales vendedores en el mercado nacional en el año 2002. Tomado de: [38]

Como se puede observar vemos que Cónдор es el principal vendedor de Pinturas en el mercado de todo el Ecuador con 29%, seguido por Pinturas Unidas con 26%. Cabe acotar que son fabricantes fundados con capital 100% ecuatorianos.

Pintuco decidió entrar a Ecuador porque había una porción del mercado insatisfecho ya que las empresas nacionales en ese momento no tenían la capacidad de producir los galones que el mercado necesitaba. Es por esto que en 1999, el GIM (Grupo Inversiones Mundiales) adquirió la firma Pinturas Ecuatorianas S.A. - Pintec- , con sede en la ciudad de Guayaquil.

Además, cada marca de pintura, ofrece al público en general, una extensa gama de productos, con las características que cada cliente desea y para diversidad de usos, otorgando las garantías de calidad y seguridad. Para nuestro ensayo de los recubrimientos anticorrosivos vamos a tomar fabricantes de pinturas Ecuatorianas para comparar su comportamiento contra las principales pinturas importadas. Así, se cita las siguientes:

Tabla 2-6: Marcas de pintura Ecuatoriana vs Importadas.

Marcas Ecuatorianas	Marcas Importadas
Cónдор	Pintuco
Unidas	Sherwin Williams
Wesco	Hempel

2.5.3 Localización de distribuidoras de pintura en la provincia del Guayas

Se puede acotar a la información, nombres de las empresas distribuidoras de pintura en el Ecuador, que contribuyen con técnicas especiales de pintura anticorrosiva:

Tabla 2-7: Distribuidoras de pinturas en la provincia del Guayas. Tomado de: CFN²

Nombre del establecimiento	Localización
Auto pinturas escandón Cia. Ltda.	Guayas
Beltrocorp S.A.	Guayas
Constructoquímica Cia. Ltda.	Guayas

² Corporación Financiera Nacional

Cubrimientos romero-neira C.A.	Guayas
Dimka S.A.	Guayas
Disartyel S.A.	Guayas
Ecuabarnices S.A.	Guayas
Ecuapinturas Cia. Ltda.	Guayas
Faproi Cia. Ltda.	Guayas
Fanapisa S.A.	Guayas
Glandap S.A.	Guayas
Hempel (ecuador) S.A.	Guayas
Importadora comercial neira-espinoza	Guayas
Industria marazul S.A.	Guayas
Ivonpil S.A.	Guayas
Maquil jon S.A.	Guayas
Pinturas andinas Cia. Ltda.	Guayas
Pintec S.A.	Guayas
Pinturs imdicom S.A.	Guayas
Pinturas unidas S.A.	Guayas
Hegamar Cia. Ltda.	Guayas
Representaciones y pinturas neira S.A.	Guayas
Neira solven Cia. Ltda.	Guayas
Ultra quimica Cia. Ltda.	Guayas
Urdepinturas S.A.	Guayas

Las empresas del sector se caracterizan por tener varias líneas de productos; es importante resaltar que tanto las empresas nacionales como las extranjeras manejan una línea automotriz, pero las nacionales participan también en las líneas de decoración, industrial y arquitectónica, siendo su fuerte este último como se mencionó anteriormente.

EMPRESA / SECTOR	Decorativa	Industrial	Automotriz	Diluyentes y resinas	Madera	Marina	Arquitectónica
Pinturas Cónдор	*	*	*				
Pinturas Unidas			*		*	*	*
Pinturas Wesco	*	*	*	*			
Pintec						*	*
Renner Dupont			*				
Basf			*				
Eliden							*
PPG			*				

Figura 2-22: Tabla intrasectorial de las principales empresas (2002) Tomado de: [39]

Para realizar un análisis de competencia es importante conocer a qué precio están comercializando sus productos las principales empresas fabricantes del sector y luego hacer una comparación entre ellas.

Tabla 2-8: Precios de pinturas anticorrosivas en el mercado en dólares americanos.

Marca/ Presentación	¼ GALON	1 GALON
CONDOR	5,19	19,61
UNIDAS	4,12	15,56
WESCO	4,19	15,04
PINTUCO	4,49	16,50
SHERWIN WILLIAMS	4,50	17,00
HEMPEL	8,52	34,96

Para mejor ilustración utilizaremos por separado cada una de las presentaciones.

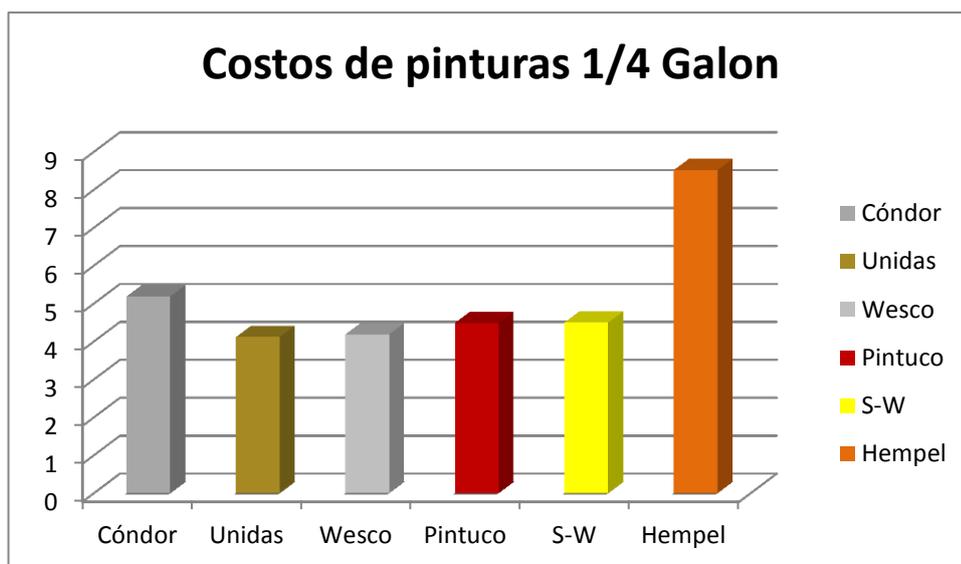


Figura 2-23: Costo de pinturas ¼ de Galón (en dólares americanos).

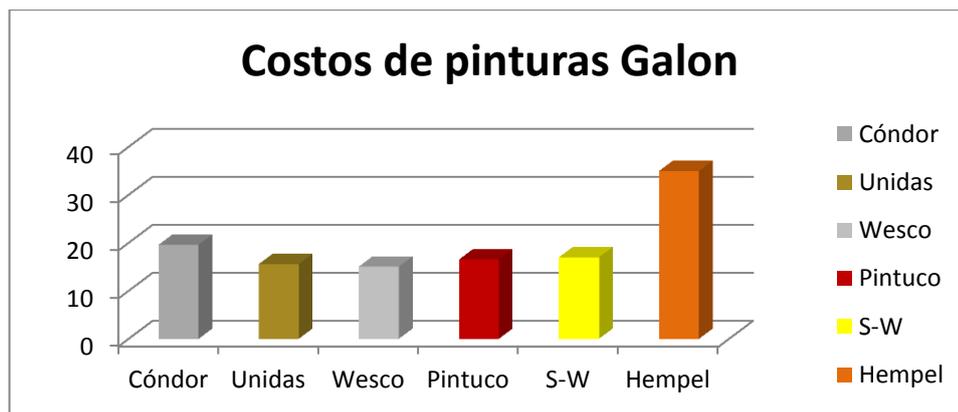


Figura 2-24: Costo de pinturas de Galón (en dólares americanos).

2.5.4 Aplicación de los recubrimientos con pinturas. [40]

Si se considera que la aplicación de la pintura es de importancia para evitar la corrosión al ser mal aplicado, tendrá también un mal desempeño.

Las siguientes condiciones pueden afectar la aplicación de un recubrimiento:

Temperatura: La temperatura ideal para aplicar un recubrimiento oscila entre 15 y 32 grados centígrados. Por lo general, estos no pueden aplicarse en temperaturas menores a 4 grados centígrados o mayor a 43 grados centígrados ya que puede ocasionar un secado acelerado de la película y como consecuencia no habrá uniformidad y contrariamente, existirá mala adherencia. En una temperatura menor a 10 grados C. es posible que el tiempo de secado sea mayor, igualmente el curado de la película podría alcanzar puntos inaceptables.

Humedad: A diferencia de las pinturas de base acuosa, la mayor parte de pinturas se deterioran fácilmente al contacto con agua o superficies húmedas. Normalmente, debe evitarse pintar en ambientes húmedos de más del 85%. Igualmente, una excesiva humedad impedirá que la pintura tenga un secado regular.

Viento: En las aplicaciones por aspersion, sobre todo, existe mayor dificultad cuando la velocidad del viento aumenta, además, se desperdicia una gran cantidad de pintura cuando este fenómeno sucede, la superficie pintada no alcanza la apariencia deseada y las partículas de pintura en el aire pueden contaminar áreas adyacentes.

Precipitación: Jamás se debe aplicar un recubrimiento en caso de precipitaciones. Causan mala adherencia y además, puede:

- Erosionar la pintura fresca
- Depositar contaminantes químicos
- Causar manchas en la pintura
- Alterar las propiedades de la película

Instrucciones de aplicación: Antes de efectuar la aplicación, es necesario leer los instructivos de aplicación y su información técnica. Se debe considerar la dificultad de aplicación en esquinas y bordes. Por lo tanto, es necesario tomar todas las precauciones y enfatizar sobre estos lugares para evitar problemas. Se sugiere verificar los aspersores de cada capa de pintura que se aplica para asegurar el sistema protector (pintura).

La tabla comparativa de rendimiento que se demuestra a continuación, deja ver claramente que la experiencia y en óptimas condiciones, cuál sería el resultado de acuerdo a cada técnica, con el fin de que cada persona elija el sistema que más se adapte a sus necesidades.

Tabla 2-9: Método de pintado y rendimiento.

METODO	RENDIMIENTO DIARIO (Metros cuadrados)
Brocha	90
Rodillo	185 – 370
Aspersión con aire	370 – 740

2.5.4.1 Pintado con Brochas y rodillos

Estos son los dos métodos de aplicación más conocidos y tienen una alta eficiencia de transferencia, que se acerca al 100%. Los métodos de brochas y rodillos manuales son convenientes para bajos volúmenes de producción.

a) Brocha.

Por ser el método más antiguo y lento, es también el más costoso, a pesar de haber sido considerado el ideal sobre todo para una primera mano de pintura, considerado

que el pintor puede acceder a cualquier rincón que encuentre en la superficie, pero sin embargo, por la irregularidad en su aplicación, ya dejó de ser el más cotizado.

b) Rodillo.

Este resulta un sistema bastante adecuado y rápido para recubrir grandes superficies, de preferencia planas en donde resultaría difícil la aplicación y no es factible utilizar métodos más eficientes como la aspersión. El tipo y longitud del mango del rodillo dificultan el acceso a determinadas áreas, por lo tanto se utiliza para superficies planas.

2.5.4.2 Pintado por aspersión

Es el método más utilizado por su versatilidad en la aplicación de un gran número de recubrimientos. Entre las principales consideraciones al efectuar aplicaciones por este método, se encuentra la distancia entre la pistola y la superficie, la cual debe oscilar entre 15 y 20 centímetros. La pintura debe ser aplicada a la mínima presión capaz de atomizarla de una manera uniforme. La pistola debe mantenerse siempre perpendicular a la superficie por pintar.

La pérdida de material por aspersión con aire es de 25 a 35%. La aspersión se usa ampliamente en la industria automotriz para aplicar recubrimiento de pintura externa a las carrocerías.

2.5.5 Parámetros ambientales en la zona costa

Las condiciones climatológicas típicas que se encuentran en las zonas del litoral marítimo son las siguientes:

- Alta humedad y condensación nocturna con descenso de temperatura.
- Elevación de temperatura y descenso de la humedad a partir de la salida del sol.
- Exposición de niebla salina procedente de la dispersión por el oleaje y el viento.

Dado que los materiales que prestan sus funciones en dichas zonas, se verán necesariamente expuestos a tales cambios climatológicos de forma sistemática, es por lo que se hace obligado realizar ensayos de laboratorio.

Temperatura y humedad: Las condiciones climáticas de esta región, son del tipo tropical, con temperaturas superiores a 20°C, abundantes precipitaciones pluviométricas en los meses de invierno y vegetación exuberante.

Clima Tropical Húmedo.- Este tipo de clima se caracteriza por tener temperatura media anual superior a los 25° C, humedad relativa superior al 85% y nubosidad considerable. Tiene inviernos lluviosos y veranos poco lluviosos. Las lluvias se presentan durante todo el año, la naturaleza del paisaje es selvático, este tipo de clima lo encontramos en la región noroeste de la costa de Esmeraldas.

Clima Tropical Monzón.- Se caracteriza por tener temperatura media anual poco inferior a los 25° C con temperatura máxima de 38° C y mínima de 13° C, tiene una humedad relativa superior al 80%; esta región tiene un invierno lluvioso y verano relativamente seco, se localiza en las regiones que comienza la faja costera al noroeste hasta Bahía de Caráquez (Provincia de Manabí) y luego se alarga hacia el sur cerca del límite con Perú, en donde se estrecha acercándose al mar.

Clima Tropical de Sabana.- Se distingue por los veranos secos, los meses lluviosos son de enero a mayo, con precipitaciones inferiores a 1000 mm. las máximas temperaturas absolutas fluctúan entre los 32°C. y los 36°C. y las mínimas de 13° C a 18°C. La humedad relativa varía entre los 70% y 80%, este clima se localiza sobre todo en las provincias de Manabí, Guayas, El Oro y Loja. [41]

Salinidad: Las características de temperatura y salinidad especialmente, son los proporcionados por la estación de monitoreo. Las mediciones hidrográficas entre enero y mediados de marzo, se revela una capa superficial bien mezclada, en los que se determinan los perfiles verticales de la temperatura, la salinidad y densidad, que se mantienen casi uniformes.

Tabla 2-10: Tabla salinidad en el ambiente sobre el nivel del mar. Tomado de: [42]

<i>Profundidad en metros</i>	<i>Temperatura 0° C</i>	<i>Salinidad</i>
0	26.44	37.45
50	18.21	36.02
100	13.44	35.34
500	9.46	35.11
1 000	6.17	34.90
1 500	5.25	34.05

De la tabla anterior menciona se observa una mayor salinidad en las zonas tropicales que en las de latitud elevada.

2.6 Metodología

Una vez analizados todos los factores que tienen que ver con el ensayo de corrosión por niebla salina se describe la metodología a seguir para la realización del ensayo del presente estudio. Como se mencionó anteriormente las pinturas anticorrosivas que mayor acogida tienen en la región costa, y las que se definieron para el presente ensayo son:

- CONDOR
- UNIDAS
- WESCO
- PINTUCO
- SHERWIN WILLIAMS
- HEMPEL

De la misma manera para el ensayo se van a utilizar dos tipos de pintado para cada una de las marcas de pintura: pintado con brocha y pintado por aspersion, las muestras de análisis son un total de 12 teniendo en cuenta que se disponen de 6 tipos de pinturas.

La norma a utilizar para la generación de la niebla salina es la que se analizó en el presente capítulo la norma ASTM B117.

Los ensayos se van a realizar en el Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, con una exposición de niebla salina de 150 horas.

Además se realizará una medición del espesor antes y después del ensayo considerando los aspectos principalmente que se indican a continuación:

- Las mediciones se realizarán con un promedio de tres mediciones en 3 puntos seleccionados al azar.
- Las mediciones se realizarán con un Medidor de espesores digital, de marca: Mitutoyo, y modelo Absolut.

2.7 Conclusiones

Los distintos métodos para emular los parámetros salinos que afectan a las estructuras de acero en la región costa son variados, teniendo en cuenta que cada uno de estos métodos afectan de una manera distinta al acero, mientras que el más idóneo para emular estas condiciones de salinidad, temperatura y humedad es el equipo Q-FOG, de Q-LAB de procedencia europea, la misma que provoca una niebla salina que ataca a las probetas y se consiguen resultados idóneos para comparar con el ambiente de la región costa.

El análisis de las pinturas anticorrosivas nos proporciona una clara idea de la realidad de las mismas en la región costa, en este capítulo se pudo analizar una comparación de precios de las marcas nacionales y extranjeras en los medios locales de venta, teniendo en cuenta que por la economía que se maneja en la región costa las más económicas son las que más se comercializan, y además podemos concluir que el tipo de aplicación del anticorrosivo es fundamental para su utilización en esta zona.

La presencia de corrosión en diferentes metales ha sido comparada usando este ensayo por mucho tiempo, sería difícil para los investigadores de hoy, no tener en cuenta los resultados del ensayo de niebla salina, al presentar información sobre un producto a un cliente sobre cómo se deteriora el metal durante algún tiempo y que anticorrosivo puede ser el más idóneo para utilizarlo en su producto. Así es como el ensayo y sus datos son comúnmente aceptados por la persona que va a realizar dicho producto.

2.8 Referencias

[28] A. Rivadeneira, *Protección anticorrosiva del acero mediante el uso de pinturas alquídicas con pigmentos de óxido de hierro en atmósferas urbana y subtropical*, Quito, 2008.

[29] P. M. Giudice C., *Control de calidad de películas de pinturas*, Buenos Aires.

[30] «Q-LAB,» [En línea]. Available: <http://www.q-lab.com/es-es/products/quv-weathering-tester/quv>. [Último acceso: 21 01 2014].

[31] D. L., *Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión.*, 2012.

[32] CAMARAS CLIMATICAS, «CCI,» [En línea]. Available: <http://cci-calidad.blogspot.com/2008/12/clases-de-ensayos-de-corrosion-por.html> [Último acceso: 24 01 2014].

[33] «NEURTEK,» [En línea]. Available: <http://www.neurtek.com/catalogo/envejecimiento-y-corrosion/corrosion/camaras-de-corrosion> [Último acceso: 24 01 2014].

[34] «CHEMISA,» [En línea]. Available: http://www.chemisa.com.ar/equipos/niebla_salina/modelos.htm [Último acceso: 24 01 2014].

[35] «Q-LAB,» [En línea]. Available: <http://www.q-lab.com/es-es/products/q-fog-cyclic-corrosion-chamber/q-fog-ssp-cct> [Último acceso: 24 01 2014].

[36] «Q-LAB,» [En línea]. Available: <http://www.q-lab.com/documents/public/6ed712e7-2980-4634-a529-38f0def75a7a.pdf>. [Último acceso: 8 12 2013].

[37] «Euroquímica» [En línea]. Available: http://www.euroquimica.com/Fichas/InfoInteres/i_s_composicion_pinturas.pdf [Último acceso: 15 12 2013].

[38] B. J. Ramirez G., «*Pintuco se internacionaliza en el mercado Andino,*» n° 93, pp. 115 - 140, 2003.

[39] «Proexport Colombia,» [En línea]. Available: <http://antiguo.proexport.com.co/vbecontent/library/documents/DocNewsNo8713DocumentNo7177.PDF> [Último acceso: 10 12 2013].

[40] «Dupont,» [En línea]. Available: <http://www.psm-dupont.com.mx/paginas/aplicacion.htm> [Último acceso: 1 12 2013].

[41] «Efemerides,» [En línea]. Available:

<http://www.efemerides.ec/1/mayo/ecuador.htm> [Último acceso: 1 12 2013].

[42] « Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa,» [En línea].

Available:

http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_17.html [Último acceso: 10 12 2013].

3. Realización de las pruebas

3.1 Introducción

En este capítulo se explica básicamente los pasos a seguir para emplear de manera segura y adecuada la cámara de niebla salina, además de los pasos de una correcta preparación de las superficies con recubrimiento anticorrosivo.

También se realizará la toma de datos mediante inspecciones visuales del comportamiento y el grado de oxidación en superficies pintadas. Y se harán las pruebas de medición de espesores del recubrimiento y peso de las probetas en el LEMAT³.

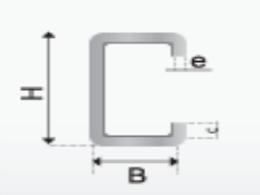
3.2 Dimensión y preparación de la superficie.

3.2.1 Dimensión de la probeta

No existe una norma estándar que regularice las dimensiones y el tamaño de las probetas ya que el tamaño y la forma varían de acuerdo a la finalidad de la prueba y al tamaño de la máquina que se utilice.

Para las pruebas se ha tomado como material base un perfil estructural de acero galvanizado utilizado en las estructuras el cual tiene las siguientes características:

Tabla 3-1: Características de la probeta utilizada como material base.

Marca	IPAC
Longitud Normal	6 metros
Recubrimiento	Galvanizado
Norma de Fabricación	NTE INEN 1623
Calidad de Acero	ASTM A 36 ASTM A 572 Gr. 50
Dimensiones:	
	H=60 mm B= 30 mm e= 2 mm c=10 mm

³ Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales, Escuela Superior Politécnica del Litoral

En la figura 3-1, se muestra el material base para las pruebas.



Figura 3-1: Material base de las muestras a utilizar en las pruebas

Para no afectar las propiedades químicas de las probetas, se ha utilizado el mismo material, para lo cual se ha dividido en probetas de 100 mm de longitud para ser preparadas antes del pintado para luego ser corroídas en la cámara de niebla salina.

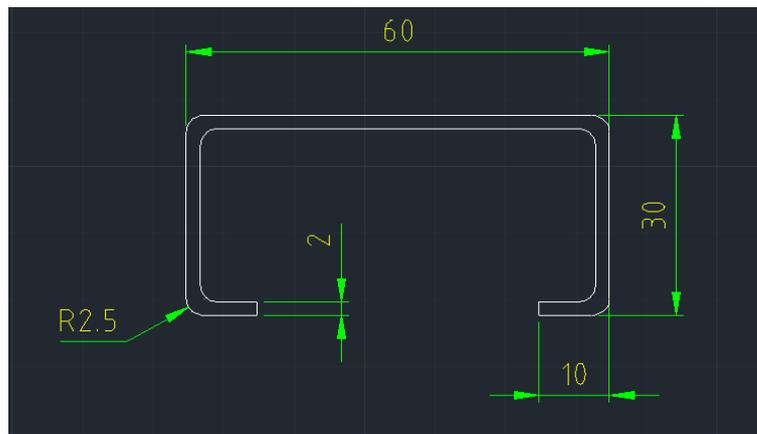


Figura 3-2: Vista frontal de la probeta en mm.

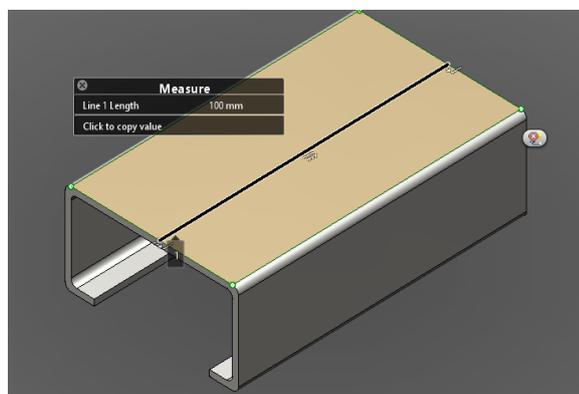


Figura 3-3: Longitud de la probeta en mm

3.2.2 Preparación de la superficie.

Antes de aplicar los recubrimientos las superficies primero se debe remover el óxido, polvo o grasa, escamas, aceite y toda contaminación posible, y debe estar bien seca.

Cuando se va a realizar pruebas de corrosión para predecir el comportamiento de un metal o pintura en un determinado ambiente, la superficie deberá ser semejante a los usados en la aplicación que se va dar uso. Es importante cuando se va realizar un ensayo de niebla salina que las probetas no presenten raspaduras ya que en estos sitios es donde más ataca la corrosión. Asimismo se deberá homogenizar la superficie de las muestras antes del pintado con una lija.



Figura 3-4: Lijado de una probeta a ser utilizada.

3.3 Preparación de los anticorrosivos y pintado.

En el capítulo 2 se habló sobre los anticorrosivos a utilizarse los cuales se van a designar de la siguiente manera para el estudio como se indica la siguiente tabla.

Tabla 3-2: Denominación de las probetas para ser pintadas y su color

ANTICORROSIVO	COLOR	PINTADO CON BROCHA	PINTADO POR ASPERSIÓN
Cóndor	GRIS	A1	A2
Unidas	MOSTAZA	B1	B2
Wesko	PLOMO	C1	C2
Pintuco	ROJO	D1	D2
Sherwin Williams	AMARILLO	E1	E2
Hempel	MARRON	F1	F2

3.3.1 Preparación de los anticorrosivos.

Cumple con un papel fundamental la preparación de la pintura antes de ser usada para lograr resultados idóneos. Para el ensayo se utilizara vasos de precipitado para medir la cantidad correcta de la pintura y el diluyente como se indica en la figura.



Figura 3-5: Vasos de precipitación la preparación del anticorrosivo.

Un vaso de 600 ml será utilizado para medir la cantidad de pintura, mientras que el otro de 250 ml para el diluyente con la que se va mezclar.

La correcta cantidad de cada componente para realizar la mezcla de la pintura por lo general se encuentra indicada por el fabricante de cada marca, y al tener en cuenta este punto depende la calidad de la pintura. Este tema será dividido en dos, es decir, los anticorrosivos que van a ser pintados con brocha y otros por aspersión respectivamente.

3.3.1.1 Preparación de anticorrosivos para ser pintados con brocha.

En la siguiente tabla se puede observar la mezcla de pintura y diluyente recomendado según el fabricante de cada uno de los recubrimientos para que sea aplicado con brocha.

Tabla 3-3: Mezcla de pintura con diluyente para pintado con brocha

PRODUCTO	MEZCLA DE DILUYENTE	FIGURA
<p>A1</p> 	<p>10 % de la cantidad de pintura</p>	
<p>B1</p> 	<p>15 % de la cantidad de pintura</p>	
<p>C1</p> 	<p>10 % de la cantidad de pintura</p>	
<p>D1</p> 	<p>10 % de la cantidad de pintura</p>	
<p>E1</p> 	<p>15 % de la cantidad de pintura</p>	

<p style="text-align: center;">F1</p> 	<p style="text-align: center;">10 % de la cantidad de pintura</p>	
---	---	--

Como se puede observar en la tabla A1, C1, D1, F1 según las recomendaciones son de mezcla con diluyente para pintado con brocha es del 10% de la cantidad de pintura es decir en 500ml de pintura se le agrega 50ml de diluyente; mientras B1 y E1 utilizan el 15% lo que es igual a 75ml.

3.3.1.2 Preparación de anticorrosivos para ser pintados por aspersión.

En la siguiente tabla se puede observar la mezcla de pintura y diluyente recomendado según el fabricante de cada uno de los recubrimientos para que sea aplicado por aspersión.

Tabla 3-4: Mezcla de pintura con diluyente para pintado por aspersión

PRODUCTO	MEZCLA DE DILUYENTE	FIGURA
<p style="text-align: center;">A2</p> 	<p style="text-align: center;">25 % de la cantidad de pintura</p>	
<p style="text-align: center;">B2</p> 	<p style="text-align: center;">20 % de la cantidad de pintura</p>	

<p>C2</p> 	<p>15 % de la cantidad de pintura</p>	
<p>D2</p> 	<p>25 % de la cantidad de pintura</p>	
<p>E2</p> 	<p>20 % de la cantidad de pintura</p>	
<p>F2</p> 	<p>10 % de la cantidad de pintura</p>	

Como se puede observar en la tabla anterior los valores de dilución para pintar por aspersion son diferentes a los que se preparan para brocha debido que se necesita una mayor fluidez para la punta pulverizadora ya que este se taponaría. A continuación se presenta la dilución con los valores de cantidad de pintura y diluyente.

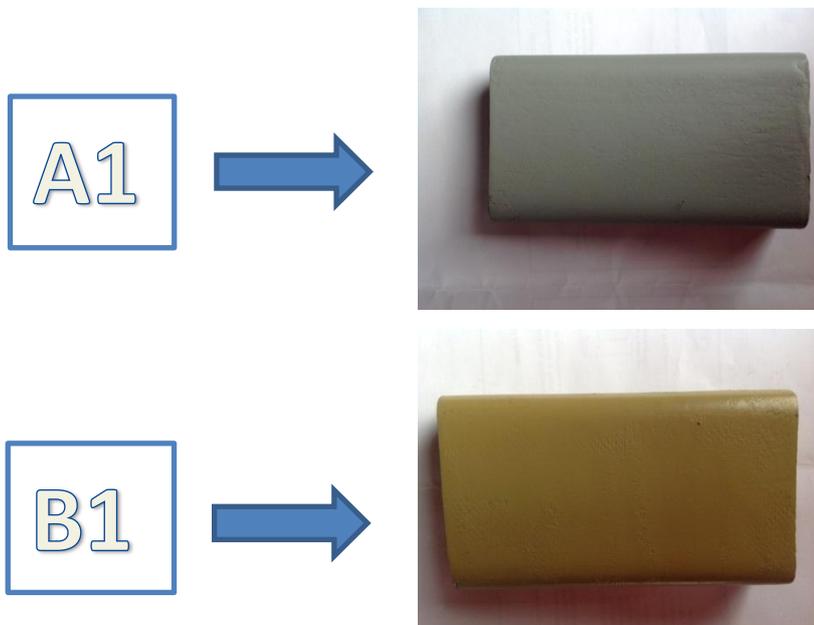
Tabla 3-5: Valores a utilizar en pintado por aspersion

PRODUCTO	% DILUYENTE	CANTIDAD DE PINTURA (ml)	CANTIDAD DE DILUYENTE (ml)
A2	25	500	125
B2	20	500	100
C2	15	500	75
D2	25	500	125
E2	20	500	100
F2	10	500	50

3.3.2 Pintado de las probetas.

El pintado de las probetas se lo realiza mediante una brocha de 1.5 pulgadas, la brocha tiene que estar completamente empapada de pintura para que no queden zonas sin colorear. Otro consejo es evitar un número excesivo de pinceladas, puesto que el disolvente podría llegar a evaporarse, mejor esperar a que se seque para repasar las zonas.

A continuación se presenta cada una de las probetas pintadas a brocha para la exposición en la cámara de niebla salina.



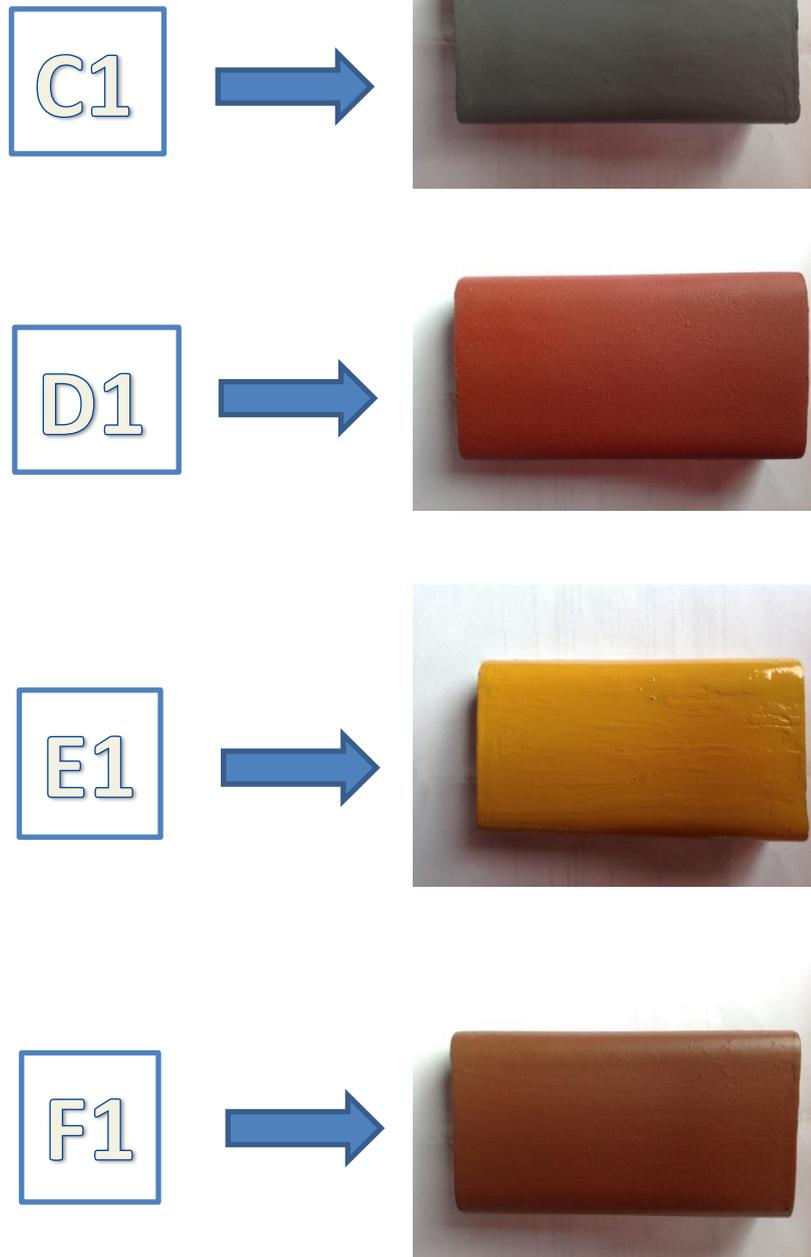
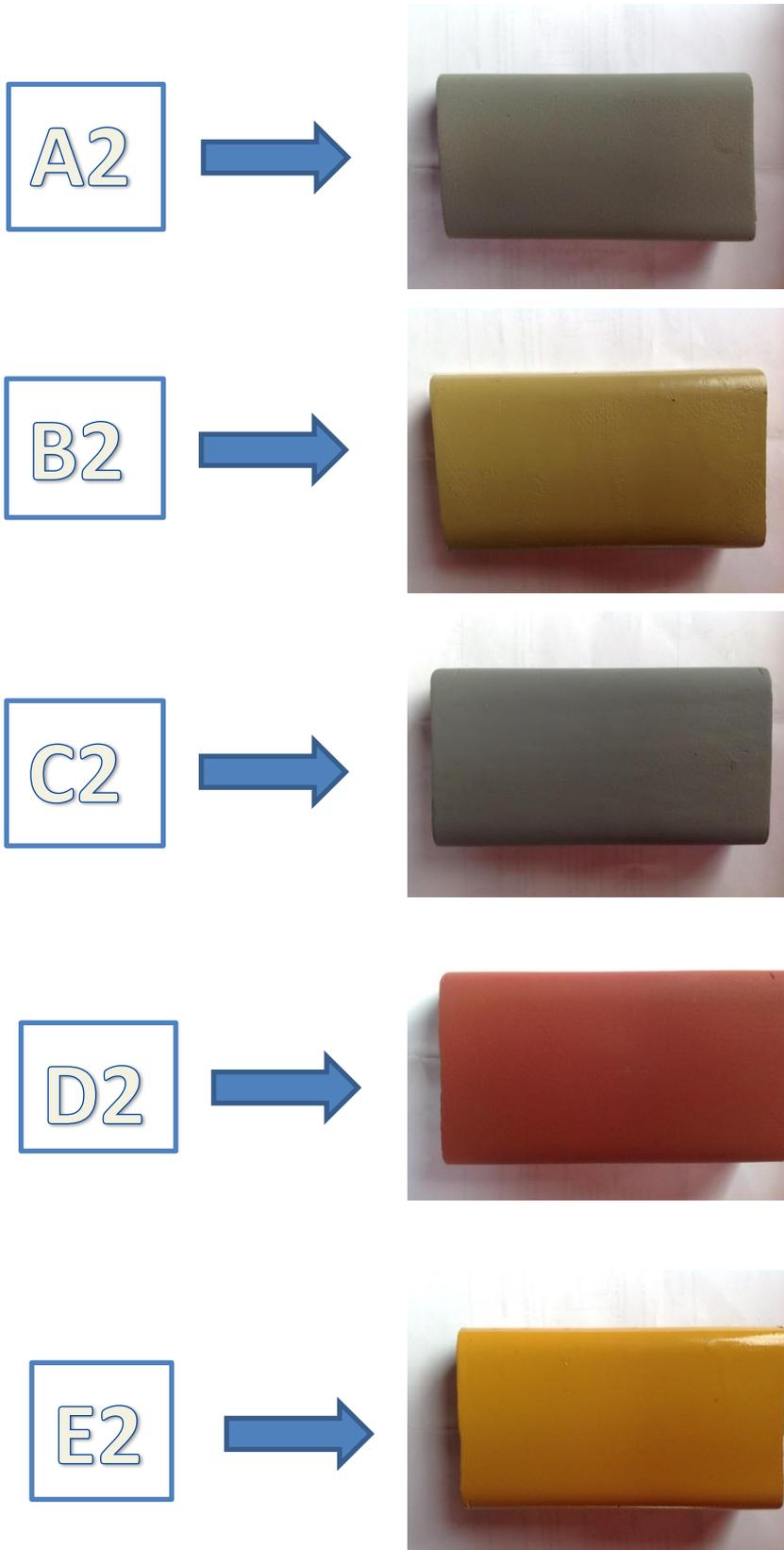


Figura 3-6: Probetas pintadas con brocha

Luego a las probetas se pinta por aspersión primeramente se realiza el trabajo en un lugar bien ventilado de preferencia un día soleado a una presión de 3 bares. Regular la válvula de paso de aire si es necesario, volver a ajustar la presión del aire.

La pistola debe encontrarse a una distancia de entre 15 y 20 cm de la superficie que se desea pintar. Mientras se pinta, mantener relajada la muñeca y desplazarla en línea recta.

A continuación se presenta cada una de las probetas pintadas brocha para la exposición en la cámara de niebla salina.



F2



Figura 3-7: Probetas pintadas por aspersión

3.4 Uso de la cámara de niebla salina Q-FOG.

3.4.1 Datos de la muestra para ingreso a la cámara de niebla salina.

Para el ingreso de la probetas a la cámara de niebla salina primeramente a cada una de las muestras se le coloca cinta adhesiva para evitar que en los bordes se produzca corrosión y afecte a la muestra y se ha utilizado un código implementado por el LEMAT como se indica en la siguiente tabla.

Tabla 3-6: Codificación de las muestras según el LEMAT

Código de muestra	Muestra	Fecha de ensayo	Figura	
13-0451 13-0452	C1 C2	13/01/2014		
13-0453 13-0454	A1 A2	13/01/2014		
13-0455 13-0456	D1 D2	13/01/2014		
13-0457 13-0458	E1 E2	13/01/2014		

13-0459 13-0460	F1 F2	13/01/2014		
13-0461 13-0462	B1 C1	13/01/2014		

3.4.2 Pasos a seguir para el uso de la cámara de niebla salina

- a) Verificar la mezcla solicitada de aire sintético seco que va a utilizar para el funcionamiento de la cámara.

Tabla 3-7: Resultados de aire sintético seco

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE GASES ESPECIALES	
LOTE: 13012803	CILINDRO: 1026952
FECHA: 28-01-2013	
MEZCLA SOLICITADA: AIRE SINTÉTICO SECO	
COMPONENTE	CONCENTRACIÓN
O2	20.0 %
N2	Balance
La mezcla contenida en el cilindro, fue analizada y se encuentra con la siguiente composición:	
COMPONENTE	CONCENTRACIÓN
O2	20.5 %
N2	Balance
Impurezas (ppm)	
H2O	<5
Presión 150 bar	

- b) Preparar la solución salina para la norma ASTM B117 y llenar el tanque para nuestro caso se hizo la mezcla con 8 fundas de 500 gramos de sal las cuales se diluyen en 4 baldes de 20 litros



Figura 3-8: Cloruro de sodio NaCl y tanque de solución salina.

- c) Verificar que los calentadores estén limpios ya que estos permiten calentar la solución salina.

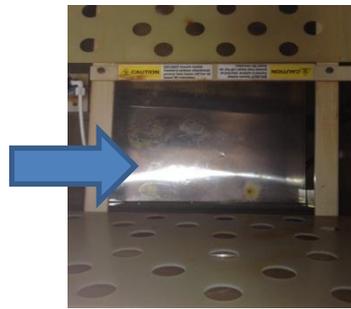


Figura 3-9: Calentadores de la cámara

- d) Colocar las torres de control las mismas que van ubicadas en las esquinas de la cámara, para poder llevar un control de una dispersión homogénea de niebla salina dentro de la cámara.



Figura 3-10: Torres de control de dispersión homogénea de la cámara

- e) Ubicar las muestras a la distancia que están destinadas en los racks que son los paneles donde van las probetas apoyadas a una inclinación de 15 grados y paralelas al flujo de la niebla salina.



Figura 3-11: Disposición de las muestras en la cámara salina

- f) Verificar que el sensor de temperatura se encuentre en correcto funcionamiento y marque la temperatura en el panel de programación.



Figura 3-12: Panel de control

- g) Verificar que la presión este entre los 15 y 20 psi.



Figura 3-13: Barómetro principal de la cámara

- h) Una vez verificados todos los puntos anteriores procedemos a la programación

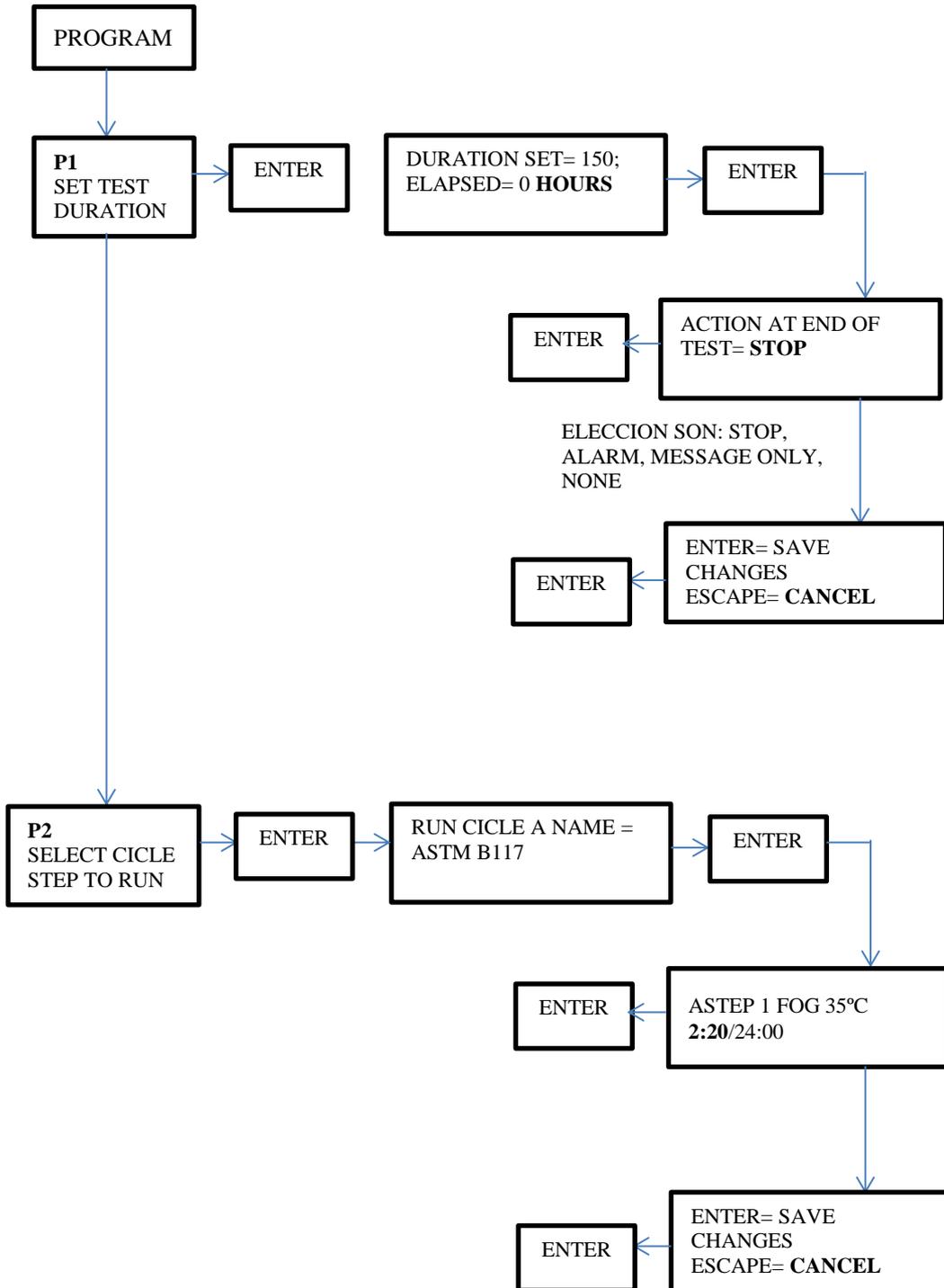


Figura 3-14: Programación interna de la cámara

- i) Finalizar el ensayo, desenergizando todo el equipo cerrando todas las válvulas y desactivando el switch que controla el sistema de temperatura y liberando el aire atrapado en el humidificador



Figura 3-15: Switch principal del equipo

3.5 Toma de datos del ensayo de corrosión.

El ensayo dentro de la cámara de niebla salina fue programado en 150 horas tomado de las recomendaciones de la LEMAT en estudios hechos con anterioridad, por lo cual la toma de datos se establece la periodicidad o intervalo de tiempo al cual se anotarán los efectos ocasionados por la niebla salina en las probetas.

Dentro de los efectos que se puede calcular tenemos:

- Grado de degradación de un recubrimiento protector no metálico.
- Cambio de espesor de un recubrimiento no metálico.

3.5.1 Grado de degradación de un recubrimiento protector no metálico.

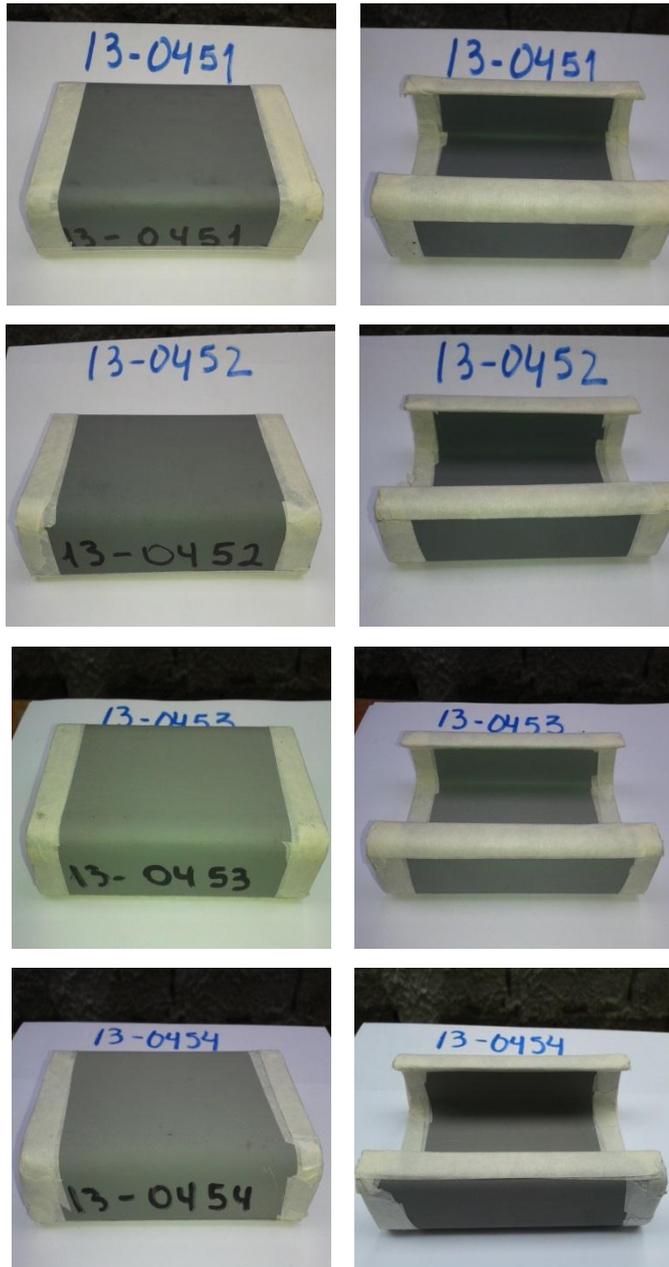
Permite predecir la vida útil que tendrá el recubrimiento no metálico al interactuar con el ambiente en análisis, además que los datos obtenidos en las pruebas permitirán gestionar el mantenimiento adecuado.

3.5.1.1 Inspección previa al ensayo

Previo al inicio del periodo de exposición, las muestras fueron fotografiadas, las cuales se presentan a continuación.



Figura 3-16: Vista general de las 12 muestras montadas en la cámara de niebla salina, previo al ensayo.



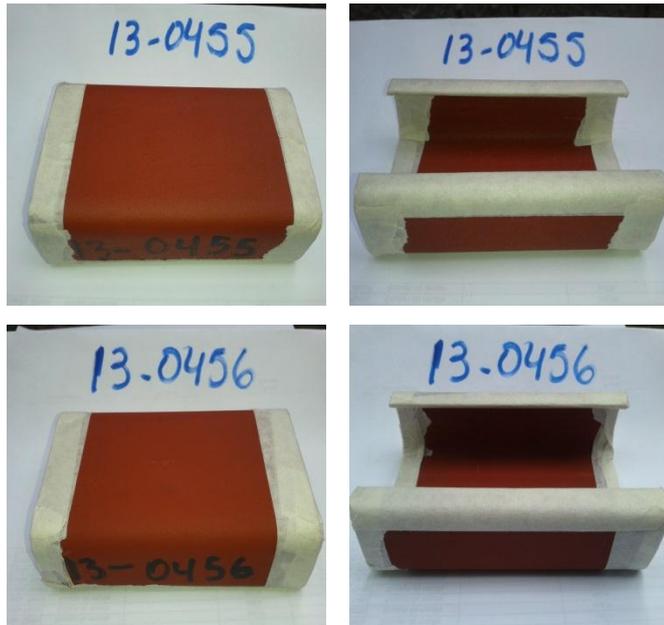
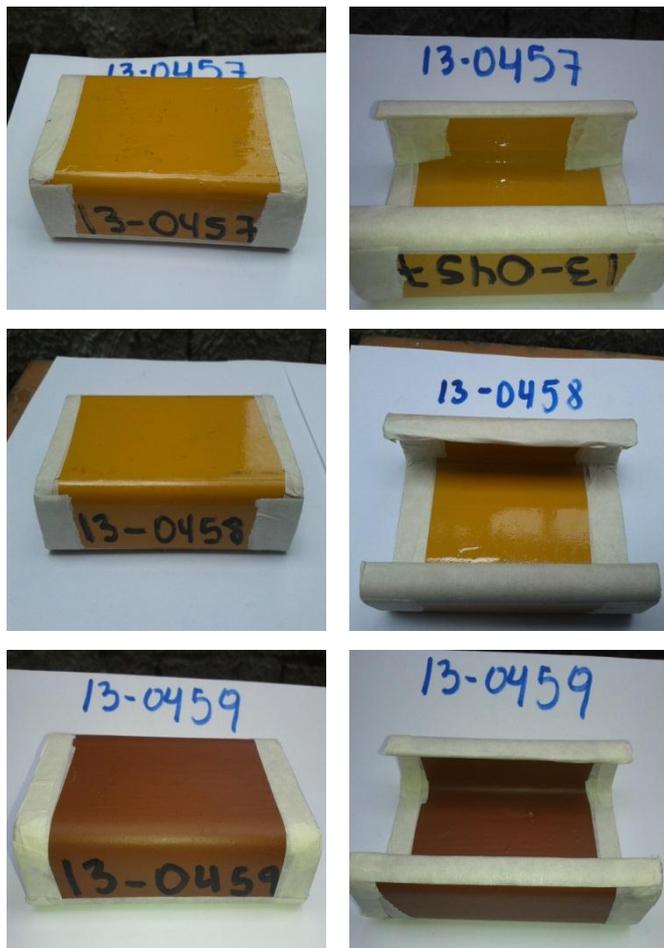


Figura 3-17: Probetas pintadas con brocha



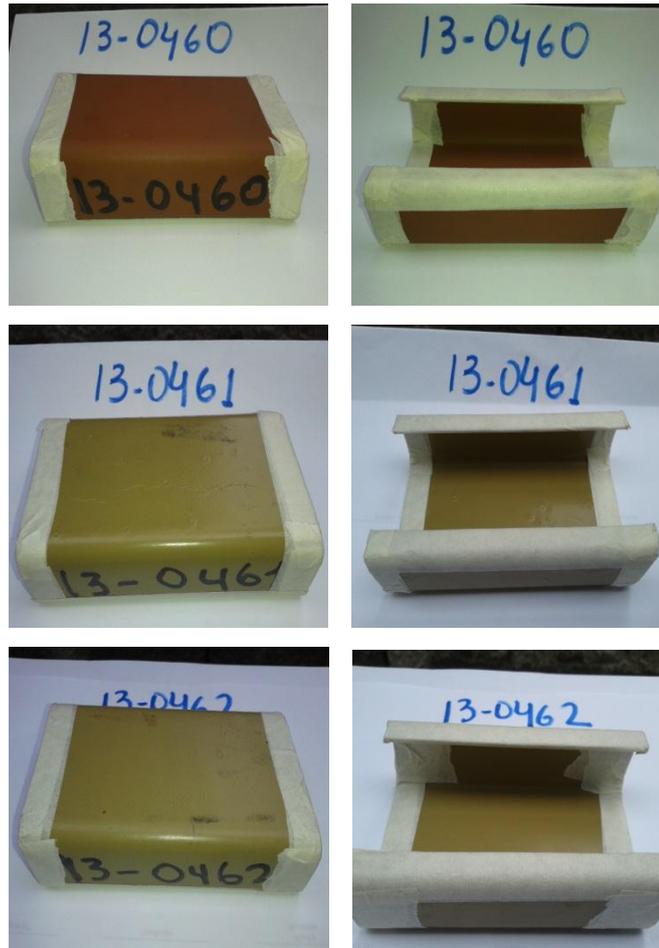


Figura 3. 18: Probetas a ser pintadas por aspersión.

3.6 Conclusiones

La correcta preparación de las probetas y anticorrosivos y su aplicación adecuada es muy importante para obtener los resultados más fiables, es decir que se aproximen de gran manera a la realidad, así como los parámetros utilizados en la cámara de niebla salina y el correcto uso de la misma.

Las pinturas anticorrosivas utilizadas están constituidas por componentes químicos básicos tales como el silicato de sodio el mismo que impide la corrosión, y tiene la función de proteger el acero y otros metales como el hierro, para ello no sólo se adhiere a la superficie, sino que procura reaccionar químicamente con la superficie metálica con la que toma contacto para modificarla y compenetrarse químicamente. Para que la pintura reaccione de la mejor manera se debe mezclar el diluyente un 15% como lo recomienda el fabricante.

Con los avances tecnológicos, las pinturas son cada vez más perfeccionadas y de mejor calidad, con un secado más rápido, capaz de actuar sobre una mayor cantidad y variedad de metales, cuando se mezcla un 15% del diluyente el tiempo estimado de secado va a ser de 60 minutos, en general al realizar todos estos procesos de pintado se obtiene un anticorrosivo más fiable y de mayor adherencia a los metales.

4. Análisis de los resultados de las pruebas realizadas en cámara de niebla salina

4.1 Introducción.

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos de las muestras expuestas a la cámara de niebla salina, identificando la mejor muestra con recubrimiento anticorrosivo que resultó de este ensayo, teniendo en cuenta las marcas de recubrimiento anticorrosivo que se aplicaron y que se explicaron en el capítulo 2, cabe recalcar que para el presente estudio se describen aspectos preliminares de las Normas ASTM B117 y ASTM D610, las mismas que indican los procedimientos para la aplicación de la cámara de niebla salina y la evaluación del grado de oxidación de superficies de acero con recubrimiento anticorrosivo.

4.2 Norma ASTM D610 [43]

La norma ASTM D610, indica la manera de realizar la evaluación del grado de oxidación en las superficies de acero recubiertas con una capa polimérica. La inspección visual es lo fundamental en esta norma ya que es posible identificar el porcentaje de oxidación de las superficies. La normalización de esta inspección ha sido desarrollado conjuntamente con The Society for Protective Coatings (SSPC).

Esta norma indica la normalización de las actividades a realizar para cuantificar la cantidad y distribución de óxido en la superficie visible del acero, ya sea está por debajo o por encima de la capa protectora de polímero. El grado de oxidación se evalúa utilizando una escala de 0 a 10, basado en el porcentaje de óxido en la superficie del acero, es importante destacar que la distribución de la corrosión se clasifica como: *óxido puntual*, *óxido general* y *óxido disperso*.

En la siguiente tabla se muestra la estimación de la corrosión en la escala de 1 a 10 indicada anteriormente.

Tabla 4-1: Clasificación visual de la escala de una superficie oxidada

Grado de corrosión	Porcentaje de la superficie oxidada	Ejemplos Visuales		
		Puntual (s)	General (G)	Disperso (P)
10	Menor o igual que el 0,01%			
9	Entre el 0,01 a 0,03 %	9-s	9-G	9-P
8	Entre el 0,03 a 0,1 %	8-s	8-G	8-P
7	Entre el 0,1 a 0,3 %	7-s	7-G	7-P
6	Entre el 0,3 a 1 %	6-s	6-G	6-P
5	Entre el 1 a 3 %	5-s	5-G	5-P
4	Entre el 3 a 10 %	4-s	4-G	4-P
3	Entre el 01 a 16 %	3-s	3-G	3-P
2	Entre el 16 a 33 %	2-s	2-G	2-P
1	Entre el 33 a 50 %	1-s	1-G	1-P
0	Mayor al 50 %			

(s) *Oxidación Puntual*, se produce cuando la mayor parte de la oxidación se concentra en unas pocas áreas localizadas de la superficie recubierta. Se representa con la etiqueta 9-s hasta 1-s.

(G) *Oxidación General*, se produce cuando varias manchas de óxido se distribuyen a través de la superficie recubierta. Se representan con la etiqueta 9-G hasta 1-G.

(P) *Oxidación Dispersa*, se produce cuando el óxido se distribuye por toda la superficie como pequeñas partículas de óxido. Se representan con la etiqueta 9-P hasta 1-P.

A continuación se muestran las figuras ejemplo para cuantificar los distintos tipos de corrosión:

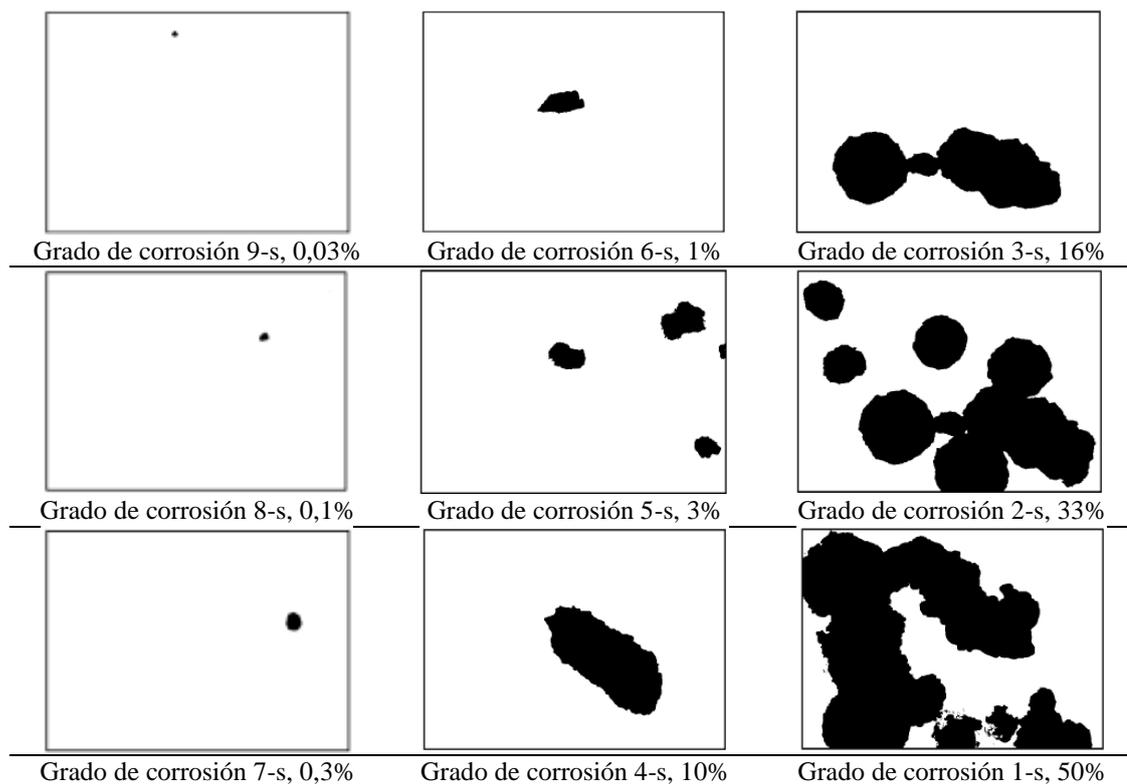


Figura 4-1: Clasificación visual de óxido puntual sobre una superficie

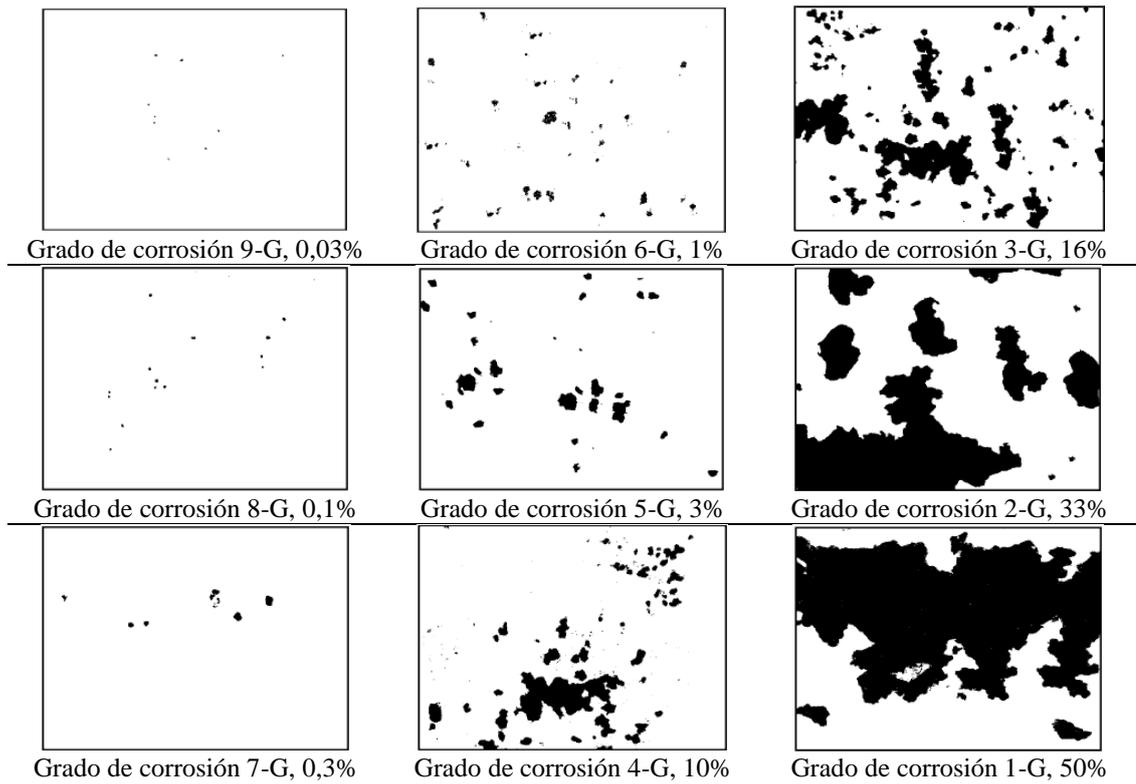


Figura 4-2: Clasificación visual de óxido general sobre una superficie.

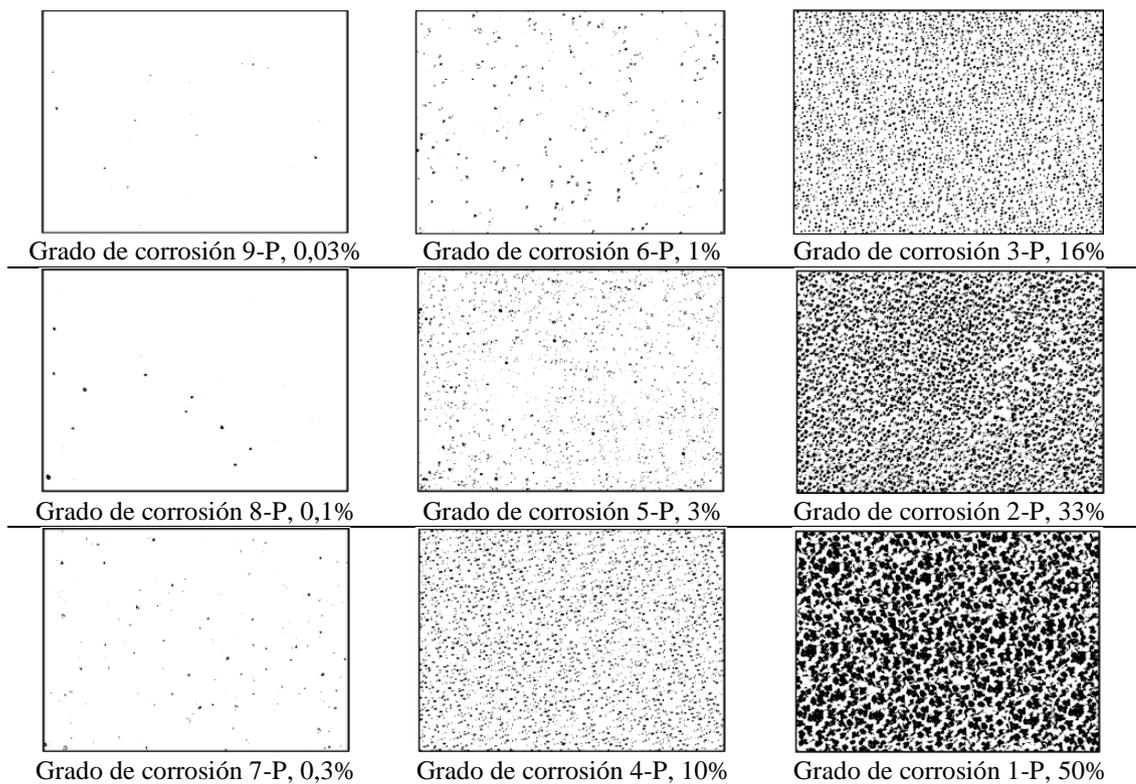


Figura 4-3: Clasificación visual de óxido disperso sobre una superficie

4.3 Parámetros de exposición a la cámara salina.

La norma que rige los parámetros de exposición de la cámara salina como se mencionó anteriormente es la norma ASTM B117, para ello el Laboratorio de Ensayos Metrológicos y de Materiales configuró de la siguiente manera:

Tabla 4-2: Parámetros de tratamiento de la cámara salina. Tomado de: LEMAT

PARÁMETROS DE ANÁLISIS	
Equipo utilizado	Cámara de Niebla Salina
Marca	Q-Lab
Modelo	Q-FOG/CCT600
Norma de Ensayo	ASTM B117
Solución utilizada	95% Agua destilada + 5% NaCl
Humedad Relativa	100%
Tiempo de ensayo	150 horas
Descripción del procedimiento de ensayo	El ensayo consistió en someter a las muestras a un periodo de 150 horas de niebla salina al 5% y a 35 °C.

En la siguiente figura se muestra la disposición de las probetas sobre la cámara salina.

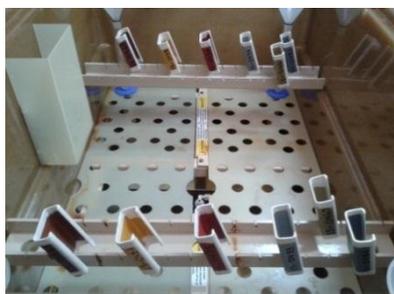


Figura 4-4: Disposición de probetas sobre la cámara salina. Tomado de: LEMAT

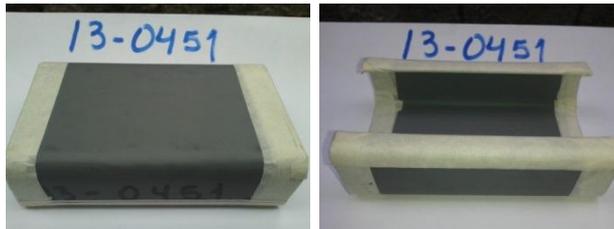
4.4 Resultados Obtenidos.

A continuación se describe los resultados obtenidos en los ensayos de la cámara salina, el mismo se realizó como se mencionó anteriormente durante un tiempo de 150 horas, realizando una inspección visual a las 43 horas de ensayo y al final del mismo, teniendo en cuenta que el análisis de la inspección visual se lo ha realizado siguiendo la norma ASTM D610 descrita anteriormente, realizando una comparación de cada una de las probetas según sea el caso de corrosión. (Figura 4-1, Figura 4-2, Figura 4-3)

4.4.1. Análisis del anticorrosivo Wesco

Anticorrosivo	Denominación para ensayo	Pintado con brocha	Pintado por aspersión
Wesco	WES	13-0451	13-0452

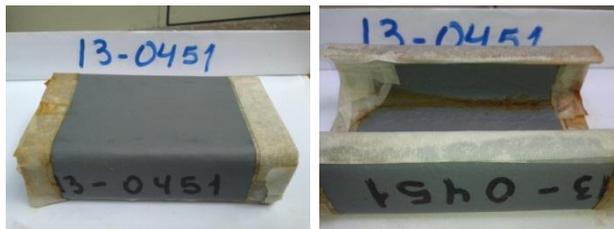
Antes del tratamiento elemento 13-0451:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0451:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0451:



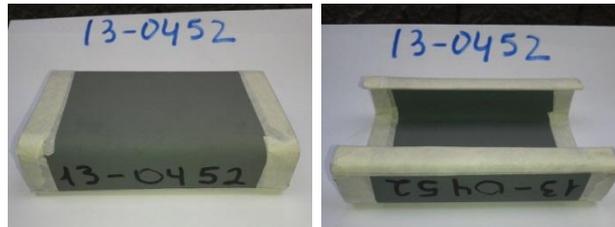
Análisis

Se presentan burbujas a las 43 horas, las mismas que aumentan hasta el final del ensayo, es decir las 150 horas.

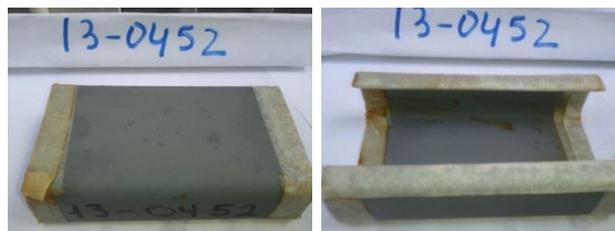
Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “G”, es decir se presenta una capa de *Óxido General*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 4 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 2.26 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 2.28mm, debido al burbujeo mencionado en el análisis inicial.

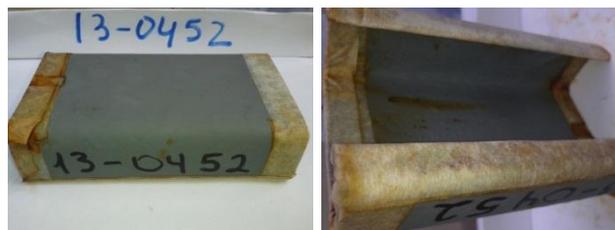
Antes del tratamiento elemento 13-0452:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0452:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0452:



Análisis.

Se presentan burbujas a las 43 horas, las mismas que aumentan hasta el final del ensayo, es decir las 150 horas.

Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “G”, es decir se presenta una capa de *Óxido General*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 5 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 2.13 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 2.15mm, debido al burbujeo mencionado en el análisis inicial.

Análisis del anticorrosivo Wesco

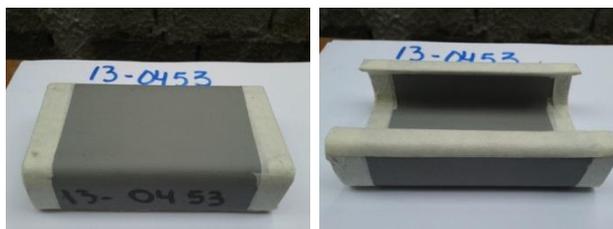
Probeta	Grado de corrosión	Espesor inicial (mm)	Espesor final (mm)	Diferencia de espesores
13-0451	4-G	2.26	2.28	-0.02
13-0452	5-G	2.13	2.15	-0.02

Al realizar el análisis de las probetas con el anticorrosivo *Wesco*, se determina que la misma se descarta, debido a que se tiene un grado de corrosión moderado por lo que no se considera para una aplicación.

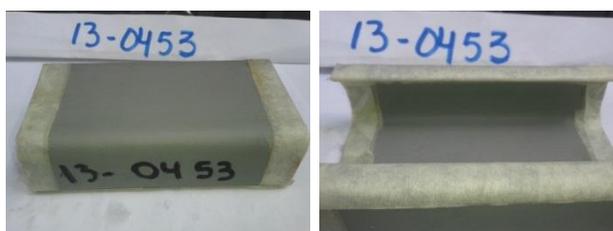
4.4.2. Análisis del anticorrosivo Córdor

Anticorrosivo	Denominación para ensayo	Pintado con brocha	Pintado por aspersión
Córdor	CON	13-0453	13-0454

Antes del tratamiento elemento 13-0453:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0453:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0453:



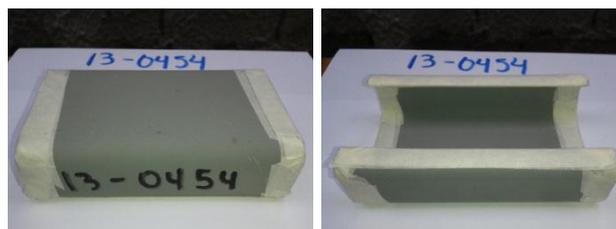
Análisis:

No se observan cambios en el aspecto superficial al final de las 150 horas del ensayo.

Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “s”, es decir se presenta una capa de *Óxido Puntual*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 7 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 2.24 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 2.30mm, a pesar que en la inspección visual no se observa capaz de óxido, la superficie tiene una variación del espesor.

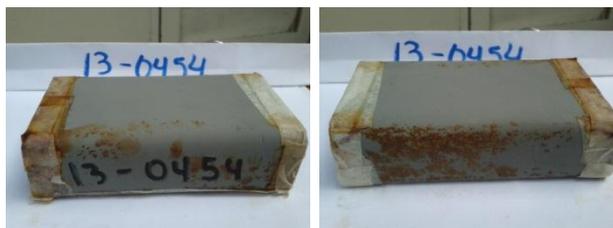
Antes del tratamiento elemento 13-0454:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0454:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0454:



Análisis:

Se presentan picaduras sobre la superficie a las 43 horas, las mismas que aumentan hasta el final del ensayo, es decir las 150 horas.

Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “G”, es decir se presenta una capa de *Óxido General*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 3 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 2.15 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 2.15mm, se puede observar claramente la presencia de corrosión y además no se manifiesta un cambio de espesor debido a la descomposición de la pintura anticorrosiva.

Análisis del anticorrosivo Córdor

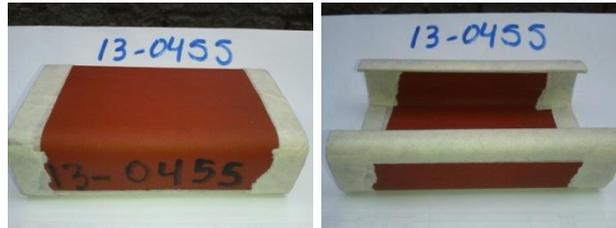
Probeta	Grado de corrosión	Espesor inicial (mm)	Espesor final (mm)	Diferencia de espesores
13-0453	7-s	2.24	2.30	-0.06
13-0454	3-G	2.15	2.15	0.00

Al realizar el análisis de las probetas con el anticorrosivo *Córdor*, se determina que la probeta 13-0453, resistió al ensayo y se la puede considerar para una aplicación, mientras que la probeta 13-0454 se descarta, debido a que se tiene un grado de corrosión moderado por lo que no se considera para una aplicación.

4.4.3. Análisis del anticorrosivo Pintuco

Anticorrosivo	Denominación para ensayo	Pintado con brocha	Pintado por aspersión
Pintuco	PIN	13-0455	13-0456

Antes del tratamiento elemento 13-0455:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0455:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0455:



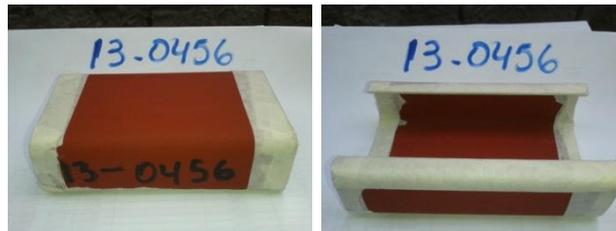
Análisis

No se observan cambios en el aspecto superficial hasta las 43 horas, pero al final del ensayo se presentan burbujas sobre la superficie.

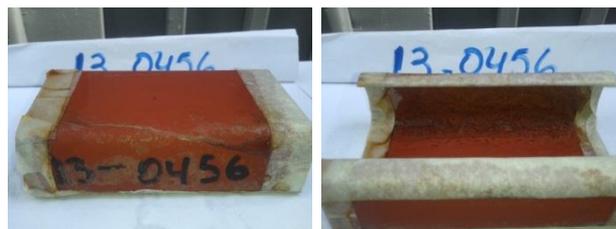
Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “P”, es decir se presenta una capa de *Óxido Dispersa*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 6 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 2.26 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 2.24mm, no se puede observar la presencia de corrosión y la variación del espesor se debe a que el recubrimiento de pintura se descompone por la corrosión.

Antes del tratamiento elemento 13-0456:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0456:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0456:



Análisis

Se presentan picaduras severas sobre la superficie a las 43 horas, las mismas que aumentan hasta el final del ensayo, es decir las 150 horas.

Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “G”, es decir se presenta una capa de *Óxido Dispersa*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 2 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 1.99 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 1.98mm, se puede observar claramente la presencia de corrosión agresiva que deteriora la pintura anticorrosiva y al acero.

Análisis del anticorrosivo Pintuco

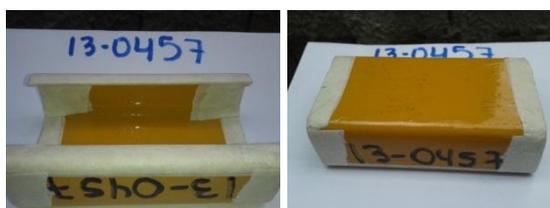
Probeta	Grado de corrosión	Espesor inicial (mm)	Espesor final (mm)	Diferencia de espesores
13-0455	6-P	2.26	2.28	-0.02
13-0456	2-G	1.99	1.98	0.01

Al realizar el análisis de las probetas con el anticorrosivo *Pintuco*, se determina que la misma se descarta, debido a que se tiene un grado de corrosión elevado por lo que no se considera para una aplicación.

4.4.4. Análisis del anticorrosivo Sherwin Williams

Anticorrosivo	Denominación para ensayo	Pintado con brocha	Pintado por aspersión
Sherwin Williams	SHE	13-0457	13-0458

Antes del tratamiento elemento 13-0457:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0457:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0457:



Análisis

No se presentan cambios en el aspecto superficial al final de las 150 horas del ensayo.

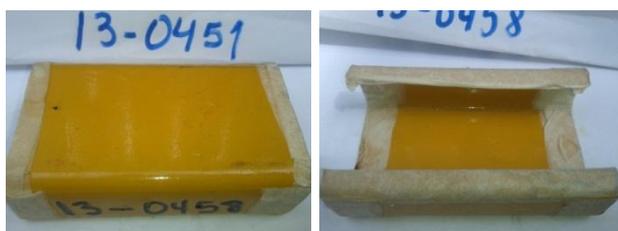
Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “s”, es decir se presenta una capa de *Óxido Puntual*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 8 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 2.18 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 2.18mm, no se observa la presencia de corrosión ni variación en el espesor del recubrimiento.

Antes del tratamiento elemento 13-0458:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0458:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0458:



Análisis

No se presentan cambios en el aspecto superficial al final de las 150 horas del ensayo.

Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “s”, es decir se presenta una capa de *Óxido Puntual*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 9 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 2.12 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 2.09mm, no se observa la presencia de corrosión y la variación del espesor se debe a que el recubrimiento de pintura se descompone sin manifestarse la presencia de corrosión

Análisis del anticorrosivo Sherwin Williams

Probeta	Grado de corrosión	Espesor inicial (mm)	Espesor final (mm)	Diferencia de espesores
13-0457	8-s	2.18	2.18	0.00
13-0458	9-s	2.12	2.09	0.03

Al realizar el análisis de las probetas con el anticorrosivo Sherwin Williams, se determina que la misma cumple con las condiciones de resistencia a los agentes anticorrosivos sin alterarse el acabado por lo que se considera apta para una aplicación.

4.4.5. Análisis del anticorrosivo Hempel

Anticorrosivo	Denominación para ensayo	Pintado con brocha	Pintado por aspersión
Hempel	PEL	13-0459	13-0460

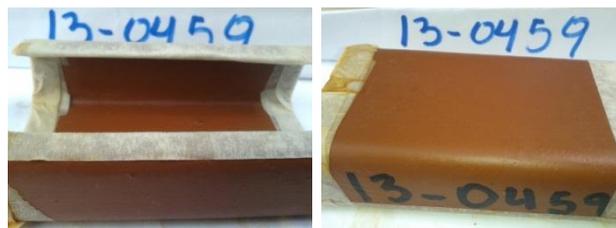
Antes del tratamiento elemento 13-0459:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0459:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0459:



Análisis

No se presentan cambios en el aspecto superficial al final de las 150 horas del ensayo.

Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “s”, es decir se presenta una capa de *Óxido Puntual*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 9 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 2.28mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 2.27mm, no se observa la presencia de corrosión, y la diferencia de espesores se debe a la descomposición del anticorrosivo, sin manifestarse la presencia de corrosión.

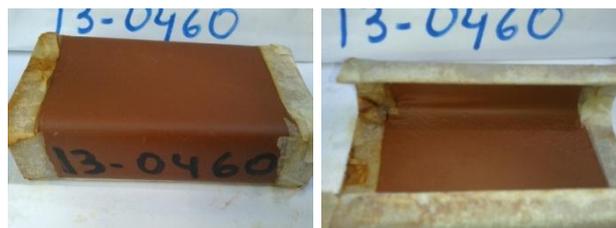
Antes del tratamiento elemento 13-0460:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0460:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0460:



Análisis

No se presentan cambios en el aspecto superficial hasta las 43 horas, pero al final del ensayo se presentan burbujas leves sobre la superficie.

Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “s”, es decir se presenta una capa de *Óxido Puntual*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 5 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 2.00 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 2.02mm, no se observa la presencia de corrosión, pero debido al burbujeo mencionado anteriormente se observa la diferencia de espesores.

Análisis del anticorrosivo Hempel

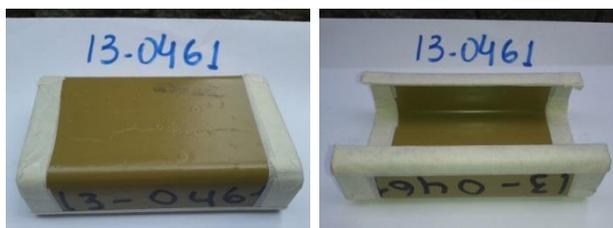
Probeta	Grado de corrosión	Espesor inicial (mm)	Espesor final (mm)	Diferencia de espesores
13-0459	9-s	2.28	2.27	0.01
13-0460	5-s	2.00	2.02	-0.02

Al realizar el análisis de las probetas con el anticorrosivo Hempel, se determina que la misma cumple con las condiciones de resistencia a los agentes anticorrosivos sin alterarse el acabado, pudiendo mejorar en la aplicación del mismo sobre la superficie del metal para tener mejores resultados aún, por lo que se considera apta para una aplicación.

4.4.6. Análisis del anticorrosivo Unidas

Anticorrosivo	Denominación para ensayo	Pintado con brocha	Pintado por aspersión
Unidas	UNI	13-0461	13-0462

Antes del tratamiento elemento 13-0461:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0461:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0461:



Análisis

No se presentan cambios en el aspecto superficial al final de las 150 horas del ensayo.

Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “s”, es decir se presenta una capa de *Óxido Puntual*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 8 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 2.19 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 2.20mm, no se observa la presencia de corrosión, pero se presenta un ligero incremento en la diferencia de espesores sin presentarse corrosión.

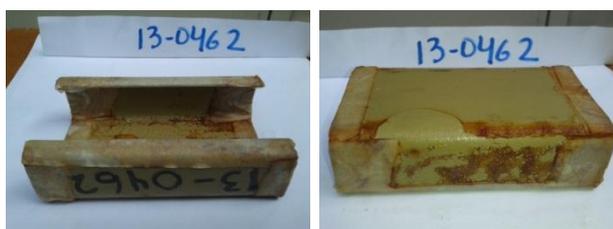
Antes del tratamiento elemento 13-0462:



Después de 43 horas del tratamiento probeta 13-0462:



Después de 150 horas del tratamiento probeta 13-0462:



Análisis

Se presentan burbujas severas sobre la superficie a las 43 horas, al final del ensayo se presenta burbujas con picaduras.

Al realizar la inspección visual se determina una corrosión del tipo “G”, es decir se presenta una capa de *Óxido Dispersa*, indicando de acuerdo a la norma ASTM D610 el grado 3 de corrosión.

La medición del espesor inicialmente fue de 1.93 mm mientras que al final del ensayo se obtuvo una medida de 1.99 mm, se observa claramente la presencia de corrosión agresiva, debido al burbujeo mencionado anteriormente se observa la diferencia de espesores.

Análisis del anticorrosivo Pinturas Unidas

Probeta	Grado de corrosión	Espesor inicial (mm)	Espesor final (mm)	Diferencia de espesores
13-0461	8-s	2.19	2.20	-0.01
13-0462	3-G	1.93	1.99	-0.06

Al realizar el análisis de las probetas con el anticorrosivo Pinturas Unidas, se determina que la misma cumple con las condiciones solamente para el caso de la aplicación del anticorrosivo de manera manual con brocha resiste a los agentes anticorrosivos sin alterarse el acabado, mientras que en la aplicación por aspersión no se obtiene buenos resultados descartando la misma.

4.5 Resumen del Análisis

A continuación se presenta una tabla resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de niebla salina.

Tabla 4-3: Resumen de resultados

Código de muestra	Grado de corrosión	Espesor inicial (mm)	Espesor final (mm)	Diferencia de espesores (mm)	Resultado
13-0451	4-G	2.26	2.28	-0.02	Descartada
13-0452	5-G	2.13	2.15	-0.02	Descartada
13-0453	7-s	2.24	2.30	-0.06	Apta
13-0454	3-G	2.15	2.15	0.00	Descartada
13-0455	6-P	2.26	2.24	0.02	Descartada
13-0456	2-G	1.99	1.98	0.01	Descartada
13-0457	8-s	2.18	2.18	0.00	Apta
13-0458	9-s	2.12	2.09	0.03	Apta
13-0459	9-s	2.28	2.27	0.01	Apta
13-0460	5-s	2.00	2.02	-0.02	Apta
13-0461	8-s	2.19	2.20	-0.01	Apta
13-0462	3-G	1.93	1.99	-0.06	Descartada

Como se puede observar en la Tabla 4-3, respecto a las marcas nacionales vs las marcas internacionales, de los productos nacionales que mejor soportan la corrosión en ambientes salinos como es la región costa son según el presente estudio: Pinturas Cándor y Pinturas Unidas, teniendo en cuenta que la aplicación del anticorrosivo se la debe realizar de una manera correcta y adecuada, para evitar errores; mientras que en las marcas internacionales las que mejor resultado se obtuvo son: Sherwin Williams y Hempel, se logró obtener los mejores resultados en ambos casos de aplicación de pintura, tanto pintura con brocha como con aspersión de aire.

A continuación se presenta una tabla en la que se indica una relación de costos de las marcas que mejores resultados dieron en el ensayo de niebla salina, de manera que se pueda presentar una realidad respecto a la inversión necesaria para la aplicación del mejor anticorrosivo.

Tabla 4-4: Relación de costos de las mejores anticorrosivas

Anticorrosivo	Grado de corrosión	Costo Galón	Costo ¼ Galón
Unidas	7-s	\$ 4.12	\$ 15.56
Sherwin Williams	9-s	\$ 4.50	\$ 17.00
Cóndor	8-s	\$ 5.19	\$ 19.61
Hempel	9-s	\$ 8.52	\$ 34.96

Como se puede apreciar en la tabla de costos el producto nacional puede competir con el producto internacional, obteniendo resultados similares del recubrimiento anticorrosivo, sin embargo es importante tomar en cuenta que las condiciones en las que se realiza la aplicación del mismo son de vital importancia para un correcto rendimiento del anticorrosivo en agentes salinos de la región costa.

4.6 Conclusiones

Los resultados obtenidos nos muestran que los anticorrosivos nacionales pueden responder con resultados adecuados respecto a los anticorrosivos internacionales, esto es posible apreciar en la comparación con los costos este punto es muy importante ya que con poca inversión en el anticorrosivo se puede garantizar la vida útil del material base (acero estructural).

Las características de nuestro medio son agresivas por lo cual tenemos que definir un espesor de pintura óptimo o el recomendado por el fabricante que es de 1.8 milímetros cuando se realiza con espesores gruesos se asegura buenas propiedades de flujo, los cuales ayudan a cubrir y reducir la permeabilidad al vapor de agua y gases. Por lo contrario, espesores delgados generalmente conducen al deterioro de algunas propiedades y consecuentemente a un desempeño menos eficiente, como en nuestro medio este tipo de proceso se dan a diario, por lo cual citamos dos maneras de recubrir las estructuras (brocha o aspersor de aire).

El objetivo fundamental de este trabajo es conocer como seleccionar la pintura correcta o la más adecuada para proteger una estructura metálica cuando se encuentra expuesta ante la corrosión, debido a la atmósfera y otros agentes salinos que pueden afectar la forma del metal, se ha realizado varias pruebas con diferentes clases de pinturas, para conocer cuál puede ser la más óptima para nuestro medio.

4.7 Bibliografía

[43] ASTM, *Standard Practice for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces*, 2013.

Conclusiones Generales

En general, la ejecución de todas las construcciones en acero será tal que prevenga la corrosión. Como medidas preventivas a la hora de la ejecución entre otras, se evitarán dobleces de radio menor a 2 mm, superficies inaccesibles, interrupciones en los cordones de soldadura (especialmente en estructuras de acero galvanizadas por inmersión en caliente), salpicaduras de soldadura, etc.

Debido a la corrosión existen grandes pérdidas industriales en todo el mundo, los costos producido por el deterioro de los metales es muy alto, ya sea durante su procesamiento, traslado o almacenamiento, debido a esto la mayoría de metales son cubierto con aceites para evitar que la corrosión penetre en el metal, en nuestro medio es muy común encontrar procesos similares a los mencionados anteriormente, por eso es necesario limpiar bien la superficie del metal antes de realizar un proceso antioxidante. La corrosión es de naturaleza electroquímica y la consecuencia de la presencia simultánea de un metal, oxígeno y agua hace que el metal se deteriore con mayor rapidez.

Los ensayos de corrosión acelerada experimentan simulaciones reales de cómo actúa el clima en nuestro medio con ciclos nocturnos o diurnos, donde por la noche baja la temperatura, sube la humedad y cae el punto de rocío. Por lo contrario al amanecer sube la temperatura y baja la humedad. Todos estos cambios climáticos mencionados anteriormente son los que sufren las estructuras metálicas cuando se encuentran expuestas a la intemperie, por lo cual con este ensayo y gracias a la cámara de niebla salina se puede simular todos estos cambios, dependiendo de cómo queremos nuestro ensayo se programa el tiempo de duración de las probetas dentro de la cámara, las muestras sometidas a esta prueba se insertan en una cámara a temperatura controlada, 35 ° C, donde se pulveriza una solución salina en forma de una niebla muy fina. Esta pulverización es continua, por lo que las muestras están constantemente mojadas y, por lo tanto, también constantemente sujetas a corrosión. Los resultados se miden registrando el número de horas que tarda en alcanzarse niveles definidos de oxidación en la superficie de las muestras. La duración de esta prueba oscila entre 24 y 1000 horas, incluso más para algunos materiales.

Recomendaciones Generales

Se debe considerar una adecuada aplicación del anticorrosivo, tiene que ser pintado de manera uniforme y continua todo el metal ya que es un factor importante si esperamos resultados positivos en los ensayos, al realizar el recubrimiento del metal se debe proteger con doble capa de pintura las partes que tienen un ángulo doblado muy pronunciado, los bornes, en donde exista cordones de soldadura ya que en estos lugares se encuentra más propensos a ser corroídos. Un causante de las diferencias en espesores es el tipo de aplicación (brocha y por aspersion), se recomienda que al realizar estos tipos de recubrimientos al metal se lo realice en un lugar adecuado para cumplir con los estándares idóneos de protección al metal.

Al momento de pintar el metal se recomienda utilizar mascarilla y guantes, para evitar inhalar las partículas que se desprenden de los anticorrosivos.

Una condición muy importante previa a la aplicación del anticorrosivo es la época del año (invierno y/o verano) ya que en verano el secado de la capa del anticorrosivo es más rápido mientras que en invierno es más demorado principalmente al aplicar distintas capas del mismo. Además el rango de temperatura promedio para aplicar las capas de pintura es por debajo de los 5°C, o sea superior a los 50°C.

Cuando se va a escoger método para proteger el metal se debe tener en cuenta que cuando se realiza con brocha es un método lento y por tanto más costoso. Al inicio se pensó que era el método más efectivo dado que se podía llegar a todos los rincones del metal pero debido la irregularidad que deja esta aplicación, se recomienda como la menos idónea para este tipo de procesos. El método más utilizado en nuestro medio en la aplicación de recubrimiento es por aspersion, se recomienda tener en cuenta su adecuada combinación de presiones y boquillas. Entre las principales consideraciones al efectuar esta aplicación se encuentra la distancia entre la pistola y la superficie, la cual debe oscilar entre 15 y 20 centímetros. La pintura debe ser aplicada a la mínima presión capaz de atomizarla de una manera uniforme. La pistola debe mantenerse siempre perpendicular a la superficie por pintar.

Se debe tener en cuenta que al utilizar este método la pérdida de material va ser más o menos de 25 a 35% debido al ajuste de boquilla que utilizemos, porque cuando se utiliza el método de brocha se obtiene mayores pérdidas de pintura en un 45%

Antes de pintar se deberá eliminar la grasa, el aceite, el polvo y cualquier otro contaminante depositado sobre la superficie a ser tratadas. En el caso de que aparezcan zonas oxidadas después de haber preparado la superficie, éstas deberán ser nuevamente limpiadas.

Las pinturas y disolventes deberán ser almacenados en lugares separados, con buena ventilación y alejados del calor, del fuego y de los rayos solares. Cuando se va a mezclar la pintura con el diluyente, la pintura debe ser previamente agitada o removida para que no existan concentraciones de este material que se queden en el fondo del recipiente. Para que la preparación sea la más óptima la mezcla debe ser de las cantidades especificadas por el fabricante.

No deberá aplicarse ninguna capa de pintura hasta que la anterior esté completamente seca.

Bibliografía General

- [1] D. Timbi and J. Sarmiento, “Diseño y cálculo estructural en acero de un edificio de 9 pisos, 36m. de altura destinado a vivienda multifamiliar utilizando las características mecánicas de los productos que fabrica y comercializa la empresa TUGALT S.A.,” Proyecto final de grado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador, 2008.
- [2] J. McCormac, *Diseño de estructuras de acero: método LRFD*, 1st ed. México: Alfaomega, 2002.
- [3] INAMHI, “Boletín Meteorológico de Guayaquil,” INAMHI, Guayaquil, Meteorológico 257, Oct. 2013.
- [4] A. M. Carvajal, “Análisis de las Normas Chilenas relacionadas con corrosión de acero y su protección,” *Rev. Construcción*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2002.
- [5] R. Hibbeler, *Structural analysis*, 8th ed. Estados Unidos: Prentice Hall, 2009.
- [6] INEC, “Encuesta anual de Edificaciones 2012 , Permisos de Construcción,” Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, Quito, Ecuador, Edificaciones - Código de provincia, 2010.
- [7] O. González, *Análisis estructural*, 1st ed. México: Limusa, 2002.
- [8] D. Askeland and P. Pradeep, *Ciencia e ingeniería de los materiales*, 4th ed. México: Thomson, 2004.
- [9] L. Molina, “Estudio avanzado de corrosión,” Maestría en Ingeniería Química, Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2011.
- [10] T. Charng and F. Lansing, “Review of corrosion causes and corrosion control in a technical facility,” *Tda Prog. Rep.*, vol. 42, no. 69, pp. 145–156, 1982.
- [11] R. Burns, “The corrosion of metals -- I Mechanism of Corrosion Processes,” *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 15, no. 1, p. 20, Jan. 1936.
- [12] R. Vasant and T. Sarakonsri, *Introduction to electrochemical cells*, 1st ed. Germany: Wiley-Vch, 2010.
- [13] Y. Meas, “Técnicas electroquímicas para la medición de la velocidad de corrosión,” Universidad Nacional Autónoma de México, México, 2012.
- [14] S. Cramer and B. Covino, *ASM Handbook : Corrosion Materials*, 1st ed., vol. 13B. Estados Unidos: ASM International, 2005.
- [15] E. Bardal, *Corrosion and protection*, 1st ed. London, U.K.: Springer.
- [16] P. Roberge, *Corrosion Engineering: Principles and Practices*, 1st ed. New York: McGraw - Hill, 2008.
- [17] Y. Waseda and S. Suzuki, *Characterization of Corrosion Products on Steel Surfaces*, 1st ed. Springer, 2005.
- [18] E. Espejo, “Tipo de corrosión y de superficies corroídas en metales.” Universidad Nacional de Colombia, 2011.
- [19] R. Baboian, *Corrosion tests and Standards: Application and Interpretation*, 2nd ed. Baltimore: ASTM International, 2005.
- [20] C. Guidice and A. Pereyra, “Pinturas anticorrosivas para sustratos de hierro y acero,” p. 11.
- [21] E. Flick, *Corrosion Inhibitors - An Industrial Guide*, 2nd ed. Estados Unidos: Noyes Publications, 1993.
- [22] A. Guzmán, “Evaluación de la resistencia a la corrosión con altos sólidos por medio de espectroscopía de impedancia electroquímica,” Maestría en Ingeniería - Ingeniería Química, Universidad Nacional de Colombia, Colombia, 2011.
- [23] D. Kumar and R. C. Sharma, “Advances in conductive polymers,” *Eur. Polym. J.*, vol. 34, no. 8, pp. 1053–1060, 1998.
- [24] H. S. Rzepa, “Conducting polymers.” Imperial College, 2003.
- [25] L. Dai, *Intelligent Macromolecules for Smart devices from materials synthesis to device applications*, 1st ed. Germany: Springer, 2004.

- [26] P. R. Bidez, S. Li, A. G. MacDiarmid, E. C. Venancio, Y. Wei, and P. I. Lelkes, "Polyaniline, an electroactive polymer, supports adhesion and proliferation of cardiac myoblasts," *J. Biomater. Sci. Polym. Ed.*, vol. 17, no. 1–2, pp. 199–212, 2006.
- [27] K. M. Molapo, P. M. Ndangili, R. F. Ajayi, G. Mbambisa, S. M. Mailu, N. Njomo, M. Masikini, P. Baker, and E. I. Iwuoha, "Electronics of Conjugated Polymers (I): Polyaniline," *Int J Electrochem Sci*, vol. 7, pp. 11859–11875, 2012.
- [28] A. Rivadeneira, *Protección anticorrosiva del acero mediante el uso de pinturas alquídicas con pigmentos de óxido de hierro en atmósferas urbana y subtropical*, Quito, 2008.
- [29] P. M. Giudice C., *Control de calidad de películas de pinturas*, Buenos Aires.
- [30] «Q-LAB,» [En línea]. Available: <http://www.q-lab.com/es-es/products/quv-weathering-tester/quv>. [Último acceso: 21 01 2014].
- [31] D. L., *Diseño y construcción de una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión.*, 2012.
- [32] CAMARAS CLIMATICAS, «CCI,» [En línea]. Available: <http://cci-calidad.blogspot.com/2008/12/clases-de-ensayos-de-corrosion-por.html> [Último acceso: 24 01 2014].
- [33] «NEURTEK,» [En línea]. Available: <http://www.neurtek.com/catalogo/envejecimiento-y-corrosion/corrosion/camaras-de-corrosion> [Último acceso: 24 01 2014].
- [34] «CHEMISA,» [En línea]. Available: http://www.chemisa.com.ar/equipos/niebla_salina/modelos.htm [Último acceso: 24 01 2014].
- [35] «Q-LAB,» [En línea]. Available: <http://www.q-lab.com/es-es/products/q-fog-cyclic-corrosion-chamber/q-fog-ssp-cct> [Último acceso: 24 01 2014].
- [36] «Q-LAB,» [En línea]. Available: <http://www.q-lab.com/documents/public/6ed712e7-2980-4634-a529-38f0def75a7a.pdf>. [Último acceso: 8 12 2013].
- [37] «Euroquímica» [En línea]. Available: http://www.euroquimica.com/Fichas/InfoInteres/i_s_composicion_pinturas.pdf [Último acceso: 15 12 2013].
- [38] B. J. Ramirez G., «*Pintuco se internacionaliza en el mercado Andino,*» n° 93, pp. 115 - 140, 2003.
- [39] «Proexport Colombia,» [En línea]. Available: <http://antiguo.proexport.com.co/vbecontent/library/documents/DocNewsNo8713DocumentNo7177.PDF> [Último acceso: 10 12 2013].
- [40] «Dupont,» [En línea]. Available: <http://www.psm-pupont.com.mx/paginas/aplicacion.htm> [Último acceso: 1 12 2013].
- [41] «Efemerides,» [En línea]. Available: <http://www.efemerides.ec/1/mayo/ecuador.htm> [Último acceso: 1 12 2013].
- [42] « Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa,» [En línea]. Available: http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/12/htm/sec_17.html [Último acceso: 10 12 2013].
- [43] ASTM, *Standard Practice for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces*, 2013.

Anexos