



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán Campo 1

Formulación de una pintura epóxica base agua mejorada y
resistente a la corrosión

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE INGENIERO QUIMICO

PRESENTAN:

Austria Alcántara Marco

Martínez Anaya Ana Laura

ASESOR:

M. en I. Juan Carlos Axotla García

Cuautitlán Izcalli, Estado de México 2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. EN C. JORGE ALFREDO CUELLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNANDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Formulación de una pintura epóxica base agua mejorada resistente a la corrosión

Que presenta el pasante: Marco Autria Alcantara
Con número de cuenta: 406041621 para obtener el Título de: Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 02 de Octubre de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en C. Gilberto Atilano Amaya Ventura	
VOCAL	M. en C. Graciela Martínez Cruz	
SECRETARIO	M. en I. Juan Carlos Axotla García	
1er. SUPLENTE	M. en S.H.O. Luis Manuel Flores Larios	
2do. SUPLENTE	M. en I. Julio César Morales Mejía	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

HMI/iac



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES**

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

**M. EN C. JORGE ALFREDO CUELLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE**

**ATN: M. EN A. ISMAEL HERNANDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.**

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Formulación de una pintura epóxica base agua mejorada resistente a la corrosión

Que presenta la pasante: Ana Laura Martínez Anaya
Con número de cuenta: 303788076 para obtener el Título de: Ingeniera Química

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 02 de octubre de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M. en C. Gilberto Atilano Amaya Ventura	
VOCAL	M. en C. Graciela Martínez Cruz	
SECRETARIO	M. en I. Juan Carlos Axotla García	
1er. SUPLENTE	M. en S.H.O. Luis Manuel Flores Larios	
2do. SUPLENTE	M. en I. Julio César Morales Mejía	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

HMI/iac

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo lo dedico a la persona que ha creído y me ha apoyado incondicionalmente dándome la oportunidad primeramente de vida y la oportunidad de prepararme profesionalmente, acompañándome durante este largo proceso de aprendizaje y vida, te agradezco infinitamente y es contigo con quien comparto esta satisfacción que siento en mí, te quiero mamá.

Dedico este trabajo a mi hermano quien me ha apoyado y compartido sus ideas y conocimientos.

Agradezco al asesor, M. en I. Juan Carlos Axotla, al Dr. Armando Aguilar y al M. en I. Miguel de Nazareth Pineda por darnos la oportunidad para realizar este trabajo; Así como al todo el grupo de Ingenieros que trabaja y desarrolla en el Centro de Asimilación de Estudios Tecnológicos de la UNAM por el apoyo que nos brindaron en el uso de los equipos y materiales. Ing. Juan José García Ruíz y al Ing. Noé Cortés.

Agradezco al Sr. Drausin encargado del taller de soplado de vidrio por su apoyo.

Agradezco a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por ser el centro del saber que me acogió durante mi formación profesional y a la UNAM por ser la casa de mis más profundas satisfacciones y logros.

Por mi raza hablara el espíritu.

Marco Austria Alcántara

AGRADECIMIENTOS

Dedico este trabajo a mi madre, quien me ha dado todo lo que tengo y quien me ha llenado del más grande y puro amor. Gracias mamá por ser mi ejemplo a seguir y por enseñarme a ser valiente y a siempre luchar, eras la mejor guerrera. Gracias por siempre creer en mí, y por apoyarme en mis ideas y proyectos y animarme a realizarlos. Agradezco todas tus enseñanzas y consejos, gracias por todo tu esfuerzo por darme la mejor educación.

Para tí es esta tesis y mi título universitario.

Gracias a mi hermano, quien también es un gran ejemplo para mí. Gracias Andy, por tus comentarios, tu ayuda y por todos los grandes momentos que hemos compartido como hermanos. Gracias a mi tía Lalis, quien ha estado a mi lado toda mi vida, gracias por guiarme y por cuidarme durante tantos años.

Gracias a la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán por todo el conocimiento que me brindó durante la carrera y la realización de este proyecto, por haberme formado como profesionista y como persona. A la UNAM, la máxima casa de estudios, por todas las oportunidades y el apoyo que me ofreció durante mi estancia en ella. Es un orgullo de ser parte de esta casa.

A mi asesor, M. en I. Juan Carlos Axotla, al Dr. Armando Aguilar y al M. en I. Miguel de Nazareth Pineda, por la oportunidad de realizar este trabajo y por permitirme laborar con ustedes, de verdad agradezco la ayuda que me brindaron cuando era estudiante. Gracias profesores por sus consejos, su paciencia y por la confianza que siempre me han dado.

Agradezco al Ing. Juan José García Ruíz y al Ing. Noé Cortés del Centro de Asimilación de Estudios Tecnológicos por el apoyo que me brindaron para realizar este trabajo.

Gracias a Dios, a quien le debo todo.

Ana Laura Martínez Anaya

ÍNDICE

Introducción.....	10
Objetivos generales e hipótesis.....	12
1. Generalidades.....	13
1.1 Medio ambiente y corrosión.....	13
1.2 Recubrimientos.....	18
1.3 Pinturas.....	35
1.4 Pigmentos.....	36
1.5 Efecto barrera.....	41
1.6 Resinas y disolventes.....	41
1.7 Aplicación y métodos.....	43
2. Materiales y métodos.....	48
3. Resultados y análisis de resultados.....	60
4. Conclusiones.....	74
5. Bibliografía.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Exposición de la población al SO ₂	15
2. Protección laminar.....	40
3. Efecto barrera.....	41
4. Probetas planas y cilíndricas (acero1020).....	48
5. Resina, endurecedor y catalizador.....	49
6. Pesada de reactivos para las formulaciones.....	50
7. Adición de perlas de vidrio.....	50
8. Molino de perlas de Pyrolac.....	51
9. Pintado de probetas.....	51
10. Colorímetro Minolta.....	53
11. Cámara de intemperismo acelerado.....	53
12. Arco del espectro de luz de la lámpara QSUN con respecto al arco de luz solar.....	54
13. Espectro del arco de xenón, luz UV y fluorescente respecto a la luz solar.....	54
14. Realización de la prueba de potencióstato.....	56
15. Ataque de la solución al recubrimiento durante la prueba.....	57
16. Probeta al finalizar la prueba.....	57
17. Manejo de software para la realización de la prueba.....	58
18. Formulación 1.....	61

19. Acercamiento de la superficie de la placa antes de la prueba.....	62
20. Acercamiento de la superficie de la placa después de la prueba.....	62
21. Acercamiento de parte más rugosa de la placa sin llegar al metal.....	63
22. Formulación 2.....	63
23. Acercamiento de la placa testigo.....	64
24. Acercamiento de la placa después de la prueba.....	64
25. Acercamiento al ampollamiento.....	65
26. Formulación 3.....	65
27. Acercamiento de la placa testigo antes de la prueba.....	66
28. Acercamiento de la placa después de la prueba.....	66
29. Acercamiento de la placa donde se observa una leve exposición al metal.....	67
30. Formulación 4- placa testigo y de prueba.....	67
31. Acercamiento de la placa testigo.....	68
32. Imagen de la placa después de la prueba.....	68
33. Acercamiento de las zonas atacadas por la radiación de la cámara.....	69
34. Curva tafel formulación 1.....	71
35. Curva tafel formulación 2.....	71
36. Curva tafel formulación 3.....	72
37. Curva tafel formulación 4.....	72

ÍNDICE DE TABLAS

1. Categorías de ambiente, riesgo de corrosión y velocidad de corrosión.....	16
2. Clasificación de recubrimientos.....	20
3. Tipos de recubrimientos.....	20
4. Formulación de cada uno de los recubrimientos.....	49
5. Ciclos de operación de la cámara de intemperismo acelerado.....	55
6. Resultados de la prueba de colorimetría.....	60
7. Velocidad de corrosión de los recubrimientos.....	70
8. Comparación y análisis de los resultados de la prueba tafel.....	70
9. Resultados de la prueba de adhesión.....	73

INTRODUCCIÓN

En base al estudio del Instituto Battelle realizado entre 1975 y 1995 [1], se estima que entre el 3 y 4% del producto interno bruto (PIB) de los Estados Unidos se pierde como consecuencia de los procesos de corrosión y degradación de los materiales. También se sabe que entre el 20 y 25 % de estas pérdidas podrían evitarse aplicando lo que se conoce acerca de los daños a los materiales, los mecanismos de la corrosión y las técnicas para reducir sus efectos.

Uno de los métodos más utilizados para retrasar el proceso de corrosión en los metales lo constituyen los recubrimientos orgánicos, principalmente las pinturas. Según la norma UNE-EN 971-1 [2], una pintura es un producto pigmentado, en forma líquida, pasta o polvo que al ser aplicado sobre una superficie forma una película con propiedades protectoras, decorativas u otras propiedades específicas. La calidad final de un recubrimiento de pintura y su eficacia dependerán principalmente de una adecuada selección de sus componentes, del método empleado para su curado y de su aplicación sobre la superficie sin olvidar la preparación superficial de éste [3].

Tradicionalmente las pinturas anticorrosivas contenían plomo ó cromo hexavalente como pigmentos activos, los cuales contaminan el medio ambiente y al mismo tiempo representan un riesgo para la salud, razón por la cual desde 1970, la tecnología de las pinturas se ha propuesto dos objetivos: el reemplazo de los pigmentos tóxicos y la eliminación progresiva de los solventes en sus formulaciones con el fin de reducir la emisión de compuestos orgánicos volátiles.

Se han estudiado muchos compuestos como posibles sustitutos del plomo y del cromo y se ha encontrado que el fosfato de zinc y compuestos similares han resultado ser los mejores sustitutos. Esto se debe

que estos compuestos no son tóxicos cuando se disuelven y difunden en la flora y fauna del entorno y son una alternativa, viable técnica y económicamente como prevención a la corrosión aplicándose sobre superficies ferrosas y no ferrosas. Estos recubrimientos inorgánicos al cubrir las superficies metálicas, retardan la corrosión y promueven una mayor adherencia de la pintura protectora. [4]. Estos recubrimientos depositados sobre el metal no son solamente estables y químicamente inertes a los acabados orgánicos, sino que también absorben y adhieren los recubrimientos al metal, la razón más importante para usar un recubrimiento fosfatado es prevenir y retardar la propagación de la corrosión bajo la pintura, incluso en las áreas cercanas a las zonas en las que pudiera existir una ruptura. Se sabe que la acción protectora de los fosfatos se debe a la formación de una película sobre la superficie de hierro ya que involucra la polarización de las áreas catódicas debido a la precipitación en partículas finas de sales solubles las cuales se adhieren a la superficie.

Debido a las restricciones normativas con respecto a la emisión de compuesto orgánicos volátiles a la atmosfera, las pinturas base agua han adquirido gran importancia tanto para el uso doméstico

como industrial. El agua como disolvente tiene dos grandes ventajas: no es tóxica y no es inflamable.

El objetivo de esta investigación es mejorar una pintura epóxica base agua añadiendo dos aditivos anticorrosivos, fosfato de zinc y óxido metálico (óxido de hierro) además de dióxido de titanio como pigmento, con el fin de sustituir la pintura epóxica base disolvente orgánico que daña mucho más al medio ambiente.

En investigaciones anteriores se ha determinado la región de formulación óptima para una pintura epóxica base disolvente orgánico solvente con los aditivos anticorrosivos antes mencionados [5] [6]. En esta investigación se determinará la región óptima de formulación para la pintura epóxica base agua mejorada, con el fin de comparar el desempeño de protección anticorrosiva de los dos tipos de pintura.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Adicionar óxido micáceo y benzotriazol a una formulación epóxica base agua, de manera que sea resistente a la corrosión al estar expuesta al ambiente, y, evaluarla en términos de cambio de color y apariencia.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar si el óxido metálico laminar puede mejorar el desempeño de una formulación base agua contra la corrosión.
- Determinar si el benzotriazol puede mejorar el desempeño de una formulación base agua contra la corrosión.
- Evaluar visualmente la degradación de color y el grado de corrosión de las formulaciones realizadas con y sin benzotriazol y óxido metálico.
- Determinar la velocidad de corrosión de las formulaciones por medio de pruebas de tafel.
- Determinar si el benzotriazol y el óxido metálico tienen algún efecto en la velocidad de corrosión de las formulaciones.

HIPÓTESIS

Al añadir óxido metálico laminar y benzotriazol a una pintura epóxica base agua, se alcanzará un grado similar de protección que con una pintura base solvente.

1. GENERALIDADES

1.1 El medio ambiente y la corrosión:

En la actualidad es cada vez más importante implementar nuevas técnicas que mejoren los recubrimientos que protegen a las estructuras metálicas y aleaciones de los ataques corrosivos del medio al que son expuestos, ya que cada vez más el medio ambiente ha sido alterado por la excesiva contaminación a la atmosfera principalmente en las ciudades y zonas industriales, donde son liberados demasiados líquidos y gases que atacan directamente a los equipos y estructuras metálicas.

La corrosión atmosférica es la causa más frecuente de la destrucción de metales y aleaciones. Los contaminantes gaseosos y sólidos potencian el efecto corrosivo. Así la corrosión atmosférica depende fundamentalmente de la humedad relativa y los contaminantes presentes en el medio.

Existen diversos contaminantes corrosivos de la atmósfera, los contaminantes primarios son los que se emiten directamente a ésta, como el dióxido de azufre (SO₂), óxido de nitrógeno (NO) y compuestos orgánicos volátiles (COV).

Los compuestos orgánicos volátiles, se convierten fácilmente en vapores o gases. Junto con el carbono, contienen elementos como hidrógeno, oxígeno, flúor, cloro, bromo, azufre o nitrógeno. Los COV son liberados por la quema de combustibles, como gasolina, madera, carbón o gas natural.

Algunos ejemplos de ellos son:

- Naturales: isopreno, pineno y limoneno
- Artificiales: benceno, tolueno, nitrobenceno

Otros ejemplos de compuestos orgánicos volátiles son formaldehído, clorobenceno, disolventes como tolueno, xileno, acetona, y percloroetileno.

Los secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios por ejemplo el ácido sulfúrico, H₂SO₄, que se forma por la oxidación del SO₂, la principal fuente de emisión de dióxido de azufre a la atmósfera es la combustión del carbón que contiene azufre.



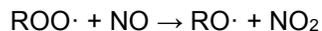
El dióxido de nitrógeno (NO₂), que se forma al oxidarse el contaminante primario monóxido de nitrógeno (NO). El monóxido se libera al ambiente principalmente durante el funcionamiento de motores que utilizan combustibles fósiles.



Y el ozono, O_3 , que se forma a partir del oxígeno O_2 .

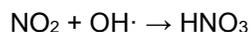


En presencia de COVs, éstos se transforman en radicales peroxi que a su vez oxidan al NO:

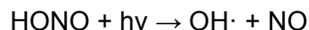


Muchos de los radicales $\text{RO}\cdot$ generados terminan formando aldehídos. Éstos, cuando la concentración de NO es baja (conforme avanza el día), pueden reaccionar con NO_2 dando lugar a compuestos del tipo RCOOONO_2 (cuando R es un metilo se denomina peróxido de acetilnitrato, PAN, un compuesto tóxico).

La formación del HNO_3 se produce al final del día por reacción del NO_2 con radicales oxhidrilo:



Durante la noche los radicales $\text{OH}\cdot$ pueden reaccionar con el NO dando ácido nitroso, que se disocia en presencia de luz, pero es estable durante la noche. [6]



El cloruro de sodio (NaCl) y el dióxido de azufre (SO_2) son los principales contaminantes corrosivos de la atmosfera. El NaCl es considerado natural ya que proviene de la evaporación del agua de mar, mientras que el SO_2 se forma por la quema de combustibles fósiles. La mayor concentración de éste se encuentra en las zonas industriales y en las grandes zonas urbanas, la concentración de NaCl depende de la distancia al mar [7].

La humedad relativa es importante en el grado de corrosión atmosférica. El hierro desnudo no se corroe en zonas urbanas ni industriales con una humedad relativa (HR) ambiente menor de 70%. La humedad crítica está asociada con la naturaleza higroscópica del sólido contaminante presente, como la de los productos de corrosión. Sus valores oscilan entre el 50 y el 70% en el acero, cobre, níquel y zinc.

Las partículas de polvo en suspensión en la atmosfera junto con la humedad intensifican el efecto de la corrosión por aireación diferencial. A través de la absorción del SO_2 pueden acelerar la corrosión en la zona de contacto del metal.

Si bien este contaminante se mide en muchas estaciones de monitoreo en el país, solo se cuenta con información de tres años consecutivos en 14 redes. Sin embargo, la información disponible de las mediciones efectuadas durante 2009 solo fue suficiente para obtener un diagnóstico de la exposición de la población en ocho de ellas: Irapuato, Salamanca, León, Puebla, Silao, y las zonas metropolitanas del valle de México, Monterrey y Guadalajara. En las demás ciudades no fue posible establecer el grado de exposición de la población durante 2009, ya sea porque la información disponible no fue suficiente o porque no se realizaron mediciones en ese año.

De acuerdo con los datos del monitoreo atmosférico en México, desde 1992 la concentración de dióxido de azufre en el aire ha presentado una tendencia a la baja. La medida que ha provocado un mayor impacto en la concentración de este contaminante es la reducción gradual del contenido de azufre en los combustibles empleados en el Valle de México, tanto para la industria como para los vehículos.

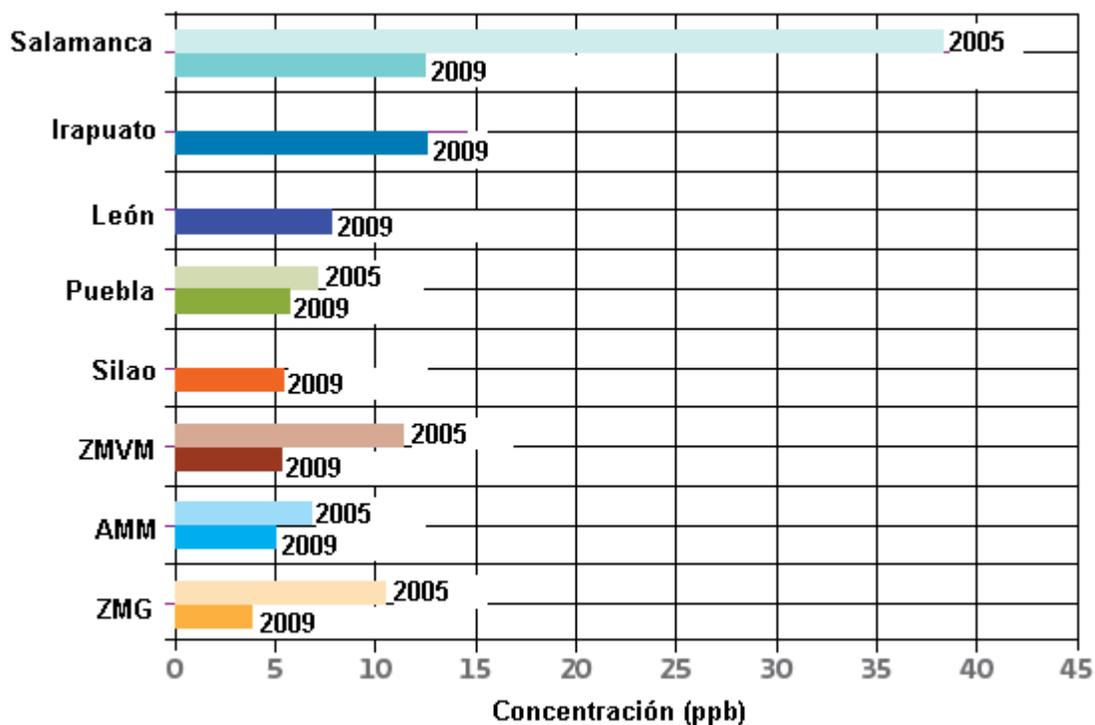


Figura 1. Exposición de la población al SO₂ (CPAPP en ppb 2005, 2009) [8]

La figura 1 muestra la exposición de la población en estas ciudades y zonas metropolitanas, en términos de la concentración promedio anual ponderada por la población (cpapp) en partes por billón (ppb).

Otro tipo de contaminantes que pueden estar presentes en ciertas atmósferas son los vapores de ácidos orgánicos de tipo alifático (fórmico, acético, propiónico, etc.), originados por degradación de algunas maderas, plásticos, gomas y pinturas, y constituyen otra fuente de corrosión atmosférica.

En atmósferas húmedas concentraciones muy bajas de estos compuestos, hasta de 0.1 partes por millón (ppm) resultan agresivas para algunos metales.

La norma UNE en ISO 14743 considera las siguientes categorías de corrosividad para ambientes atmosféricos.

Categoría de corrosividad (ambientes)		Riesgo de corrosión	Velocidad de corrosión del zinc ($\mu\text{m/año}$)
C1	Interior: seco	Muy bajo	$\leq 0,1$
C2	Interior: condensación ocasional Exterior: rural en el interior del país	Bajo	0,1 a 0,7
C3	Interior: humedad elevada, aire ligeramente contaminado Exterior: urbano en el interior del país o costero de baja salinidad	Medio	0,7 a 2
C4	Interior: piscinas, plantas químicas	Elevado	2 a 4

Tabla 1.- Categorías de ambiente, riesgo de corrosión y velocidad de corrosión (norma UNE EN ISO 14713) [9].

1.1.1 La lluvia ácida

La lluvia ácida es un fenómeno que se ha incrementado en los últimos años debido al aumento de la contaminación. La lluvia ácida se identifica cuando el pH del agua de lluvia es menor a 5.6 lo que ocasiona daños en el ecosistema en el cual se presenta. Este fenómeno se da cuando el SO_2 y los óxidos de nitrógeno reaccionan con la humedad de la atmósfera y forman ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3). Al ser ácidos fuertes acidifican de manera excesiva al agua. También el cloro, amoníaco y compuestos orgánicos volátiles pueden ocasionar lluvia ácida. Todos estos compuestos provienen de algunas fuentes naturales, pero en mayor cantidad se originan por la combustión, el calentamiento y el uso de aerosoles así como de los combustibles fósiles de las industrias y el transporte.

La lluvia ácida acelera la corrosión en materiales de construcción y pinturas, ocasionando un daño irreparable en los edificios, monumentos y esculturas que constituyen el patrimonio histórico y cultural. Los monumentos construidos con roca arenisca, piedra caliza y mármol, se corroen con mayor rapidez en presencia de ácido sulfúrico (H_2SO_4).

1.1.2 Ozono troposférico

Los factores climáticos, aunados a las partículas finas y a gases como el ácido sulfhídrico, bióxido de azufre, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno, que en ocasiones sobrepasan los estándares de calidad del aire de la región, generan ambientes agresivos que originan la corrosión.

Estas partículas contaminantes se adhieren a las superficies metálicas y se inicia el proceso de corrosión. Una vez emitidos, los contaminantes atmosféricos por fuentes exteriores como el tráfico vehicular, las plantas industriales, campos geotérmicos, la erosión del suelo y microorganismos, penetran a los interiores de la industria.

Recientemente se ha detectado un incremento notable de la concentración de ozono troposférico en Europa durante el verano en lo que se podría denominar concentración de fondo, hasta valores superiores a los que pueden afectar de manera negativa a la vegetación. Las previsiones son que este nivel de fondo seguirá incrementándose en el futuro, dado que se prevén incrementos en las emisiones de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y metano. En este sentido, ya se ha señalado que los regímenes de viento transportan estos precursores a gran distancia, formándose finalmente ozono en regiones alejadas de aquellas en que fueron emitidos; también el propio ozono se transporta de esta manera. Estas corrientes discurren tanto a nivel europeo -en sentido noroeste-sur del continente- como desde el noreste de América hacia Europa y desde aquí hacia Asia, donde los niveles de contaminantes se sumarían a los generados en diferentes áreas industriales de este continente. Es, por lo tanto, un problema global que exige soluciones globales. [10].

El smog o neblina tóxica, en general, se forma en la parte inferior de la troposfera y está compuesto fundamentalmente por ozono, pero también por otros oxidantes agresivos. Causa daños tanto sobre la salud como en la vegetación -en particular en las cosechas- y en diversos materiales. Este último aspecto ha originado interés recientemente. Así, se ha señalado que la corrosión de diversos materiales de construcción -pero también de cauchos, diferentes revestimientos y materias textiles- se debe en gran medida al dióxido de azufre presente en la atmósfera y a los compuestos derivados. No obstante, se dan fenómenos sinérgicos entre dicho compuesto, los óxidos de nitrógeno y el ozono; es decir, que el efecto global debido a la presencia de los tres compuestos y, en su caso, de los originados por diversas reacciones, es muy superior a la suma de los efectos que cada uno de ellos origina de forma individual. Se ha estimado que el coste por daños en materiales podría llegar a ser de 1500 €/Tm emitida de dióxido de azufre.

Se observan fenómenos de neblinas locales, debidos a la coincidencia de estabilidad atmosférica, con ausencia de vientos y presencia de cielos despejados; la ausencia de viento permite un incremento de la concentración de contaminantes primarios, fundamentalmente óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles y la radiación solar aporta la energía para las diversas reacciones fotoquímicas que originan los distintos oxidantes.

Este tipo de episodios son más frecuentes en verano, estación en la que la concentración de ozono es mucho más elevada que en el resto del año, debido a la presencia de precursores -que,

fundamentalmente, son emitidos por vehículos de transporte- pero pueden ocurrir también en invierno, con ocasión de inversiones térmicas. Además, el fenómeno se complica y magnifica con la presencia de partículas líquidas de ácidos, principalmente sulfúrico y, en menor medida, nítrico.

En contraste con el efecto provocado en los materiales orgánicos, el ozono por sí solo tiene poca capacidad de afectar a los materiales inorgánicos. Sin embargo, en presencia de dióxido de azufre el ozono acelera el proceso de corrosión. En este caso, el impacto del ozono en metales o materiales de construcción es básicamente el resultado de una sinergia con el dióxido de azufre. La corrosión de metales se ve acelerada en la presencia de ozono y dióxido de azufre. El ozono por si solo parece tener poco efecto en la corrosión de los metales.

El mecanismo por el cual se produce la sinergia es que el ozono reacciona con los enlaces débiles del azufre en la superficie del metal. La formación del sulfato crea una disolución electrolítica que tiene un poder corrosivo en la superficie oxidada protectora del metal, exponiendo el metal sobre la capa a la acción de la corrosión.

Los materiales de construcción como el mármol, caliza, ladrillo hormigón y grava también se ven afectados por la sinergia que existe entre el ozono y el dióxido de azufre. El ozono se comporta como oxidante que transforma el dióxido de azufre en sulfato, el cual reacciona con el hidróxido de calcio o el carbonato de calcio formando yeso que cristaliza en los poros del material de construcción.

El ozono tiene un efecto sinérgico con otros parámetros atmosféricos tales como temperatura, radiación solar y humedad. [11]

El aumento de temperatura generado por el efecto invernadero es un factor clave en el proceso de la corrosión ya que genera cambios climáticos fuertes que alteran el medio tanto ácido como salino al causar también una mayor evaporación del agua de mar, lo que genera una mayor salinidad y humedad relativa en el medio ambiente por lo que estos compuestos se van depositando en las estructuras y materiales dañándolas más rápido.

1.2 Recubrimientos

Un recubrimiento o pintura líquida es una mezcla heterogénea de productos que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua sin pegajosidad y con las características para las que ha sido concebida.

La composición genérica de una pintura es la siguiente, aun cuando algunos tipos pueden no contener todos los ingredientes:

- Pigmentos.
- Cargas (no es imperativo).
- Ligante o resina.
- Disolvente (no es imperativo).
- Aditivos. corrosión.

En el listado anterior se han indicado no imperativos en algunos productos. La razón está en que existen recubrimientos en los cuales no se utilizan cargas, disolventes o ninguno de los dos. Los pigmentos: son compuestos orgánicos o inorgánicos cuya misión es proporcionar a la pintura color y poder de cubrición. Los pigmentos son opacos tanto en estado seco como húmedo.

Las cargas son, en general, de naturaleza inorgánica; aportan cuerpo, materia sólida, y dan estructura, viscosidad y reología a la pintura. Las cargas son opacas cuando están secas pero son translúcidas en estado húmedo. corrosión.

Las resinas o ligantes son productos cuya misión es la de mantener unidas las partículas sólidas, pigmentos y cargas, una vez la pintura está seca. Según el tipo de resina utilizada la pintura tendrá unas características de secado y resistencias determinadas. La terminología en el campo de las pinturas y recubrimientos es variada y por ello no debe extrañarnos encontrar indistintamente los términos resina, ligante, polímero, etc.

Los disolventes son el agua y otros productos de naturaleza orgánica cuya misión es la de dar a la pintura una viscosidad óptima según el método de aplicación que debe utilizarse. Los disolventes se utilizan además para solubilizar las resinas y regular la velocidad de evaporación. La utilización de disolventes que no disuelven al ligante es frecuente en la formulación de pinturas. En este caso se les nombra como co-solventes.[12]

Los aditivos son productos que se dosifican en pequeñas cantidades para facilitar el proceso de fabricación de la pintura, aportar unas características concretas a la pintura seca, crear las condiciones adecuadas para que el secado se produzca de forma correcta y para estabilizar la pintura en el periodo de almacenamiento.

Un recubrimiento es un material que es depositado sobre la superficie de un objeto, usualmente llamado sustrato.

El recubrimiento tiene la función de mejorar ciertas propiedades del sustrato como la adhesión y de proteger al sustrato de la corrosión atmosférica natural y de la contaminación atmosférica. Los metales son seleccionados por sus propiedades mecánicas y su bajo precio para maquinarlos.,

además, deben ser resistentes a la corrosión. Es raro que se encuentren metales que cumplan con estas características. Es en este punto donde entran los recubrimientos, una buena elección de un recubrimiento permite proteger al metal de los ataques causados por la corrosión y el medio al que se encuentre expuesto.

Debido a sus características y a su función, los recubrimientos se dividen en tres categorías:

Clasificación	Función	Espesor
Pintura	Estética	50 μm
Recubrimiento	Protección anticorrosiva	50-1000 μm
Revestimiento	Protección anticorrosiva en ambientes muy agresivos y erosivos	>1000 μm

Tabla 2.- Clasificación de los recubrimientos

Debido a sus propiedades químicas existen diversas clases de recubrimientos:

Orgánicos	Inorgánicos	Por conversión	Metálicos
Alquitranes	Silicatos	Anodizado	Galvanizado
Fenólicos	Cerámicos	Fosfatado	Deposición en vacío
Vinílicos	Vidrio	Cromatado	Electroplating
Acrílicos		Molibdenatado	Difusión
Epóxicos			
Alquílicos			
Uretanos			

Tabla 3.- Tipos de recubrimientos.

1.2.1 Recubrimientos orgánicos

Los recubrimientos orgánicos son polímeros y resinas producidas en forma natural o sintética, generalmente formulados para aplicarse como líquidos que se secan o endurecen como películas de superficies delgadas en materiales del sustrato. Estos recubrimientos se aprecian por la variedad de colores y texturas posibles.

Los recubrimientos orgánicos proporcionan una protección de barrera formada por la corrosión de los pigmentos; las propiedades de la barrera se ven limitadas por la permeabilidad de esta con el agua y el oxígeno. Es muy habitual la combinación de zinc laminar con un recubrimiento orgánico

posterior, ya que ofrece diversos acabados de excelente resistencia a la corrosión, tanto en ambientes salinos como a la lluvia ácida, etc.

El proceso de corrosión debajo del recubrimiento orgánico es muy similar al del sustrato sin recubrimiento. En las primeras etapas de la corrosión, pequeñas cantidades de líquido están presentes causando un pH elevado. El proceso de corrosión ocurre de la siguiente manera:

- 1.- La migración de iones provenientes del agua a través del recubrimiento.
- 2.- Formación de fases acuosas en la interfaz del sustrato recubrimiento.
- 3.- Activación de la superficie del sustrato para las reacciones anódicas y catódicas.
- 4.- Deterioro de la superficie y la interfaz del sustrato.

1.2.1.1 Recubrimientos alquidáticos

Es un recubrimiento económico, con buena retención de brillo y resistencia a medios ambientes secos o húmedos sin salinidad o gases corrosivos; presenta buena adherencia, poder de humectación y tolera cierto grado de impurezas en la superficie por lo que con frecuencia es suficiente con una limpieza manual. Se ca por evaporación de solventes e interacción con el aire.

Sus limitaciones están representadas por su baja resistencia a solventes fuertes como aromáticos, éter, cetonas y compuestos solventes alifáticos, como gasolinas, gas nafta, etc. No es recomendable para una inmersión continua; su resistencia química es regular y especialmente mala en condiciones alcalinas ante las cuales se saponifica y destruye. No resiste productos alcalinos de la corrosión por lo que una vez iniciada la corrosión interpelicular disminuye su adherencia. Por idénticos motivos, no se recomienda la aplicación de un alquidático sobre concreto, galvanizado o inorgánico de zinc. No se recomienda para exposiciones superiores a 60°C.[13]

1.2.1.2 Recubrimientos vinílicos

Son recubrimientos no tóxicos, resistentes a la abrasión que pueden ser utilizados en la protección de superficies metálicas y resistentes a la inmersión continua en agua dulce o salada; resisten soluciones diluidas de la mayor parte de los ácidos orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácido clorhídrico (HCl), ácido nítrico (HNO₃), ácido fosfórico (H₃PO₄), ácido sulfúrico (H₂SO₄) y no son afectados por derivados del petróleo tales como gasolina, diesel, petróleo crudo, etc.

Proporcionan una superficie semibrillante, con alta resistencia a la intemperie aun altamente húmeda y corrosiva. Entre sus limitaciones principales se tiene su baja resistencia a éteres, cetonas, inmersión en hidrocarburos clorados o solventes con más de 30% de aromáticos. Con el

tiempo es afectado por los rayos del sol, presentando un caléo superficial. Se ca por evaporación de solventes. No se recomienda para exposiciones superiores a 55 °C.

1.2.1.3 Recubrimientos epóxicos

En términos generales el nivel de adherencia, dureza, flexibilidad y resistencia a los medios corrosivos de los recubrimientos epóxicos no han sido superados por ningún otro tipo de los recubrimientos actuales. Puede aplicarse sobre superficies de concreto, metálicas, galvanizadas o inorgánicas de zinc; presenta una excepcional resistencia a medios alcalinos y buena resistencia a los medios ácidos; soporta salpicaduras, escurrimientos e inmersiones continuas de la mayoría de los hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, etc.

Presenta un alto grado de impermeabilidad permaneciendo inalterable ante la exposición o inmersión en agua dulce, salada y vapor de agua. Estas características no las adquiere por sí solo, requiere de un agente de polimerización o entrecruzamiento denominado catalizador, el cual usualmente está constituido por una solución de resinas amínicas.

Su principal limitación considera la formación de un caléo superficial sin menoscabo a sus propiedades de película, así como su alto costo relativo; además, a largo plazo tiende a fragilizarse. A corto plazo alcanza a desarrollar una superficie lisa y muy continua, la cual puede presentar problemas de adherencia durante el repintado o mantenimiento.

1.2.1.3.1 Recubrimientos epoxy-alquitrán de la hulla

Este recubrimiento se ha desarrollado específicamente para resolver problemas de inmersión continua en agua salada por muy largo tiempo y en el cual se combina la alta resistencia y características de un recubrimiento epóxico con la alta impermeabilidad del alquitrán de hulla; no obstante, su resistencia a los solventes es afectada por lo que no se recomienda una inmersión continua a los mismos; además por influencia del alquitrán de hulla, el recubrimiento tiende a cuartearse y calearse cuando se expone por largo tiempo a la acción de los rayos del sol.

1.2.1.4 Recubrimientos acrílicos

Son diluibles en agua y tienen características de “membrana líquida”. Aplicados en el espesor recomendado, una vez secos forman una película de gran elasticidad, alta resistencia mecánica y a los factores climáticos, que impermeabilizan el sustrato por aproximadamente 10 años (de no mediar factores ajenos al producto que deterioren las condiciones iniciales). Por su mayor volumen de sólidos permiten el máximo aprovechamiento de la mano de obra.

Los recubrimientos acrílicos son una clase de pintura que contiene un material plastificado, pintura de secado rápido, en la que los pigmentos están contenidos en una emulsión de un polímero acrílico. Aunque son solubles en agua, una vez secas son resistentes a la misma. Destaca especialmente por la rapidez del secado. Asimismo, al secar se modifica ligeramente el tono, más que en el óleo.

Los revestimientos acrílicos son la más reciente generación de revestimientos. Su bajo costo, alta resistencia, velocidad de aplicación, fácil mantenimiento, y versatilidad de colores, le ha hecho una herramienta excelente para el tratamiento de fachadas. Son numerosas las ventajas de su uso; es aislante térmico y acústico, protege de la humedad de condensación, no es combustible y fácil de aplicar.

1.2.1.4.1 Recubrimientos vinil-acrílicos

Es un recubrimiento que combina la alta resistencia química y la abrasión de los vinílicos, con la excepcional resistencia al intemperismo y rayos del sol de las resinas acrílicas; su poder de retención del brillo y color es superior a cualquiera de los recubrimientos desarrollados a la fecha, por lo que, además de ser resistente a medios salinos, ácidos y alcalinos, dando lugar a una alta eficiencia de protección contra la corrosión, presenta características decorativas.

La presencia de la resina acrílica disminuye la resistencia a los solventes de tipo aromático, cetonas, ésteres y alifáticos por lo que no se recomienda para inmersión continua.

1.2.1.5 Recubrimientos fenólicos

Es un recubrimiento duro, brillante y muy adherente; en términos generales su resistencia a los solventes, medios ácidos y alcalinos, es moderada, por lo que no se recomienda para inmersiones continuas. En general su eficiencia de protección es ligeramente mayor a la de los alquidálicos. Si el recubrimiento es horneado su resistencia a los solventes y al agua se incremento considerablemente, llegando a soportar la inmersión en los mismos.

1.2.1.6 Recubrimientos uretanos

Proporcionan una variedad de soluciones económicas para asegurar años sin preocuparse por mantenimiento. El recubrimiento de uretano líquido forma una barrera protectora sellada contra filtraciones e intrusión de humedad. Los sistemas de recubrimientos de poliuretano son los sistemas a elegir cuando un alto desempeño es requerido en cuanto a fuerzas de compresión a la abrasión.

Los recubrimientos de poliuretano están disponibles para aplicaciones interiores y exteriores. Óptima fuerza de tensión y propiedades de elongación permiten la expansión y contracción en condiciones de congelamiento y descongelamiento, proporcionando a la vez relleno de grietas y aberturas.[14].

1.2.2 Recubrimientos inorgánicos

Los recubrimientos no metálicos inorgánicos incluyen porcelanas, tintas de cemento y silicatos, recubrimientos vítreos y otros cerámicos resistentes a la corrosión. Al igual que los recubrimientos orgánicos, los inorgánicos se utilizan para aplicaciones en corrosión como recubrimientos de barrera ya que estos pueden contener inhibidores. Estos recubrimientos proporcionan acabados tersos y duraderos. Aunque si se expone a un lugar anódico se experimenta una corrosión rápida haciéndola fácil de localizarla.

1.2.2.1 Recubrimientos de silicato

Es un recubrimiento inorgánico de estructura mineral, altamente resistente a la luz y a los agentes atmosféricos y con una gran permeabilidad al vapor de agua. La alta estabilidad térmica de la resina permite la utilización de este tipo de recubrimientos hasta unos 750 °C, la película del recubrimiento resultante es resistente a la intemperie y a atmósferas contaminadas. Petrifica con los sustratos de naturaleza mineral formando un recubrimiento de gran adherencia.

Entre sus propiedades cabe destacar:

- Resistente a la luz y a la radiación U.V.
- No forma película sino que envuelve al sustrato y si éste es mineral lo petrifica en un proceso denominado "silicificación".
- Alta permeabilidad al vapor de agua pero repelente del agua líquida. No es lavable (no presenta resistencia al frotado húmedo) hasta que se completa el proceso de silicificación.
- Recubrimiento no termoplástico. Esto hace que la suciedad se adhiera mal sobre él y sea arrastrada fácilmente por el agua de la lluvia (autolavado).
- Debido a su elevado pH tiene efecto biocida (antimoho).
- Es un recubrimiento ecológico libre de compuestos orgánicos volátiles. Incombustible (no arde).

1.2.2.2 Recubrimientos antivegetativos

Son recubrimientos desarrollados para prevenir el crecimiento de organismos marinos en superficies sumergidas por largos periodos. En su formulación se incluyen resinas vinílicas, brea, cobre o tóxicos órgano-metálicos que permiten esta acción de inhibición. Este recubrimiento

requiere una formulación cuidadosa a fin de que el tóxico abandone el recubrimiento pausadamente en cantidad suficiente para inhibir el crecimiento de organismos marinos.

1.2.2.3 Recubrimientos de zinc inorgánicos

En cierta forma este recubrimiento es un galvanizado en frío, en el cual la película es formada por la aplicación de una mezcla homogénea de polvo de zinc y una solución acuosa de silicato orgánico o inorgánico; la eliminación de agua y solventes e interacción de los componentes antes mencionados permite obtener una película de silicato de zinc con oclusiones de zinc en polvo, por lo que finalmente su naturaleza es inorgánico. El mecanismo de protección de este recubrimiento difiere del correspondiente a los recubrimientos mencionados anteriormente; en lugar de presentar una barrera impermeable al medio corrosivo. Se antepone a este una película de zinc con alta conductividad eléctrica capaz de sacrificarse anódicamente para proteger el Acero, es decir, lo protege a partir del principio de la protección catódica.

Dado que el espesor de la película y por lo tanto la cantidad de material disponible para el sacrificio es pequeña (2 a 2.5 mils. de pulgada) es necesario recubrirlo posteriormente con un acabado de tipo epóxico o vinil-epóxico a fin de que la película de inorgánico de zinc o protección catódica solo actúe en presencia de discontinuidades, grietas o raspaduras. Es un material muy resistente a la abrasión, poco flexible, muy adherente. No se recomienda para inmersiones en ácidos o álcalis; resiste todos los solventes.

En resumen, los recubrimientos mencionados anteriormente constituyen la línea básica que Petróleos Mexicanos utiliza para la protección de sus instalaciones. No obstante, a la fecha se están llevando a cabo estudios de campo y laboratorio que permitan la inclusión de recubrimientos del tipo hule clorado y poliuretano a través de las especificaciones correspondientes.

Para efectos de protección anticorrosivos y debido a la permeabilidad natural de los recubrimientos, estos deberán aplicarse a un espesor tal que la película seca nunca sea inferior a los 6 mils. En un principio podría pensarse en cubrir este espesor en una sola formulación de un recubrimiento que incluyese la resina adecuada y un porcentaje determinado de pigmentos inhibidores; no obstante, la eficiencia en la protección contra la corrosión no depende exclusivamente de la resina y del pigmento sino también del espesor. Esta serie de factores, incluyendo como parte muy importante aspectos de tipo económico han dado lugar a la utilización de diferentes formulaciones para cubrir el espesor antes mencionado. Dependiendo de su posición estas formulaciones se denominan primario, enlace y acabado; al conjunto se le conoce como sistema; las características más relevantes de cada uno de ellos se mencionan a continuación.

1.2.2.3.1 Primario.- Son recubrimientos cuya formulación está encaminada fundamentalmente hacia la obtención de una buena adherencia con el substrato metálico, así como la de inhibir la corrosión; por lo que normalmente los contenidos de los pigmentos inhibidos son elevados (PVC

inferior a 35%). Otros requisitos adicionales, en un primario consideran presentar una superficie lo suficientemente áspera y compatible para que las siguientes capas de enlace o acabado logren una buena adherencia, además deben ser resistentes a productos de la corrosión y poseer una buena humectación. Los primarios pueden elaborarse a partir de cualquiera de las resinas mencionadas anteriormente. catódica.

1.2.2.3.2 Acabados.- Los acabados representan la capa exterior en contacto con el medio ambiente y se formulan para promover la impermeabilidad del sistema, por lo que normalmente su contenido de pigmento en volumen (PVC) es inferior al 25%. En este tipo de recubrimientos es frecuente el uso de entonadores y el contenido de pigmentos inhibidores es inferior al de un primario. Su grado de molienda es tal que su superficie ofrece un aspecto terso y/o brillante. En la elección del tipo de acabado es de capital importancia para la adherencia su compatibilidad con el tipo primario utilizado; en términos generales el uso del mismo tipo de resina en estos dos componentes del sistema asegura una buena adherencia, aun cuando hay casos como los epóxicos capaces de lograr una adherencia sino excelente cuando menos aceptable sobre otro tipo de recubrimientos.

1.2.2.3.3 Enlace.- Para ciertos casos particulares no es posible tener el mismo tipo de resina en el primario y en el acabado, presentándose problemas de incompatibilidad o de adherencia, por lo que se requiere de una capa intermedia denominada enlace capaz de adherirse tanto al primario como al acabado. Normalmente, los enlaces contienen una mezcla de resinas, parte de las cuales promueven la adherencia con el primario y el resto con el acabado. Generalmente los pigmentos inhibidores están ausentes. Con fines de identificación y control de espesores, es conveniente que el primario, enlace y acabado en un sistema, sean de diferente color, y como se mencionó anteriormente, la suma total de los espesores de estos componentes debe ser superior a las 6 mils. a fin de que sea efectivo en su protección contra la corrosión.

1.2.2.4 Recubrimientos cerámicos

Resulta interesante, para la protección de cerámicas estructurales, compuestos C-C y substratos metálicos, la obtención de recubrimientos cerámicos que a su vez protejan a aquellos de los ambientes altamente oxidantes y corrosivos, reduzcan la fricción y mejoren el desgaste de las estructuras subyacentes. En este sentido, algunos investigadores han obtenido una capa de compuesto cerámico tenaz, por la deposición de vapor químico, simultánea, de una matriz de SiC (carburo de silicio) y una fase dispersa de TiSi₂ (disiliciuro de titanio). Dicho recubrimiento resulta estar altamente densificado, no resquebrajándose por la acción del material substrato.

1.2.2.4.1 Compuestos cerámicos tenaces.-Asimismo, los investigadores han podido comprobar que, la tenacidad de los recubrimientos compuestos (compositas) se controla por su microestructura y las propiedades de la fase dispersa, además de por la diferencia de expansión

térmica (dilataciones) entre las dos fases. Al controlar la cantidad y la composición de la fase dispersa, se puede ajustar la dilatación del recubrimiento a la del sustrato.

La elección de los materiales para la fase dispersa es amplia y se están investigando metales y carburos metálicos (Ni, Cr, W y Mo) más los compuestos Si_3N_4 , TiC y TiN,

Este proceso se considera eficaz por las siguientes razones:

- No precisar de procesos de sinterización
- No existir impurezas
- Las compositas (cerámica/cerámica) se pueden fabricar a temperaturas considerablemente más bajas que con los procesos convencionales.
- Las fases gaseosas empleadas, particularmente el SiC y Si_3N_4 , son relativamente poco expansibles.

1.2.2.4.2 Composita cerámica.-Este recubrimiento (material compuesto) resulta adecuado siempre que se deseen mejorar las propiedades de resistencia al desgaste de un sustrato de acero. En la actualidad aún se sigue desarrollado para mejorar la resistencia a la erosión y abrasión de su maquinaria.

Algunos ensayos preliminares han revelado que las fundiciones, con el recubrimiento en estudio, alcanzan cuatro veces más resistencia al desgaste que el carburo de wolframio (WC) y 35 veces mayor resistencia (duración) que la de un acero templado. En estas condiciones, la referida composita encuentra su aplicación en elementos tales como, martillos, parrillas y martillos de molinos, dientes de trituradoras y cizallas, cribas rotativas, en ciertos transportadores de material abrasivo, minería en general, producción de áridos y agregados, etc.

En líneas generales, el material compuesto en cuestión se obtiene embebiendo partículas cerámicas, de composición adecuada, en aceros. Se está tratando de determinar el mejor proceso técnico a emplear, fusión, forja o laminación; asimismo, se está intentando que las partículas elegidas se embeban en amplias zonas de las piezas a tratar, con propiedades de resistencia al desgaste cualesquiera que sean las condiciones ambientales.

1.2.2.4.3 Material compuesto (sandwich) de alúmina porosa y alúmina densificada.- Buscando un procedimiento de reducción del peso de las cerámicas, sin sacrificar su resistencia, se está investigando sobre un M.C. (sandwich) constituido por un núcleo de alúmina (Al_2O_3) porosa y dos "placas" de alúmina densificada (compacta). La técnica empleada para obtener materiales porosos resistentes consiste en hacer los poros lo más pequeños y esféricos posible, aislarlos unos de otros en el interior de la matriz y mantenerlos alejados de la superficie del material.

Para dicho material, la combinación óptima de peso y resistencia a la flexión, 4.900 kg/cm², se consigue con el 10% de volumen poroso (porosidad), la misma resistencia a la flexión que la de la alúmina completamente densificada.

Cuando la porosidad de la alúmina supera el 10%, la resistencia de dicho material decae rápidamente. La tecnología actual puede producir cerámicas de hasta el 40% de porosidad.

El tamaño del poro, su forma y distribución debe controlarse por medio de las propiedades de superficie, durante la producción del material la cual se inicia con dos suspensiones acuosas; la primera, utilizada para originar la superficie de la alúmina densificada, consiste en una suspensión de partículas alfa-Al₂O₃ con carga negativa, obtenida por el ajuste del pH. La segunda suspensión contiene las mismas partículas de alfa-Al₂O₃ a las que se añaden pequeñas esferas de poliestireno, ambas cargadas negativamente. La negatividad de las cargas realiza la lenta distribución de las partículas a través de la suspensión.

Cada una de las suspensiones citadas se consolidan en un molde después de la evaporación del agua. La carga de las esferillas las mantiene uniforme y homogéneamente distribuidas en el centro de la capa del material sandwich.

Cuando se calienta la cerámica así constituida, las esferas de poliestireno se queman y escapan en forma de vapor.

Algunas aplicaciones del material sandwich de alúmina porosa son; en aeronáutica: aislador de la radiación de alta frecuencia, en las bolsas de aire. Se usa también para implantaciones dentales y óseas (de estructuras similares, es decir, duras exteriormente y porosas interiormente).

Las cerámicas muy porosas pueden utilizarse como filtros. Los investigadores del material en estudio están trabajando para hacer descender todavía más el peso del mismo, por aumento de la porosidad y reducción del espesor de las capas externas.

Asimismo, se estima que dicha tecnología podría aplicarse a otras cerámicas tales como, carburo de silicio, carburo de boro, nitruro de silicio y mullita.

1.2.2.5 Recubrimientos de vidrio

Los recubrimientos de vidrio forman delgadas zonas con los óxidos metálicos, para esto, el vidrio debe adherirse en forma de película fina. El término película fina no tiene una definición precisa, en general, se refiere a películas cuyo espesor va de 0.1 μm hasta unos 300 μm, y normalmente no se aplica a recubrimientos como pinturas o barnices, que suelen ser mucho más gruesos. Para que una película fina sea útil, debe poseer todas o casi todas las propiedades siguientes:

- Debe ser químicamente estable en el entorno en el que se usará;

- Adherirse bien a la superficie que cubre (el sustrato);
- Tener un espesor uniforme;
- Tener una baja densidad de imperfecciones.

Además de estas características generales, podrían requerirse propiedades especiales para ciertas aplicaciones. Por ejemplo, la película puede ser aislante o semiconductor, o poseer propiedades ópticas o magnéticas especiales.

Una película fina se debe adherir al sustrato subyacente para que pueda ser útil. Dado que la película es inherentemente frágil, debe depender del sustrato para su apoyo estructural. A fin de lograr tal apoyo, la película debe estar unida al sustrato por fuerzas intensas. Las fuerzas de unión pueden ser de naturaleza química; es decir, una reacción química en la superficie puede conectar la película al material subyacente. Por ejemplo, cuando un óxido metálico se deposita en vidrio, las redes del óxido metálico y del vidrio se combinan en la interfaz para formar una zona delgada de composición intermedia. En estos casos las energías de enlace entre la película y el sustrato son de la misma magnitud que los enlaces químicos, del orden de 250 a 400 kJ / mol.

Sin embargo, en algunos casos, la unión entre la película y el sustrato se basa únicamente en fuerzas intermoleculares de van der Waals y electrostáticas, como por ejemplo cuando una película de un polímero orgánico se deposita en una superficie metálica. Las energías que unen la película al sustrato en tales casos podrían ser del orden de 50 a 100 kJ / mol. Por ello, las películas en las que sólo hay enlaces de este tipo no son tan robustas.

1.2.2.6 Recubrimiento por conversión

Los recubrimientos por conversión son recubrimientos para metales, en los cuales una parte de la superficie del metal es convertida en una capa de recubrimiento mediante un proceso químico o electroquímico.

Algunos ejemplos son recubrimientos mediante conversión de cromato, recubrimientos mediante conversión de fosfato, recubrimientos de acero como ser pavonado, óxido negro, y anodizado. Estos recubrimientos son utilizados para proveer a la superficie del metal protección contra la corrosión, aumentar el grado de dureza de la superficie, para agregar color y como base para acabado con pintura. Los recubrimientos mediante conversión pueden ser sumamente delgados, del orden de 0.0001mm. Recubrimientos gruesos de hasta 0.05 mm, se realizan en aleaciones de aluminio usando conversión mediante anodizado o cromato.[15]

1.2.2.6.1 Anodizado: El anodizado es un proceso electroquímico, desarrollado hace 50 años, en el cual se logra formar una capa protectora de óxido de aluminio (alúmina) sobre la superficie del

aluminio base. La vida útil de este acabado es proporcional al espesor de la capa anódica obtenida.

El óxido de aluminio es duro, estable y resistente a los agentes corrosivos del medio ambiente, de ahí, su condición de protector del metal base.

La capa crece desde el aluminio debido al proceso electroquímico, o sea, que está integrada al metal, por lo que no puede ser escamada o pelada.

Como la estructura cristalina de la capa está formada por muchos poros hexagonales muy pequeños, la podemos colorear utilizando el proceso de electro-coloración, que consiste en depositar iones metálicos dentro de los mismos. Se obtienen distintas tonalidades según el metal utilizado y la cantidad depositada dentro de los poros, dado que estos factores influyen sobre la difracción de la luz a través de la capa de aluminio anodizado. Finalmente los poros se sellan llenándose de hidróxido de aluminio inerte, al hidrolizarse la alúmina.

El desempeño de cualquier recubrimiento orgánico (líquido o en polvo) depende del pretratamiento, las resinas y los pigmentos utilizados.

Cuando se recubre aluminio, el pretratamiento es de primordial importancia. Esto es lo que obliga a que los recubrimientos orgánicos sean aplicados en las fábricas que cuentan con las instalaciones adecuadas.

Las resinas son a menudo el eslabón débil de la cadena. Algunas resinas tales como las PVDF (polivinil difloruro) han demostrado una alta resistencia a las exigencias del medio ambiente, mientras que las resinas epóxicas solo pueden usarse en interiores.

Hay una variedad de resinas aptas para el uso en arquitectura tales como: uretanos, poliuretanos, uretanos alifáticos, poliésteres, poliésteres siliconados, poliéster TGIC 8 (TGIC 8 se usa para entrecruzar las cadenas del poliéster siendo su composición química triglicido isocianuro), PVDF, etc.

Sólo algunos de estos recubrimientos durarán inalterables por más de cinco años cuando son usados en construcción de arquitectura que están en contacto con el medio ambiente.

1.2.2.6.2 Recubrimiento fosfatado.-Consiste en la deposición química de una capa no metálica de fosfatos de Zinc sobre piezas metálicas. Presenta un aspecto de color gris oscuro-negro, con una textura superficial uniforme en la que se aprecian una serie de capilaridades o micro-

cavidades, que tienen la propiedad de facilitar la fijación de aceites, lacas o pinturas, que aumentan su resistencia a la corrosión, escasa sin estos tratamientos posteriores.

Se utiliza principalmente como anclaje para posteriores tratamientos, en general de pintura y otros recubrimientos orgánicos a los que aumenta en gran medida su resistencia a la corrosión o, acompañado de un aceitado posterior, como protección media de las piezas contra la oxidación.

1.2.2.6.3 Recubrimiento cromatizado.- Debido a las dificultades de la metalurgia de cromo cuando es necesario aplicarlo se emplean básicamente el recubrimiento electrolítico. Este procedimiento realizado con cromo es extensivamente usado en la industria para proteger metales de la corrosión y mejorar su aspecto. También se emplea para restaurar piezas metálicas o conseguir superficies muy duraderas y con bajo coeficiente de rozamiento (cromo duro).

El llamado cromo duro son depósitos electrolíticos de espesores relativamente grandes (0,1 mm) que se depositan en piezas que deben soportar grandes esfuerzos de desgaste. Se realizan este tipo de depósitos especialmente en asientos de válvulas, cigüeñales, ejes de pistones y en general en lugares donde se requiera bastante precisión. Por ello antes de que exista una rotura grave se reponen las partes de metal perdidas mediante cromo electrolítico. Generalmente la capa de cromo depositada no es totalmente uniforme por lo cual se da espesor mayor del necesario y después se rectifican las piezas para conseguir las dimensiones y acabado adecuados.

1.2.2.6.4.- Recubrimiento molibdenatado.-Es importante en la fabricación de pintura de relleno, finura y distribución de las partículas de la transparencia de la decisión de la pintura. Además, el polvo de molibdeno y buena resistencia a la intemperie, use el contenido resistente, de bajo de electrolitos, el efecto estabilizador del pH, puede mejorar la resistencia a la corrosión y la reología de la capa y otras características importantes polvo de molibdeno en la pintura a base de agua también es muy importante la serie, puede mejorar el rendimiento de secado rápido, cruzó la carretera tiene un significado importante. Además, el uso de polvo de molibdeno en la pintura puede reducir la cantidad de dióxido de titanio, a partir de las consideraciones económicas son favorables.

Es un aditivo ampliamente benéfico. Previene la corrosión de muchos metales y actúa sinérgicamente con fosfatos y silicatos para prevenir la corrosión en otros. El molibdato también parece prevenir la cavitación; se lo selecciona usualmente para tener esta función en refrigerante sin fosfatos. Concentraciones típicas son de 2 a 3 gr. / lt.

1.2.2.7 Recubrimientos por metalización.- la metalización es un proceso metalúrgico para añadir a un cuerpo metálico capas de metales a manera de recubrimiento, con el propósito de crear en él propiedades de resistencia a la corrosión mejores que los de un metal uniforme.

Mediante el proceso de termorrociado o metalización se recubre la superficie a tratar con una capa metálica que puede ser de zinc, aluminio, aleación de zinc - aluminio y otros metales.

1.2.2.8 recubrimiento galvanizado.- La función del galvanizado es proteger la superficie del metal sobre el cual se realiza el proceso. El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre hierro(Fe); ya que, al ser el zinc más oxidable, menos noble, que el hierro y generar un óxido estable, protege al hierro de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire. Se usa de modo general en tuberías para la conducción de agua cuya temperatura no sobrepase los 60°C ya que entonces se invierte la polaridad del zinc respecto del acero del tubo y este se corroe en vez de estar protegido por el zinc. Para evitar la corrosión en general es fundamental evitar el contacto entre materiales disímiles, con distinto potencial de oxidación, que puedan provocar problemas de corrosión galvánica por el hecho de su combinación. Puede ocurrir que cualquiera de ambos materiales sea adecuado para un galvanizado potencial con otros materiales y sin embargo su combinación sea inadecuada, provocando corrosión, por el distinto potencial de oxidación comentado.

La galvanización es realizada a base de zinc. Aplicado sobre el acero el zinc forma una capa de protección en la superficie. La acidez de los suelos además de la atmósfera salina o los tratamientos químicos son factores que atacan la superficie del acero. El zinc juega entonces un papel protector « sacrificándose », permitiendo así de evitar el apareamiento del óxido de hierro. La galvanización es entonces una seguridad suplementaria que aumenta el tiempo de vida ya importante de un poste de viñedo.

1.2.2.9 Recubrimiento por deposición en vacío.- La deposición al vacío describe un grupo de procesos que tienen por objeto establecer las partículas individuales, específicamente los átomos y moléculas, sobre una superficie. Los procesos se llevan a cabo en el vacío para evitar cualquier interferencia o reacción con partículas de gas como el oxígeno, que puede ser muy reactiva. Una capa muy fina de una sustancia que se aplica a una superficie se conoce como película, mientras que a una capa más gruesa se denomina capa. La deposición al vacío puede servir a muchos propósitos diferentes, tales como el depósito de capas conductoras a las superficies o la protección de los metales de la corrosión. El proceso también se usa a menudo en varias partes de automóviles para diversos fines, tales como la prevención de la oxidación y la corrosión.

Los métodos más utilizados de la deposición al vacío implican el uso de vapor. A veces, la sustancia que se deposita en la superficie se evapora, se condensa más tarde como una capa en la superficie. En otros casos, la sustancia o sustancias vaporizadas reaccionan con la superficie para formar la película que desee o de recubrimiento. En algunos casos, otros factores como la temperatura o la densidad de vapor deben ser manipulados para obtener los resultados deseados. Estos factores pueden influir en el espesor y la cohesión de la capa, por lo que es esencial que se regule correctamente.

La deposición al vacío es una familia de procesos utilizados para depositar capas, átomo por átomo o molécula-molécula en sub-presión atmosférica(vacío) en una superficie sólida. Las capas pueden ser tan delgadas como un átomo a milímetros de grosor (estructuras independientes). Puede haber varias capas de diferentes materiales (por ejemplo, revestimientos ópticos). Un grosor de menos de un micrómetro es generalmente llamado de la película fina , mientras que un espesor de más de un micrómetro se llama una capa.

1.2.2.10 Recubrimiento por electroplating (galvanoplastia).- el proceso puede resumirse como el traslado en forma de iones metálicos desde un ánodo (carga positiva) a un cátodo (carga negativa) a través de un medio líquido (electrolito), compuesto fundamentalmente por sales, como resultado de aplicar una corriente eléctrica en un dispositivo o reactor que constituye un circuito eléctrico.

La electrodeposición de un metal sobre una superficie es para mejorar sus características. Con ello se consigue proporcionar dureza, duración, o ambas.

El operar seguramente y bajo control cualquier proceso que implica cambios en la composición y en la forma, de la materia, como es el caso de los depósitos mediante corriente eléctrica depende de la medida y del conocimiento de ciertas condiciones de operación, tales como la composición, densidad o la temperatura de las soluciones; la capacidad de los tanques, la densidad de la corriente, la diferencia de potencial empleada; y también podemos mencionar el espesor del metal depositado.

En todas estas características se basan los procesos de galvanostegia y galvanoplastia. Básicamente la diferencia consiste que en la galvanostegia se realizan recubrimientos metálicos electrolíticos sobre otro metal distinto tales como plateados, cromados niquelados; con el fin de evitar la corrosión. En cambio, mediante la galvanoplastia se obtienen piezas metálicas mediante procesos electrolíticos sobre moldes vaciados de cera o plástico que se hacen conductores mediante polvo de grafito y se sitúan de cátodo de la cuba.

1.2.2.11 Galvanostegia.- procedimiento de recubrir por electrolisis la superficie de un objeto, generalmente metálico, de una capa de otro metal. La preparación del objeto comprende el desengrasado, lavado y limpieza del mismo, antes de introducirlo en el baño electrolítico. La corriente empleada en esta operación debe ser continua. Con esto se consigue darle un aspecto más bello, mayor resistencia mecánica y protección contra la corrosión atmosférica o de determinadas sustancias.

La Galvanostegia comprende el dorado, plateado, niquelado, cobreado, cromatizado, etc.

1.2.2.12 Recubrimiento metalizado por difusión:- los recubrimientos por difusión son una manera efectiva y de bajo coste para modificar la superficie de metales y aleaciones, que se usa para mejorar las propiedades de desgaste, corrosión y oxidación. Existe una variedad de métodos, tal como cementación en paquete, Deposición Química de Vapor y Deposición Química de Vapor en lecho fluidizado que se pueden utilizar para aplicar los recubrimientos por difusión. En el GTP se están desarrollando nuevos tratamientos termoquímicos multielementales por difusión para proteger aleaciones ferrosas y no ferrosas contra la corrosión, oxidación y desgaste a temperatura ambiental y también a altas temperaturas. Entre estos tratamientos se menciona el boroaluminizado para proteger los aceros contra la oxidación a altas temperaturas y la boronización/ boronitruración para mejorar las propiedades de desgaste de titanio.

También se está estudiando realización de tratamientos superficiales por difusión en materiales metálicos o compuestos de matriz metálica fabricados por pulvimetalurgia. Los materiales fabricados por pulvimetalurgia presentan características microestructurales que son diferentes a los de los materiales fabricados con otros métodos tales como rugosidad y porosidad superficial, y tamaño de grano y densidad de defectos, y dichas diferencias influirán en el proceso de tratamiento superficial, por lo cual existe un gran interés científico para investigar este proceso.

1.2.2.12.1.-Tratamientos termoquímicos de difusión.-los tratamientos termoquímicos de difusión, también conocidos como cementación, consisten en colocar las piezas de acero a tratar en una mezcla de polvo metálico y de enlazante (cemento) en un recinto a alta temperatura. El metal protector (recubrimiento) se difunde superficialmente en el metal base y forma una capa eficaz contra la corrosión. Los metales corrientemente aplicados por este método son el cinc (sherardización) y el aluminio.

1.2.2.12.2.-Placado.- después de un tratamiento superficial especial, la lámina del metal para aplicar y el metal base se someten a un proceso de colaminación en caliente, obteniéndose al final lámina de acero recubierta del metal aplicado. Este proceso puede efectuarse sobre una o las dos caras de la lámina del acero. El acero inoxidable, níquel, monel y el cobre se aplican comúnmente por esta técnica.

1.2.2.12.3.-Difusión.- para atribuir a la capa superficial del metal gran resistencia a la formación de óxidos, dureza y resistencia al desgaste se aplica la saturación de la capa superficial con distintos metales (aluminio, cromo, silicio). El tratamiento termoquímico se denomina también recubrimiento por cementación.

1.2.2.12.4.- Pulverización.- consiste en que la superficie del metal, previamente limpiada, se pulveriza con metal fundido con ayuda de aire comprimido (pulverizador). Este recubrimiento

resulta poroso y por ésta razón disminuye la calidad con respecto al galvanizado. Los materiales de recubrimiento son de zinc, cadmio y sus aleaciones. [16]

1.2.2.13 RECUBRIMIENTOS NO METÁLICOS

Es el tipo de producción más difundido en el cual la superficie del metal es tratada mediante pinturas. Su tecnología es simple y muy accesible teniendo como desventaja el cuarteo de la capa protectora dejando pasar la humedad. La protección se verifica de acuerdo a los siguientes mecanismos:

- Efecto barrera. La película protectora tiene muy baja difusibilidad del agua y del oxígeno.
- Protección galvánica: Pigmentos que actúan como ánodos de sacrificio.
- Protección química: Pigmentos que se vinculan químicamente al hierro.
- Mixta: Es una combinación de las anteriores.

1.3 Pinturas

Las pinturas se pueden clasificar de diversas formas en función del tipo de ligante o resina, de la aplicación a que van destinadas, etc. En nuestro caso lo haremos en cinco grupos correspondientes a los mercados que abastecen, sin entrar en los recubrimientos de aplicación por electroforesis, ya que consideramos este tipo de productos una especialidad que conllevaría toda una monografía por sí mismo. Por idéntica razón pasaremos por alto las pinturas en polvo.

1.3.1 Decoración

- Pinturas de emulsión: son pinturas en base acuosa cuyo destino principal es la decoración y protección de elementos de mampostería.
- Imprimaciones y esmaltes: destinados a la decoración y protección de elementos visibles.
- Barnices y lasures: son transparentes, destinados básicamente a la protección y decoración de la madera.
- Productos auxiliares: masillas, y otros productos destinados a la consolidación o al saneamiento del soporte.
- Pintura industrial

Se incluyen en este apartado todas aquellas pinturas que se aplican bajo unas condiciones determinadas por el cliente. Se trata de pinturas de naturaleza muy variada que se deben aplicar mediante sistemas determinados, en unas condiciones específicas por la instalación de aplicación y secado, así como por las características finales que se exijan.

Dentro de este campo pueden citarse como ejemplos el pintado de envases, de electrodomésticos, el coil coating o pintado de bandas metálicas en continuo, etc.

1.3.2 Pinturas para suelos

Se incluyen en este apartado pinturas, recubrimientos y pavimentos sintéticos para la protección de suelos, cubetos de productos químicos, etc.

Su diseño dependerá de las condiciones de aplicación y de las resistencias exigidas.

1.3.3 Pinturas de protección industrial

Son las que se utilizan en la protección de estructuras con el fin de prevenir el ataque de los agentes atmosféricos y de los contaminantes industriales.

También se consideraran las que se utilizan para la protección térmica de las estructuras, como las pinturas ignífugas e intumescentes.

- **Imprimación:** capa de pintura de alta pigmentación que debe proveer de adherencia al soporte y capacidad anticorrosiva al sistema de pintura.
- **Masilla:** pasta espesa que no fluye y se utiliza para tapar grandes defectos.
- **Selladora:** producto utilizado para tapar el poro del soporte y proporcionar una superficie de absorción uniforme, generalmente se utiliza sobre madera.
- **Esmalte o acabado:** también llamado capa de acabado o terminación, es la capa de pintura o recubrimiento final, la que dará las características estéticas y de resistencia al conjunto del sistema de pintura.
- **Pintura intermedia:** pintura de elevados sólidos, se utiliza para dar espesor en aquellos casos en que la protección así lo exija.
- **Barniz:** producto sin pigmentar para la decoración y protección preferentemente de la madera.
- **Lasur:** producto similar al barniz, se diferencia de éste en que tiene una permeabilidad al vapor de agua muy superior.
- **Laca:** acabado transparente o pigmentado para el acabado de la madera, se utiliza en la industria del mueble.

1.4 Pigmentos

Los pigmentos son sustancias insolubles y opacas que se utilizan para aportar color y poder de cubrición a la pintura.

Los pigmentos pueden ser naturales o sintéticos, inorgánicos u orgánicos, la elección se debe efectuar en función de las características que se desean obtener.

1.4.1 Pigmentos inorgánicos

- **Dióxido de titanio**

Es el pigmento blanco por excelencia, posee un elevado poder de cubrición y su resistencia a la luz y al exterior es excelente, tiene además una resistencia a los agentes químicos muy elevada.

El dióxido de titanio (TiO_2) se encuentra en la naturaleza en varias formas: rutilo (estructura tetragonal), anatasa (estructura octaédrica) y brookita (estructura ortorómbica). El dióxido de titanio rutilo y el dióxido de titanio anatasa se producen industrialmente en grandes cantidades y se utilizan como pigmentos y catalizadores y en la producción de materiales cerámicos.

El dióxido de titanio tiene gran importancia como pigmento blanco por sus propiedades de dispersión, su estabilidad química y su no toxicidad.

El dióxido de titanio rutilo es el idóneo para la formulación de pinturas de forma general, el anatasa presenta al exterior problemas de caléo, o sea, de exudación a la superficie, y tiene aplicaciones en otros campos.

Los tipos de dióxido de titanio rutilo se pueden obtener por dos métodos, vía sulfato y vía cloruro; en su aplicación no existen diferencias sustanciales.

El dióxido de titanio tiene un tamaño de partícula pequeño, el cristal es de 0.2-0.3 μm , y según su aplicación la partícula recibe un tratamiento especial con aluminio y sílice sin descartar otros metales como el zinc, manganeso o zirconio, y aún tratamientos de tipo orgánico, con el fin de modificar sus características de dispersión, estabilidad de color, etc. [17]

- Óxido de zinc

Se trata de un pigmento blanco utilizado para pinturas anticorrosivas y pinturas especiales. Su poder opacificante es bajo y posee una elevada reactividad, lo cual indica que su utilización requiere efectuar comprobaciones de estabilidad en el envase.

Su utilización en el campo de las pinturas en emulsión es muy limitada, en el mercado se puede encontrar con el distintivo de «Sello blanco», «Sello rojo»..., que indican su riqueza. Debe prevenirse que no contenga sulfato de plomo como elemento de corte ya que en ambientes industriales este puede transformarse en sulfuro de plomo de color negro. El tamaño de partícula es de 0,1-0,5 μm y su reactividad es inversamente proporcional a este. El tamaño de partícula óptimo se sitúa en 0,2-0,3 μm . En pinturas de emulsión puede actuar como reticulante de polímeros con grupos carboxilo libres.

- Litopón

Se trata de un pigmento blanco que tuvo su lugar en el campo de pinturas hace ya muchos años. Es una mezcla de sulfuro de zinc y sulfato de bario en la proporción de 30/70. La relación de cobertura/precio es francamente desfavorable en comparación con el dióxido de titanio.

- Óxidos de hierro

Los óxidos de hierro se utilizan en forma de productos naturales micronizados y en forma de productos sintéticos. Los productos naturales obviamente tienen una regularidad de color menor y

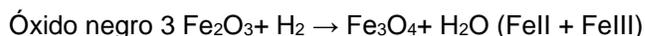
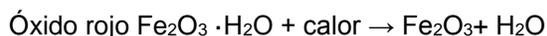
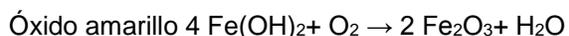
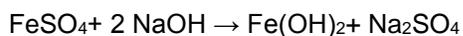
su tamaño de partícula es más disperso, asimismo contienen una serie de impurezas importantes. En cuanto a la relación precio los óxidos naturales son mucho más económicos.

Los óxidos de hierro son pigmentos de elevada resistencia a la luz y a la intemperie, tanto en tono lleno como mezclados con pigmentos blancos. Entre los óxidos de hierro naturales los más utilizados son los óxidos rojos. Entre los sintéticos se utilizan tanto los rojos como los amarillos y negros.

Su composición es la siguiente:

- Óxido rojo (hematita) $\rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3$
- Óxido amarillo (limonita) $\rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Óxido negro (magnetita) $\rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ (Fe II + Fe III)

Los óxidos de hierro sintéticos se obtienen a partir del hidróxido de hierro que a su vez se obtiene por reacción del sulfato ferroso con hidróxido sódico:



Los óxidos de hierro sintéticos tienen un tamaño de partícula de 0,1-1,0 μm ; en función de este tamaño se obtiene una tonalidad determinada, así como un poder colorante y de cubrición determinados.

Los óxidos de hierro amarillos y negros tienen menor resistencia térmica; en el caso del amarillo, a los 180 °C se produce una deshidratación que lo convierte en rojo, y en el caso del negro se produce una oxidación del hierro II a hierro III que da lugar al rojo.

Los óxidos de hierro naturales son los minerales oxidados de hierro que tienen aplicaciones industriales no siderúrgicas, particularmente como pigmentos de alta densidad para pinturas, pero también en la fabricación de cementos, morteros, vidrio y, en menor medida, para esmaltes y fritas cerámicas, para electrodos de soldadura o en electrónica (ferritas básicas o al Mn-Zn, tintas magnéticas).

En general, se trata de la combinación de uno o más óxidos ferrosos o férricos con impurezas tales como manganeso, arcillas y restos orgánicos. Los minerales más habituales son:

- Oligisto (Fe_2O_3), conocido como especularita o hierro especular, MIO (micaceous iron oxide) en la terminología anglosajona, cuando se presenta en cristales o agregados bastante cristalinos, con fuerte brillo metálico y estructura lamelar, o hematites roja (óxido de hierro rojo) si aparece en agregados informes, más o menos terrosos, de color rojizo.
- Goethita ($\alpha\text{FeO}\cdot\text{OH}$) o hierro acicular, de color pardo amarillento a pardo oscuro.
- Lepidocroíta ($\gamma\text{FeO}\cdot\text{OH}$), polimorfo del anterior, al que va generalmente asociado.
- Magnetita (Fe_3O_4), óxido de hierro negro o piedra imán, de color negro de hierro y brillo metálico.
- Limonita (hierro pardo) es un nombre genérico aplicado a los óxidos de hierro hidratados de identidad incierta ($\text{FeO}\cdot\text{OH}\cdot n\text{H}_2\text{O}$).
- Ogres: son minerales terrosos, deleznales, de color amarillento, formados por una mezcla de óxidos de hierro hidratados con arcillas. Por extensión, se llaman también ogres a minerales de aspecto similar, pero a base de otro metal: ocre de bismuto, de tántalo, de vanadio, de molibdeno, de telurio, de wolframio, de antimonio.

Los ogres comerciales de hierro de origen natural son amarillos o rojos, crudos o calcinados; el rojo se prepara usualmente a partir de los primeros, por calcinación a 250°C . Las variedades llamadas “siena”, amarilla, o “umbría”, marrón, deben su nombre a las localidades italianas de procedencia, siendo inimitable su tonalidad por procedimientos artificiales.

También se obtienen óxidos de hierro naturales mediante calcinación de pirita o siderita.

Aparte de los óxidos naturales, existen en el mercado óxidos sintéticos, que compiten ventajosamente y de forma creciente con aquéllos, pues su mayor precio puede ser compensado por sus mejores prestaciones: mayor uniformidad y pureza del color, superior resistencia al teñido, estricto control de la consistencia de los colores, menor contenido en metales pesados como Sb, Cd, Hg y Se (de singular importancia en las aplicaciones cosméticas y farmacológicas), etc.

Los óxidos sintéticos se obtienen por descomposición térmica de una sal como el sulfato de hierro, obteniéndose el rojo; por reducción de compuestos orgánicos, como el nitrobenzeno, por Fe; o por el proceso Penniman-Zoph, a partir de chatarras de hierro, mediante nucleación de éstas con hidróxido sódico y posterior precipitación con sulfato de hierro y Fe en atmósfera oxidante a $60\text{--}90^\circ\text{C}$ (amarillos, rojos, pardos, negros).

Los pigmentos a base de óxidos de hierro no son tóxicos, no exudan, son relativamente inertes, resistentes a la meteorización, opacos e inalterables a la luz. Las principales características a tener en cuenta son: capacidad de absorción de aceite (influye en el consumo de aglomerantes); área superficial.

- Óxido micáceo

Este mineral es un óxido de hierro (Fe_2O_3), diferente de otros tipos de minerales de hierro, por su estructura de escamas - laminar, que lo asemeja por su forma a la mica, de allí que se conozca con el nombre de hierro micáceo. Se transforma mediante varios procesos, como la molienda, secado, tamizado y limpieza; convirtiéndolo en un material suave con estructura laminar, con una exacta distribución granulométrica, que le permite su aplicación como pigmento de brillo para pinturas y como protector de la matriz de la pintura, al reflejar la radiación UV y evitar la acción dañina de este tipo de rayos. En las pinturas anticorrosivas, confiere a éstas, un mayor grado de protección de las superficies o sustratos, ya que la forma laminar de las partículas, bloquean completamente el paso del oxígeno, del agua y de otros gases.

El óxido de hierro micáceo ha ganado un uso generalizado en los revestimientos de protección en todo el mundo debido a sus propiedades anticorrosivas, que se derivan de la naturaleza singular de sus hojuelas similares a las partículas.

Cuando el óxido de hierro micáceo se incorpora en un recubrimiento en un nivel apropiado, las láminas alineadas en paralelo a la superficie del sustrato, forman un escudo o barrera de la superposición de las placas, como se muestra en el gráfico anterior.

Debido a que las hojuelas son impermeables, una barrera se forma que impide la penetración del agua, el oxígeno y los iones y, por tanto, impide la corrosión del acero y la degradación se obstaculiza. El efecto barrera se ilustra en la figura 2.

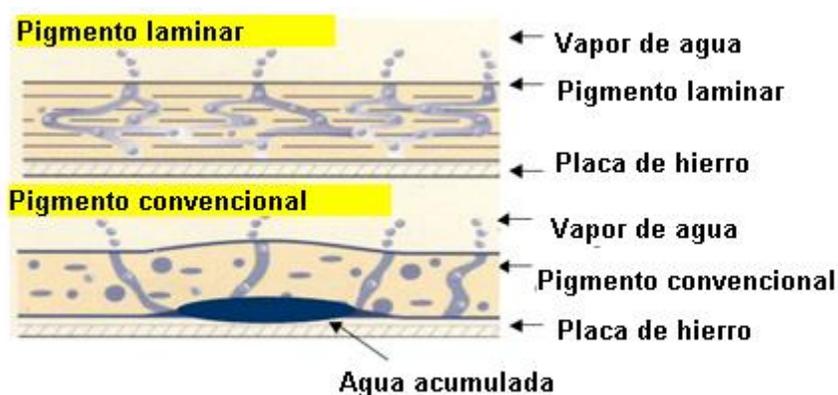


Figura 2.- Protección laminar

Un color anticorrosión pigmentado mediante mica de hierro MIOX genera tras su aplicación una capa espesa y brillante. Durante el secado se forman partículas de pigmento laminares extremadamente finas y solapadas entre sí, que se extienden casi en paralelo a la superficie de

recubrimiento. Esta capa recuerda a las escamas de un pez o al solapamiento existente en los tejados enladrillados. Así se forma una capa que actúa como barrera frente a la intemperie y evita la agresión de otros elementos climatológicos tales como niebla salina, anhídrido sulfuroso (SO₂), sal de amonio u otros residuos que se encuentran en el aire. Asimismo, también actúa como barrera frente a humedad y el oxígeno.

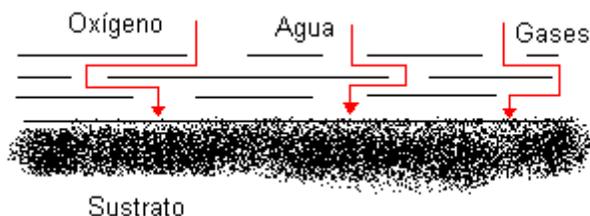


Figura 3.- Efecto barrera

1.5 Efecto barrera

Debido a la disposición de las láminas en paralelo, MIOX es capaz de hacer frente a las repentinas agresiones del agua y los elementos medioambientales. Los pigmentos tradicionales empleados hasta el momento permitían que los elementos penetraran en el acero mucho más rápidamente y no ofrecían ninguna resistencia en este sentido.

La alta laminaridad hace más largas las rutas de difusión del agua y del oxígeno a través de la película hasta llegar al sustrato. Las láminas se orientan y se superponen dificultando el acceso del agua, el oxígeno, los electrolitos y de los agentes contaminantes. Las láminas del óxido de hierro micáceo se alinean paralelamente a la superficie de la película, proporcionando una excelente impermeabilización y protección frente a la radiación ultravioleta, a diferencia de los pigmentos de aluminio que absorben una buena parte de la radiación infrarroja.

1.6 Resinas y disolventes

Las resinas epóxicas se usan mucho en capas de impresión, tanto para proteger de la corrosión como para mejorar la adherencia de las posteriores capas de pintura. Las latas y contenedores metálicos se suelen revestir con epoxi para evitar que se oxiden, especialmente en alimentos ácidos, como el tomate. También se emplea en decoraciones de suelos de alta resistencia, como el terrazo, fabricación de piletas de dicho material, frentes para automóviles, etc.

Una resina epoxi o poliepóxido es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o “endurecedor”. Las resinas epoxi más frecuentes son producto de una reacción entre epíclorohidrina y bisfenol-A.

Las resinas epoxi están constituidas comúnmente de dos componentes que se mezclan previamente antes de ser usados; al mezclarse reaccionan causando la solidificación de la resina,

su curado se realiza a temperatura ambiente, durante ese curado o secado se forman enlaces cruzados, lo que hace que su peso molecular sea elevado.

Propiedades de las resinas epóxicas:

- Humectación y de adherencia son óptima.
- Buen aislamiento eléctrico.
- Buena resistencia mecánica.
- Resisten la humedad.
- Resisten el ataque de fluidos corrosivos.
- Resisten temperaturas elevadas
- Excelente resistencia química
- Poca contracción al curar
- Excelentes propiedades adhesivas.

1.6.1 Pinturas epóxicas y acabados

Los epoxis se usan mucho en capas de impresión, tanto para proteger de la corrosión, el ataque de ácidos y químicos como para mejorar la adherencia de las posteriores capas de pintura; debido a su alta densidad manejan una carta de colores muy limitada. Su acabado superficial generalmente tiende a ser semibrillante, pero con el tiempo se vuelve mate.

Entre sus usos están:

- Para exterior e interior de superficies en la protección de metal, madera, concreto o asbesto-cemento, humos, polvo, salpique y derrame de solventes alifáticos, para áreas costeras y ambientes marinos.
- En interior y exterior de tuberías de agua a presión, enterradas o al aire, para fondos de cascos (como pintura de barrera), pintura de suelos industriales o de alto tráfico, para tanques, estructuras de acero sumergidas, maquinarias y equipos en ambientes industriales de alta agresividad,
- En exposición atmosférica entizan y amarillean con el tiempo por lo que hay que tener cuidado y de ser necesario recubrir con alguna pintura tipo gel de ser necesario.

El disolvente es el vehículo que permite la aplicación de la pintura y hace que se extienda dejando una capa lisa. La mayoría de los productos ya incluyen disolvente que, una vez aplicada la pintura, se evapora; son los denominados COV: Compuestos Orgánicos Volátiles). Para mejorar la extensión de la pintura o para aumentar su absorción en el sustrato, se puede añadir disolvente. En el caso de aplicaciones a pistola convencional, también es necesario añadir disolvente.

Existen disolventes específicos para cada tipo de producto y es muy importante usar solamente el disolvente indicado en las instrucciones, de otra forma, existe el riesgo de estropear tanto el resultado del pintado como la propia pintura.

En términos generales, existe un disolvente determinado para cada clase de pintura como se indica en la tabla, pero se aconseja leer las instrucciones del producto que va a emplear en el caso de que se trate de una excepción. Tenga también presente que el disolvente puede no ser el mismo según el método de aplicación.

Los productos generalmente no necesitan más disolvente porque ya está incorporado en el envase, pero a temperaturas bajas y para que la pintura se extienda mejor y no deje marcas, se puede añadir hasta un 5% adicional del disolvente adecuado. Para aplicaciones a pistola la cantidad máxima depende del producto y las características de la herramienta. Vea la etiqueta, la ficha técnica o la especificación para más información.

Cuando se diluye la pintura, el rendimiento aumenta y en tiempo frío es más fácil de trabajar. Por el contrario la película seca será más delgada cuando se evapore el disolvente. Por tanto, podría ser necesario aplicar una capa suplementaria para obtener el espesor de película requerido.

1.7 Aplicación y métodos

El proceso de fabricación de las pinturas es totalmente físico y se efectúa en cuatro fases:

- **Dispersión:** en esta fase se homogeneizan disolventes, resinas y los aditivos que ayuden a dispersar y estabilizar la pintura, posteriormente se añaden en agitación los pigmentos y cargas y se efectúa una dispersión a alta velocidad con el fin de romper los agregados de pigmentos y cargas.
- **Molido:** el producto obtenido en la fase anterior no siempre tiene un tamaño de partícula homogéneo o suficientemente pequeño para obtener las características que se desean. En este caso se procede a una molturación en molinos, generalmente de perlas.
- **Dilución:** la pasta molida se completa, siempre en agitación, con el resto de los componentes de la fórmula. Los productos se deben añadir uno a uno para evitar posibles reacciones entre ellos.
- **Ajuste de viscosidad:** es el último paso en la elaboración de una pintura, consiste en proporcionar a la pintura fabricada un aspecto de fluidez homogéneo en todas las fabricaciones y que se ajuste a las necesidades de aplicación de la misma.

Independientemente del procedimiento utilizado en la aplicación, deber tenerse cierto cuidado con el almacenamiento y el acondicionamiento de los materiales de protección. En general las latas de recubrimiento nunca deben ser expuestas a la lluvia y a la acción directa de los rayos del sol o

cualquier fuente de calor a fin de evitar la gelación prematura o evaporación de solventes del recubrimiento acortando excesivamente su vida útil, por lo que siempre debe almacenarse en un local cubierto.

Antes de utilizar el recubrimiento éste debe ser homogeneizado y acondicionado para su uso correcto, esto puede llevarse a cabo en la siguiente forma:

- a) Destapar y homogeneizar el recubrimiento con una paleta u otro medio adecuado y pasar una quinta parte a otro recipiente limpio más grande.
- b) Agitar el contenido de recipiente original hasta lograr que todos los sólidos adheridos a las paredes y fondo se reincorporen en forma homogénea; el almacenamiento prolongado tiende a provocar estos asentamientos.
- c) Pasar con agitación continua la mezcla original al recipiente grande y viceversa varias veces.
- d) Si el recubrimiento es de 2 componentes, estos deberán mezclarse poco antes de la aplicación hasta obtener una mezcla homogénea, conservando la proporción indicada en la especificación correspondiente; además es de gran importancia vigilar el tiempo de vida útil de la mezcla, dato que también aparece en dicha especificación.
- e) Filtrar el recubrimiento pasándolo a través de manta de cielo o una malla equivalente a fin de eliminar natas, grumos, pintura seca o cualquier material extraño, procurando que el filtrado quede en el recipiente grande.
- f) Ajustar la viscosidad del recubrimiento con los solventes apropiados para su correcta aplicación. Para aplicación con brocha o rodillo, su consistencia o viscosidad debe ser equivalente a 50-60 segundos Copa FORD No. 4; para aplicación por aspersión con aire, la consistencia debe ser equivalente a 22-28 segundos.

En estas condiciones el recubrimiento está listo para su aplicación.

Durante la aplicación se deberán tomar las siguientes precauciones:

- Si la superficie se encuentra húmeda por efectos de lluvia o condensación de humedad atmosférica deber suspenderse toda operación de aplicación; incluso si la temperatura esta abajo de 10 °C.
- Si la superficie fue preparada con chorro de arena el recubrimiento no deberá aplicarse después de 3 horas de efectuada la limpieza, debido a los posibles efectos de corrosión en la superficie.
- Si las condiciones ambientales son críticas este tiempo es menor y deber establecerse en la localidad.

A continuación, se mencionan varios aspectos de los procedimientos convencionales utilizados en la aplicación de recubrimientos anticorrosivos.

1.7.1 Aplicación con brocha de pelo

La aplicación con brocha es un procedimiento que ha sido utilizado durante muchos años y no requiere de una discusión muy extensa; no obstante, es necesario puntualizar algunos aspectos. En comparación con otros métodos resulta excesivamente lento por lo que deber preferirse para reas pequeñas o de conformación difícil, además, presenta cierta dificultad para un control de espesor de película eficiente. Entre sus ventajas más sobresalientes se pueden mencionar las pérdidas mínimas de material y la fácil humectación aun en áreas difíciles, además los costos por equipo son mínimos.

Durante la aplicación del recubrimiento con brocha de pelo es conveniente observar las siguientes recomendaciones:

- 1) Selección de la brocha.- El tamaño de la brocha dependerá del área por recubrir, las de tamaños reducidos se utilizan en áreas pequeñas o intrincadas, las más anchas se utilizan en áreas extensas preferentemente planas. La máxima eficiencia de aplicación se obtiene con brochas de pelo de caballo, aun cuando en ciertos casos se puede utilizar una combinación de esta cerda natural y fibra sintética, con la consecuente disminución en la eficiencia de aplicación. El numero de cerdas de la brocha es importante y generalmente va en función del precio Las de bajo costo tienen pocas cerdas por cada cm. de ancho en comparación con las de buena calidad, por lo que al mojarse en recipiente de recubrimiento retienen muy poco material; por otra parte las cerdas en brochas de baja calidad son gruesas dejando una cantidad excesiva de huellas o surcos que dificultan la nivelación del recubrimiento y por tanto la obtención de espesores uniformes, además las cerdas se desprenden con facilidad.
- 2) Aplicación con brocha.- la brocha nunca deberá sumergirse más de la mitad de la longitud de las cerdas, evitándose así la necesidad de eliminar el exceso de recubrimiento en el borde del recipiente, eliminándose las pérdidas de material por este concepto. Si se sumerge más de lo debido, el recubrimiento tiende a alcanzar la base de la brocha y allí no puede ser aplicado; en este sitio pierde solventes, se vuelve más viscoso y empieza a secar haciendo cada vez más dura la brocha por lo que se requiere mayor fuerza en aplicaciones subsecuentes. Esta acción de frotación acelera la evaporación de solventes aumentando la consistencia o viscosidad del recubrimiento y restándole la posibilidad de un buen flujo y nivelación.

Un pintor de experiencia conoce el área aproximada que puede recubrir con cada inmersión de la brocha a un espesor determinado, por lo que con un mínimo de brochazos extiende el material y obtiene un espesor uniforme, en la práctica esto equivale a una "mano" de recubrimiento. Un profesional en este campo siempre mantiene la brocha a un ángulo de 45° con respecto a la superficie, extendiendo el material de la zona sin

recubrir a zonas ya cubiertas, cambiando en 90° el sentido de los últimos brochazos de retoque en forma tal que toda la superficie recubierto tenga el mismo sentido.

1.7.2 Aplicación con rodillo

Estos dispositivos de aplicación se desarrollaron para reducir el tiempo de aplicación en superficies planas. En el mercado existen gran variedad de formas y tamaños. Los rodillos generalmente se construyen de lana natural aunque con frecuencia se les combina con fibras sintéticas.

La apariencia del recubrimiento depende en gran parte de la profundidad del rodillo; los de fibra corta producen acabados tersos o lisos.

Algunos tipos requieren de un recipiente de recubrimiento para sumergir y exprimir el rodillo aun cuando los más convenientes tienen una línea de alimentación automática de baja presión la cual pasando por el mango alimenta al rodillo. Estos rodillos se pueden encontrar de 15 a 35 cm. de ancho. Aun cuando se aumenta la rapidez de aplicación por este método, el espesor resultante no es del todo uniforme y solamente tiene éxito en superficies planas en el sentido del eje del rodillo.

1.7.3 Aplicación por aspersión

Este método de aplicación se desarrollo ante la necesidad de aumentar las velocidades de aplicación y mejorar el control de espesores y eficiencia en general, a consecuencia de las grandes áreas por recubrir y por la agresividad de los medios corrosivos que se presentan en la industria.

El principio fundamental de la aplicación por aspersión está basado en la fina atomización del recubrimiento, proyectando la niebla resultante hacia el objeto por recubrir. Los primeros equipos de aspersión utilizaron aire comprimido como medio de atomización y no obstante que a la fecha es el procedimiento más utilizado, se han desarrollado otros métodos de aspersión tales como aspersión electrostática, aspersión en caliente, aspersión por vapor y aspersión sin aire, pero su alto costo y dificultad de manejo han limitado su popularización.

El equipo de aplicación por aspersión por aire considera los siguientes componentes: pistola de aspersión, recipientes de material, mangueras, filtros de aire, reguladores de presión de aire, compresores de aire y equipos de seguridad.

La pistola de aspersión es un dispositivo cuyo diseño permite mezclar íntimamente y en la proporción adecuada una corriente de aire comprimido con una cierta cantidad de recubrimiento, provocando su atomización, y con la facultad de dirigir la niebla de forma o patrón determinado hacia una superficie por recubrir. El aire y el material entran a la pistola por conductos diferentes.

Considerando el lugar donde se produce la mezcla aire-recubrimiento las pistolas se clasifican en pistolas de mezcla exterior y pistolas de mezcla interior; en la primera de ellas la mezcla tiene lugar inmediatamente después de la salida de materiales del frente o casquillo de la pistola; este tipo es

adecuado para aplicar casi cualquier tipo de material fluido e incluso el único que puede aplicar materiales de secado rápido. En el segundo tipo la mezcla se realiza en el casquillo, un poco antes de que los materiales abandonen la pistola; su uso esta relegado a situaciones donde solo se cuenta con el aire de baja presión.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se prepararon 10 probetas de acero 1020 planas de 127X76mm y 10 cilíndricas de 2x0.5cm de diámetro. Éstas se introdujeron a la máquina de sandblast para ser limpiadas de las impurezas de la oxidación que tuvieran, posteriormente fueron limpiadas con alcohol para remover cualquier resto de grasa que pudieran tener para asegurar de esta manera la fijación del recubrimiento.

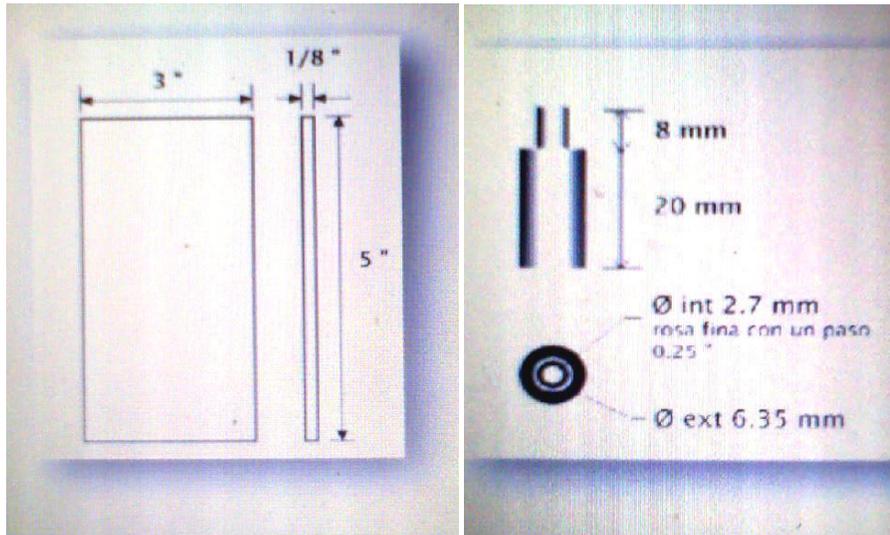


Figura 4.- Probetas planas y cilíndricas Acero 1020 (Especímenes).

Los componentes para la formulación que se utilizaron fueron 3 principales: Resina, fosfato de zinc y benzotriazol.

El benzotriazol y el fosfato de zinc se seleccionaron en base a trabajos anteriores donde habían sido utilizados obteniendo buenos resultados.

Las cantidades de los componentes se tomaron de la tesis "Formulación de sistemas protectores de pintura y la medida de su deterioro mediante diagramas de impedancia" donde utilizando un diseño optimal con el software design expert V.7 se obtuvieron 11 formulaciones.

Para este trabajo se seleccionaron las 4 formulaciones que tenían porcentajes más representativos de los diferentes compuestos. El benzotriazol es la constante ya que en el trabajo "Formulación de sistemas de pinturas con benzotriazol y benzoato de sodio como aditivos y su evaluación anticorrosiva en acero 1020" se encontró que la cantidad optima de benzotriazol para una formulación de 100 gr es de 2 gr. [17]

Los recubrimientos se elaboraron de acuerdo a la siguiente tabla

Formulación	Resina (grs)	ZnPO ₃ (grs)	Benzotriazol (grs)	TiO ₂	Dispersante
1	35	23.5	0.2	15	3
2	35	32	0.2	15	3
3	41	9	0.2	15	3
4	48	32	0.2	15	3

Tabla 4.- Formulación de cada una de las formulaciones.

Los gramos de resina y fosfato de Zinc fueron determinados según lo reportado en las tesis Formulación de sistemas protectores de pintura y la medida de su deterioro mediante diagramas de impedancia, Iván Noe Mata Vargas y colaboradores, los gramos de benzotriazol fueron determinados de acuerdo con la tesis Formulación de sistemas de pinturas de benzotriazol y benzoato de sodio como aditivos y su evaluación anticorrosiva en acero 1020.



Figura 5.- Resina, endurecedor y catalizador

Para la preparación se pesaron las muestras en una balanza analítica, se agregó a la resina el fosfato de zinc, el dióxido de titanio y el dispersante y se colocó esta mezcla en una lata de pintura de 250ml.



Figura 6.- Se pesó de manera exacta en una balanza granataria y se agregó el dióxido de titanio a cada una de las muestras, antes de agregar el endurecedor (resina).



Figura 7.- Antes de ser cerradas cada una de las latas con las diferentes formulaciones se agregaron 25 gramos de perlas de vidrio a cada una para ser llevadas al molino.

Después, fueron selladas perfectamente con cinta canela para evitar fuga de la mezcla al ser agitadas en un molino de perlas durante 30 minutos siendo el tiempo adecuado para garantizar la perfecta mezcla de todos los aditivos.



Fig.-8 Molino de perlas de Pyrolac.

Una vez transcurrido este tiempo, se destaparon cada una de las formulaciones y se filtraron las perlas utilizando una malla textil (nylon) y agua como disolvente. Posteriormente se agregó el benzotriazol y el endurecedor (resina) con una relación 3 a 1 para ser nuevamente mezclado con una batidora casera hasta lograr la homogeneización total de cada una de las formulaciones.

Se agregó agua hasta obtener una apariencia líquida no tan espesa, ni tan diluida que asegurara la correcta adherencia del recubrimiento a la placa. Se procedió a pintar las probetas haciendo uso de un aerógrafo de lápiz y la cámara de pintura del Laboratorio de Materiales del Centro de Asimilación Tecnológica de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán;



Figura 9.- Pintado de cada una de las placas y probetas con su respectiva formulación.

Para garantizar el espesor adecuado del recubrimiento se aplicaron 3 capas de pintura con un tiempo de curado de 2 semanas.

Los materiales utilizados fueron los siguientes:

- 10 Probetas de acero 1020 planas y 10 probetas cilíndricas
- Resina vinílica base agua
- Fosfato de Zinc
- Benzotriazol
- Dispersante
- Dióxido de Titanio
- Ácido sulfúrico 0.1N con un pH=5.6

El equipo empleado fue:

- Cámara de Intemperismo acelerado
- Colorímetro MINOLTA
- Máquina de Sandblast
- Cámara de Pintura
- Potenciostato

A continuación se presentan cada una de las pruebas realizadas en las probetas:

- Colorimetría (Placas planas)
- Intemperismo acelerado (Placas planas)
- Prueba de tafel (Probetas cilíndricas)
- Prueba de potenciostato (Probetas cilíndricas)
- Adherencia

Prueba de Colorimetría

La prueba se llevó a cabo en un colorímetro Minolta y estuvo basada en la norma ASTM E313 y ASTM D3633 para el cálculo de índice de amarilla miento y blanqueamiento en plásticos, pinturas y recubrimientos a partir de censos de color por coordenadas.



Figura 10.- Colorímetro Minolta

Se tomaron mediciones de las placas testigo, así como de las placas después de 1000 hrs. de haber estado dentro de la cámara de intemperismo acelerado. Posteriormente se compararon los datos de ambas placas en cuanto a su luminosidad, tono y pureza.

Prueba de intemperismo acelerado

Utilizando como referencia la norma ASTM D4329-05, G53-95, se introdujeron las placas a una cámara de intemperismo acelerado marca Q-LAB modelo Q-SUN durante 1000hrs.



Figura 11.- Cámara de intemperismo acelerado.

Las cámaras con luz de arco de xenón, como la cámara Q-Sun, reproducen el espectro completo de la luz solar, incluyendo la luz ultravioleta (UV), la luz visible y la luz infrarroja (IR). La luz de arco de xenón esencialmente es un intento por reproducir la luz solar misma.

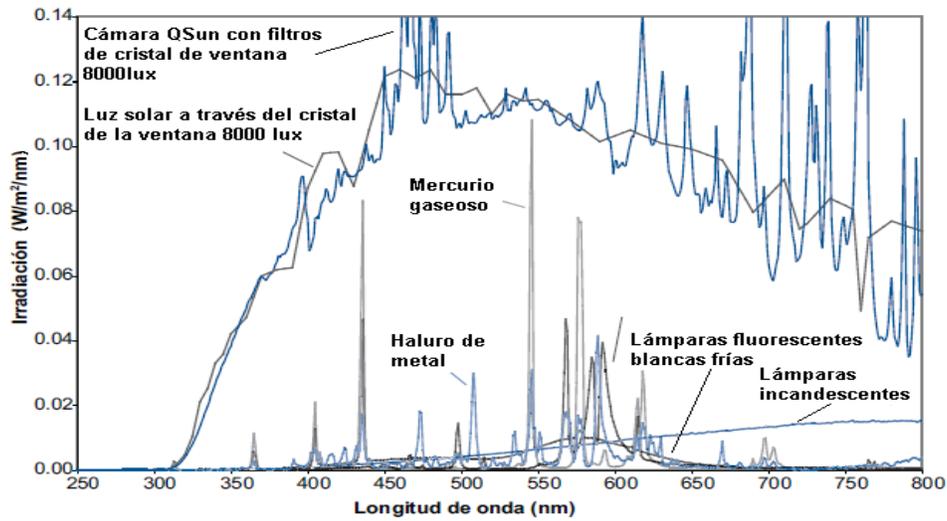


Figura 12.- Arco del espectro de luz de la lámpara Q-SUN con respecto al arco de luz solar.

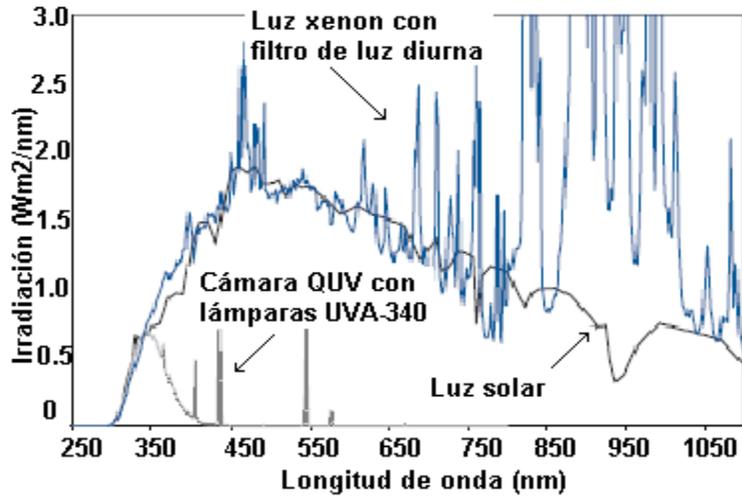


Figura 13.- Comparación del espectro del arco de la lámpara de xenón, luz ultravioleta y fluorescente con respecto a luz solar.

Durante estas horas, las placas estuvieron expuestas a 3 ciclos alternos de condensación, calentamiento y humidificación según se muestra en la siguiente tabla:

Ciclo	Temperatura(°C)	Radiación(KW/m ²)	Tiempo (min)
Día normal con lluvia por la noche- Sub-ciclo 1 (UV)	60	1.55	240
Sub-ciclo 2 (Condensación)	50		238
Sub-ciclo 3 (Rociado)			2

Día y noche normal-Sub-ciclo 1(UV)	60	1.55	240
Sub-ciclo 2 (Condensación)	50		238
Día caluroso con lluvia antes de la noche –Sub-ciclo 1 (UV)	60	1.55	240
Sub-ciclo 2 (Rociado)			2
Sub-ciclo 3 (Condensación)	50		238

Tabla 5.- Ciclos de operación de la cámara de intemperismo acelerado.

La norma ASTM G53-95, considera un promedio de 4hrs de rayos UV por día, o sea 240 minutos a 60°C y una intensidad en la superficie de 1.55 KW/m². Para simular la noche, se apagan las lámparas y se conserva una temperatura de 50°C con aproximadamente la misma duración. Un minuto de rociado, consume en promedio 3.5 litros de agua destilada.

Al finalizar el tiempo de prueba se hizo un análisis visual del aspecto que tenían las placas con respecto al testigo tomándose fotografías con el microscopio para evaluar la superficie y apariencia de las placas.

De acuerdo con la norma ASTM D714-56 (método estándar de evaluación del grado de ampolla miento en pinturas) se determinó el grado de ampolla miento de las placas después de la prueba en términos de tamaño y frecuencia de las ampollas.

El tamaño se evaluó en una escala de 0 a 10 donde diez representa que no hay ampolla miento, 8 representa un ampolla miento pequeño fácilmente visible y 6, 4 y 2 representan tamaños más grandes.

La frecuencia se mide en cuatro niveles:

- D Denso
- M D Ligeramente denso
- M medio
- F poco

Durante las 1000 horas de prueba se visito la cámara dos veces por semana para asegurar que ésta tuviera el agua necesaria y para verificar su correcto funcionamiento.

Al principio se presentaron algunos contratiempos por el desconocimiento del funcionamiento de la maquina, ésta se estuvo alarmando en diversas ocasiones pues alcanzaba altas temperaturas, sin embargo con el apoyo de los maestros pudimos restablecerla y cumplir con el tiempo de la prueba.

Prueba de velocidad de corrosión

La prueba se realizó en un medio ácido (Acido sulfúrico a pH controlado de 5.6). Este pH se determinó, de acuerdo con el sondeo realizado por la dirección de monitoreo atmosférico. Se determinó que el pH de la lluvia ácida en condiciones naturales en la zona metropolitana del Valle de México es de 5.6.

Para realizar el ensayo se preparó una celda electroquímica utilizando un electrodo de calomel saturado como electrodo de referencia y uno de grafito.



Figura 14.- Realización de la prueba de potencióstato.

A los pocos minutos de iniciar la prueba, el recubrimiento se desprendió de las probetas debido a que es base agua y la solución de ácido utilizada lo disolvía. Sin embargo, al finalizar la prueba y observar la probeta, ésta no presentaba indicios de un ataque de corrosión al material, lo que nos

lleva a decir que si bien el recubrimiento no resistió estar sumergido en la solución ácida, sí logró proteger en cierta medida el material con base en los resultados obtenidos.

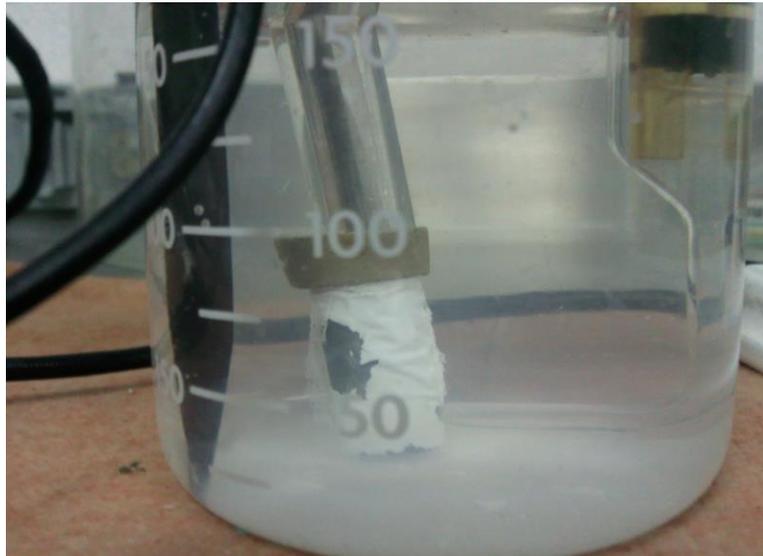


Figura 15.- Ataque de la solución al recubrimiento durante la prueba.

Se observa el ataque inmediato de la solución al recubrimiento disolviéndolo hasta dejar expuesto el metal.

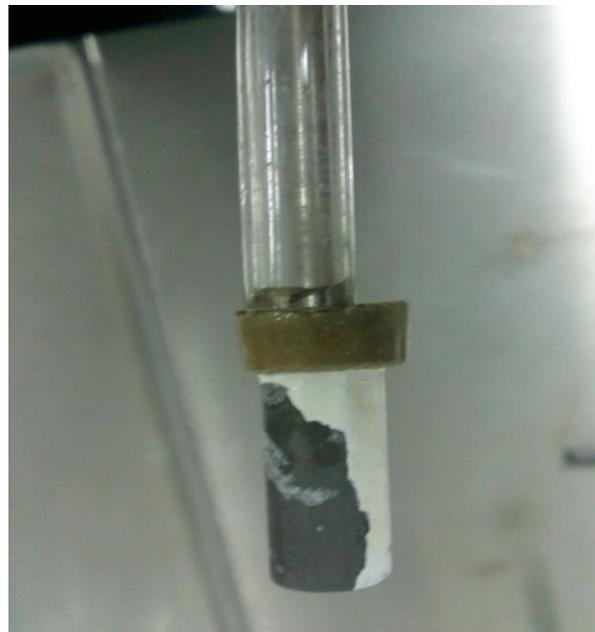


Figura 16.- Probeta al finalizar la prueba.

Se aprecia el metal expuesto y el ataque de la corrosión.

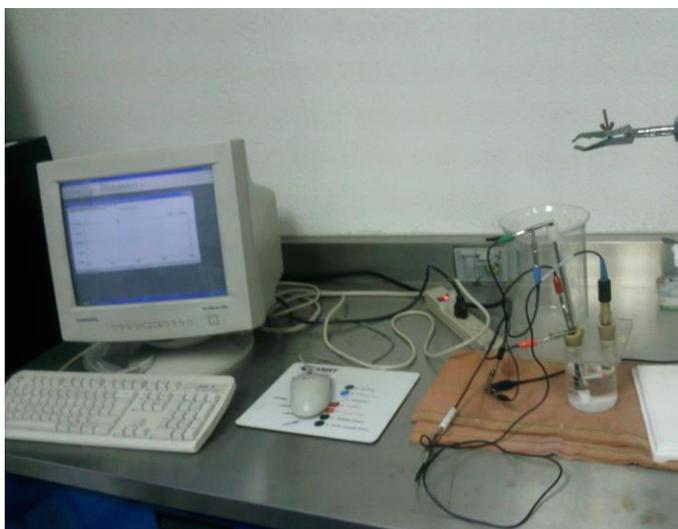


Figura 17.- Manejo del software para la realización de la prueba.

Para la prueba de Tafel se aplican potenciales de 205 a 300mV tanto en sentido catódico, como anódico. Con esta técnica se obtiene la intensidad de corrosión (i_{corr}) por la extrapolación de las regiones catódica y anódica en el potencial de corrosión. Además es posible calcular las pendientes de Tafel, que son parámetros cinéticos útiles en el cálculo de la i_{corr} .

La principal característica de este método es la necesidad del trazado completo de las curvas de polarización que por una parte posibilita un análisis electroquímico de la cinética del proceso de corrosión y, por otra, puede dar lugar a modificaciones de la superficie del electrodo por efecto de la elevadas polarizaciones aplicadas.

El cálculo de la velocidad de corrosión por el método de extrapolación de Tafel, se lleva a cabo mediante la extrapolación de la zona lineal de la curva de polarización anódica y catódica al valor del potencial de corrosión. Según este método, se puede obtener la i_{corr} extrapolando cualquiera de las rectas de Tafel hasta el valor del E_{corr} . Los sistemas de corrosión reales, no presentan muy a menudo, en sus curvas de polarización, una región lineal lo suficientemente extensa que permita una extrapolación con garantías. Sin embargo, la mayoría de los equipos modernos disponen de un software adecuado para este tratamiento y los valores experimentales son ajustados a la ecuación de Butler-Volmer.[18]

Las curvas de Tafel se obtienen a partir de los voltajes de referencia y la corriente de corrosión, la intersección de las pendientes catódica y anódica proporciona el valor de la corriente de corrosión. Posteriormente, se calcula en base al tipo de material y al área de contacto, la velocidad de corrosión, cuyos datos son generados por el programa utilizado.

Prueba de adhesión

Para llevar a cabo la prueba de adhesión, de acuerdo a la norma ASTM-D4541, se midió la fuerza tensil de cada recubrimiento para determinar si estos tenían buena adhesión.

Se utilizó el equipo PosiTest AT. Para la prueba, se marcó una X en una placa de cada formulación utilizando un cutter y sobre de sta se adhirió un dolly, que es como un trozo de maskin que trae el equipo y que, dependiendo del tamaño que tenga, es la presión que ejerce sobre el recubrimiento al ser despegado.

Se pegó un dolly de 10mm en la placa, lo que equivale a 70MPa de presión al ser desprendido del recubrimiento.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la prueba de colorimetría, se obtuvieron los siguientes resultados:

	Formulación 1 Testigo	Formulación 1	Formulación 2 Testigo	Formulación 2	Formulación 3 Testigo	Formulación 3	Formulación 4 Testigo	Formulación 4
L*	84.85	78.03	88.18	82.12	88.14	75.88	85.88	80
C*	3.01	7.04	3.48	6.58	4.81	3.58	3.76	8.99
h	131.81	106.06	123.87	103.14	117.83	100.38	122.51	99.09
Y	65.72	53.26	72.44	60.52	72.35	49.69	67.74	56.68
x	0.3116	0.3215	0.3129	0.321	0.3151	0.3168	0.3134	0.3265
y	0.3221	0.3325	0.3232	0.3308	0.3261	0.3246	0.324	0.3364

Tabla 6.- Resultados de la prueba de colorimetría.

Donde:

L* =luminosidad

h=tono

C*=pureza o croma

Y=brillo

x=índice de amarillamiento

y=índice de blancos

El tono de un color es aquel atributo del mismo que lo puede calificar de azul, rojo, rosa, amarillo, etc.

La pureza o croma es un atributo del color de mayor dificultad de comprensión pues es proporcional a la cantidad de colorido que tiene.

Con base a los resultados obtenidos se concluye que la formulación 2 es la que tiene una mayor luminosidad después de la prueba (82.12) en donde las otras tres presentan una luminosidad igual o menor a 80. Sin embargo, se observa que las formulaciones 1,2 y 4 tuvieron una degradación de luminosidad de 6 puntos respecto al testigo, mientras que la 3 tuvo un decremento de casi 13 puntos, siendo ésta la que presentó mayor degradación en su luminosidad.

Por otra parte, la formulación que presentó una mayor disminución del tono fue la 1 que disminuyó aproximadamente 25 puntos respecto al testigo, mientras que la 3 fue la que conservó mejor su tono original pues solo disminuyó 17 puntos.

Con respecto a la pureza del color, la que presentó menor degradación en su color fue la formulación 2 ya que el valor obtenido de la formulación con respecto al testigo solo cambió 3 puntos.

De acuerdo con la norma D3633, los recubrimientos no deben tener una pérdida mayor al 50% de luminosidad, en este caso, ninguno de los recubrimientos falló en esta norma.

En términos generales, la prueba de colorimetría arrojó interesantes resultados de las cuatro formulaciones, algunas presentaron menor luminosidad, mayor degradación de la pureza o bajo tono, sin embargo, la formulación 2 fue la que menos cambios sufrió con respecto al testigo, siendo así la formulación óptima arrojada en esta prueba.

En la prueba de intemperismo acelerado se obtuvieron las siguientes fotos representativas de cada formulación antes y después de la prueba:

Del lado izquierdo se muestra la placa testigo de la formulación 1 y del lado derecho la placa después de la prueba.

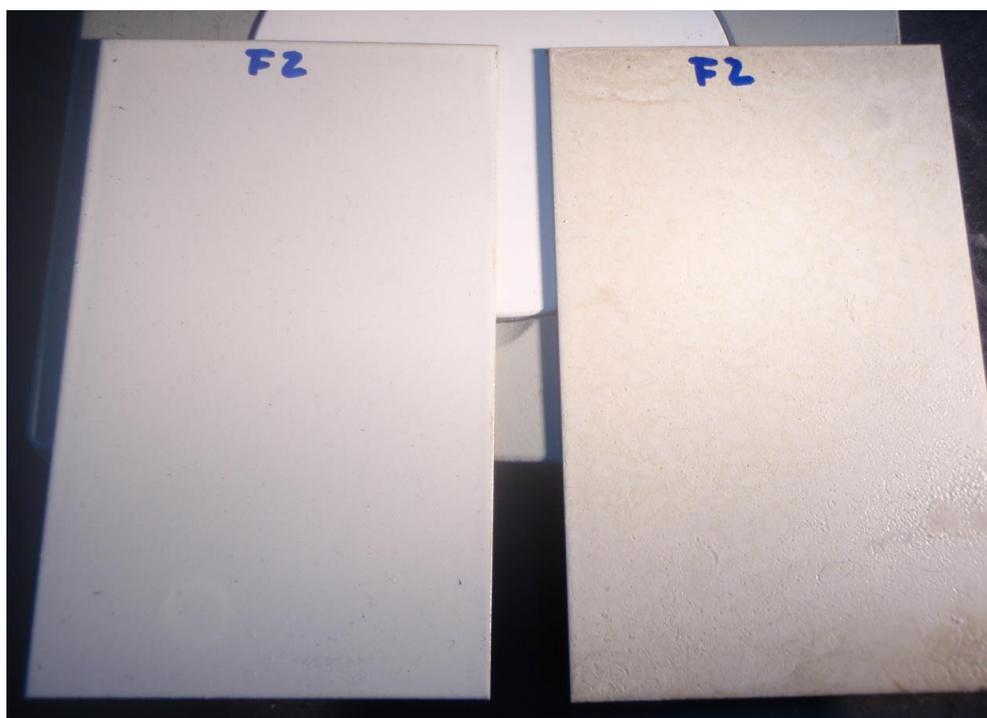


Figura 18 Formulación 1.

Se puede apreciar que la placa expuesta presenta una decoloración del color y ligero enchinamiento en la superficie aun que no presenta un ataque severo al metal ya que no está ampollada ni agrietada por lo que la adherencia del recubrimiento fue buena.

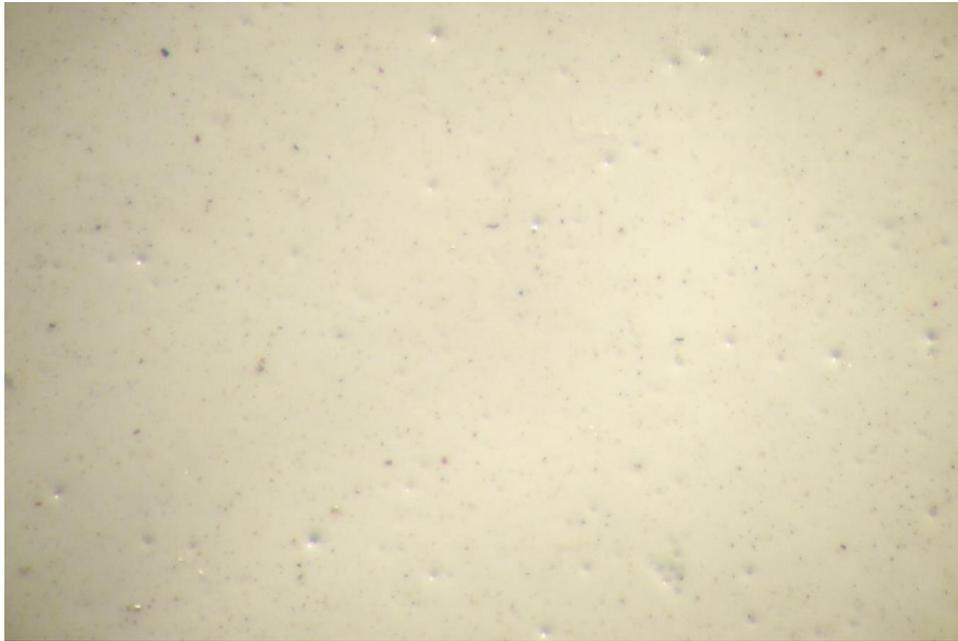


Figura 19.- Acercamiento de la superficie de la placa antes de la prueba.

En la foto se presenta un acercamiento de la placa testigo observándose una superficie plana, blanca y sin agrietamientos.



Figura 20.- Acercamiento de la superficie de la placa después de la prueba.

En la foto se muestra un acercamiento a la placa después de la prueba, la mayor parte de la placa presentaba un aspecto uniforme con leves alteraciones y un color amarillento en toda la placa además de una leve rugosidad en algunas zonas sin llegar al agrietamiento.



Figura 21.- Acercamiento de la parte más rugosa de placa sin llegar al metal.

Sin embargo, en la esquina inferior derecha de la placa, se presentó un agrietamiento en el recubrimiento como se muestra en la foto sin llegar al metal.

Fotos formulación 2



Figura 22.- Formulación 2.

En la siguiente fotografía se observa del lado izquierdo la placa testigo y del lado derecho la placa después de la prueba.



Figura 23.- Acercamiento de la placa testigo.

Un acercamiento del testigo antes de la prueba en donde se observa una superficie lisa, blanca y ligeramente porosa.

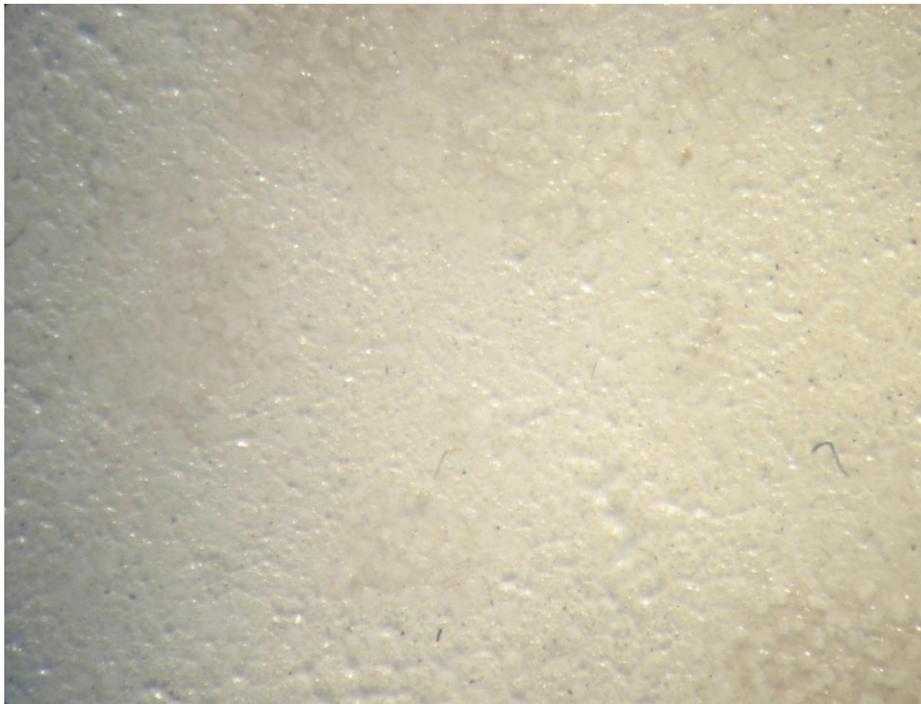


Figura 24.- Acercamiento a la superficie de la placa después de la prueba.

Al observar de cerca la placa después de la prueba, se aprecia un enchinamiento del recubrimiento en toda la superficie sin dejar expuesto el metal y un color pardo.

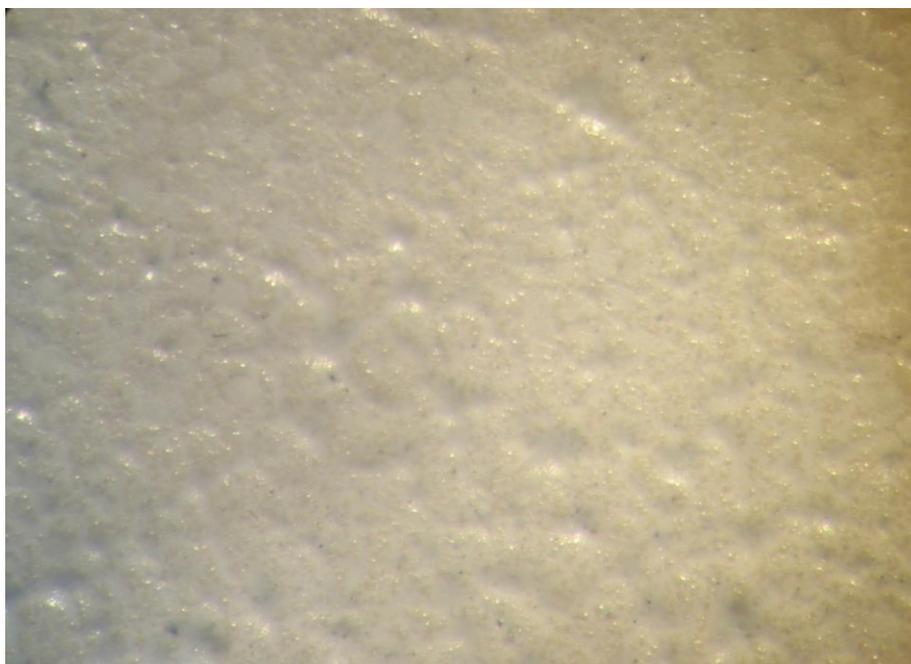


Figura 25.- Acercamiento al ampollamiento.

Se observan también ampollas sobre la superficie de la placa estas se pueden evaluar como tamaño 2 M D de acuerdo con la norma de referencia.

Fotos formulación 3

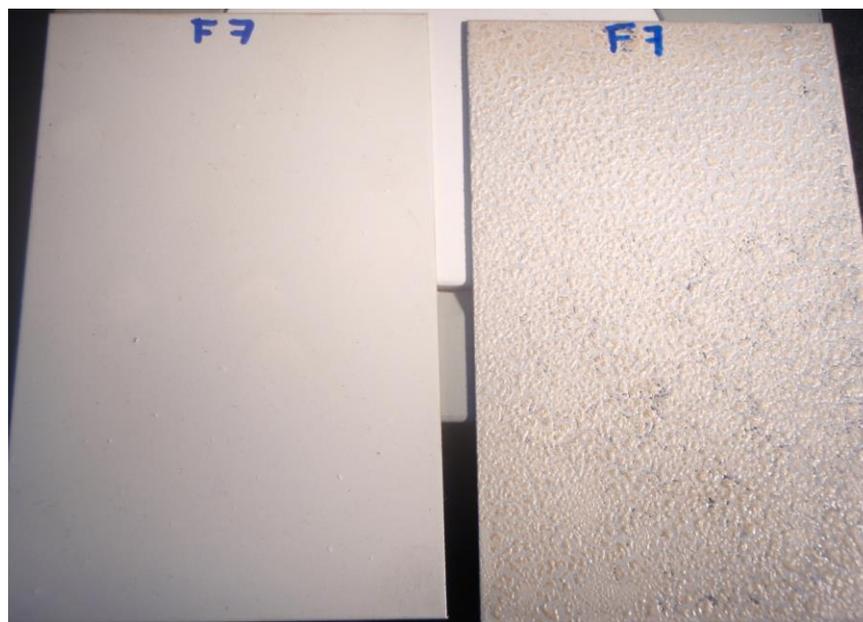


Figura 26.- Formulación 3

Se observan los cambios sufridos las placas de la formulación 3 antes y después de la prueba.

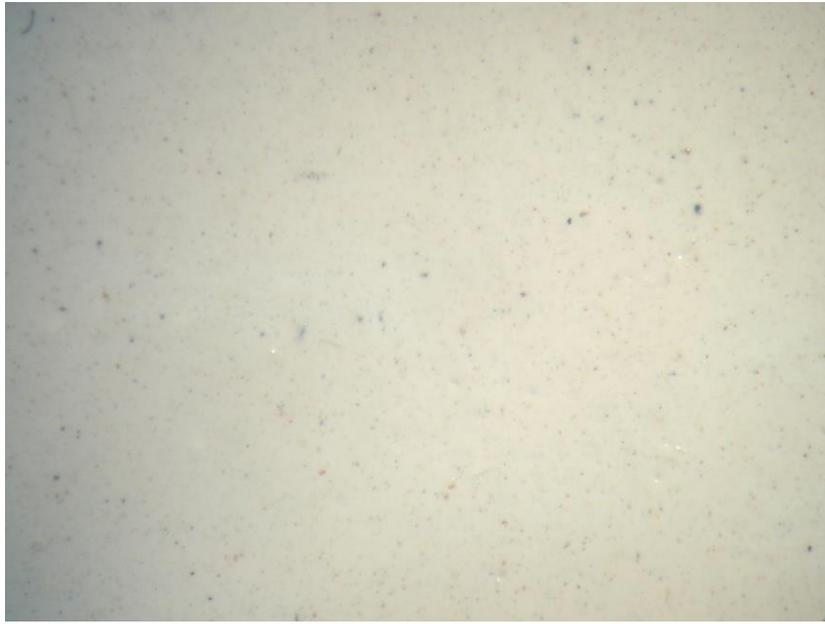


Figura 27.- Acercamiento de la placa testigo antes de la prueba.

Este es un acercamiento de la placa testigo en la cual se pueden apreciar un color blanco y un aspecto liso y uniforme. Se aprecia también un poco de polvo adherido al recubrimiento.

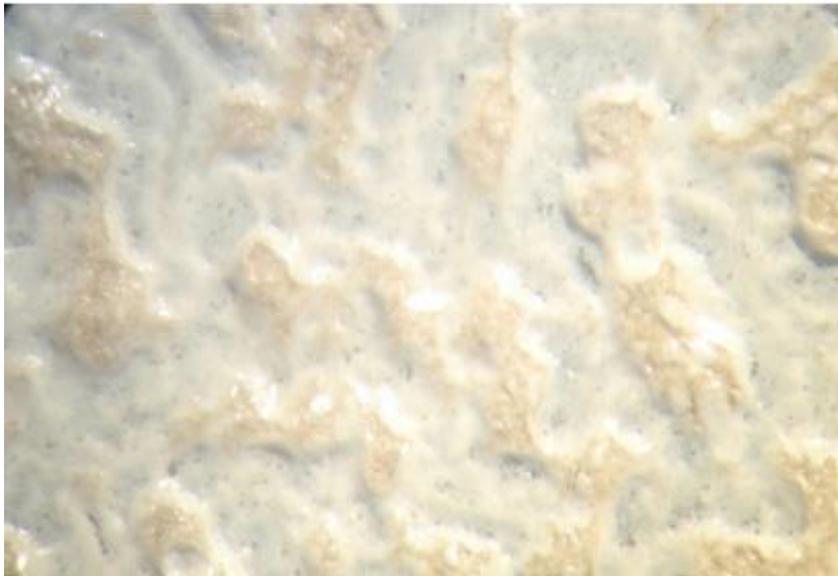


Figura 28.- Acercamiento de la placa después de la prueba.

Esta es la formulación que sufrió más cambios visibles después de la prueba de intemperismo acelerado. Se observa que la pintura perdió cohesión separándose en cúmulos, los cuales presentan un color arenoso efecto de los rayos UV de la cámara.

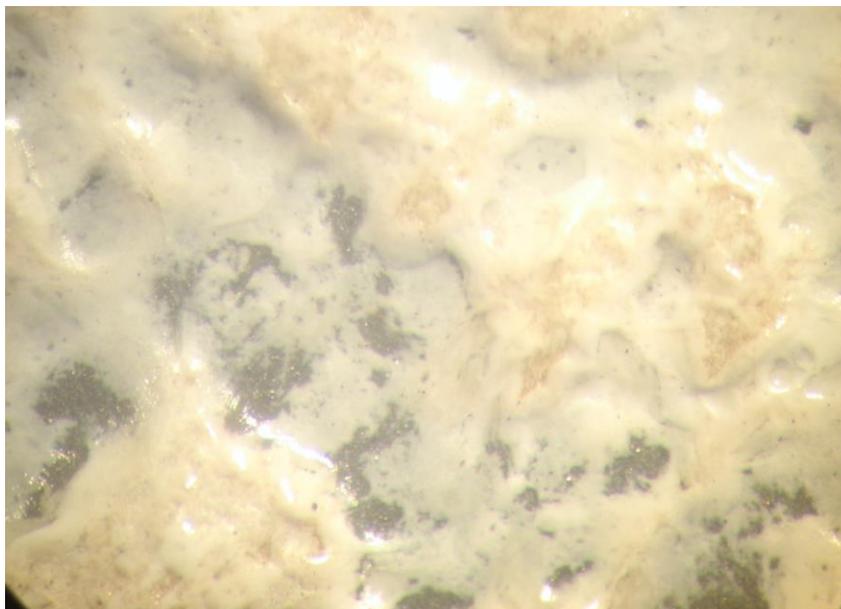


Figura 29.- Acercamiento de la placa donde se observa una ligera exposición del metal.

Al separarse la pintura en cúmulos, hubo partes de la placa que prácticamente quedaron sin recubrimiento, es decir, el metal quedó expuesto.

Fotos formulación 4

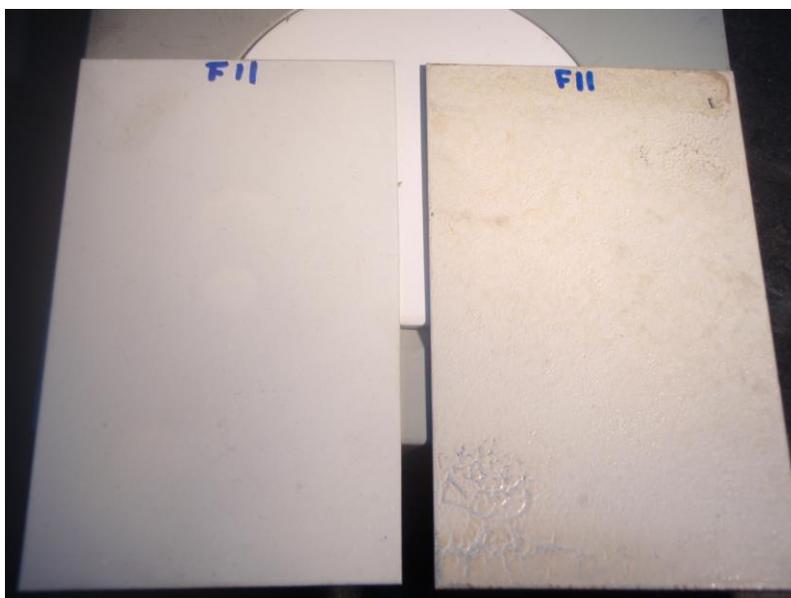


Figura 30.- Formulación 4 placas testigo y de prueba.

En esta foto se observan las placas de la formulación 4 antes y después de la prueba donde se aprecian las zonas atacadas por la radiación de la cámara.



Figura 31.- Acercamiento de la placa testigo.

Antes de la prueba tenía una textura plana y uniforme, así como un color blanco, aunque se observa polvo en la superficie del recubrimiento.



Figura 32.- Imagen de la placa después de la prueba.

Podemos observar que en la mayor parte de la placa el color no prevaleció ya que fue afectado por la radiación de rayos UV tornando el color blanco inicial en un café claro, además, en la parte inferior izquierda se observa que el recubrimiento se aglutino formando cúmulos en unas zonas y descubriendo el metal en otras como se observa en la fotografía.

La placa presenta en general un rompimiento en el recubrimiento.



Figura 33.- Acercamiento de las zonas atacadas por la radiación de la cámara.

Aquí se observa un acercamiento a la placa donde se aprecia el oscurecimiento del color y la formación de cúmulos.

Podemos concluir que, la formulación 3 queda descartada para usarse a la intemperie ya que ante las condiciones ambientales el recubrimiento se rompe y deja expuesto gran porcentaje del metal, el cual queda vulnerable a sufrir ataques de corrosión.

Los recubrimientos 1 y 3 son también descartados pues a pesar de que no presentan un rompimiento tan agresivo como en la formulación 4 empiezan a aglutinarse en las esquinas de la placa dejando así el metal expuesto. Cabe destacar que la formulación 1 no presenta tanta decoloración como la 3 y la 4.

La formulación 2 sería la más recomendable para uso en la intemperie sin embargo presenta un ligero ampollamiento lo que podría permitir el ataque de la corrosión al metal. En cuanto al color, fue la formulación que menos cambios presentó ante la radiación de la cámara.

En la prueba para determinar la velocidad de corrosión, se obtuvieron los siguientes resultados y las siguientes gráficas:

Formulación	Vel. Corrosión (mpa)*	δ corrosión (A/Cm ²)	E corrosión (mV)
1	0.0016	3.641*10-9	-209
2	0.0773	.1698*10-9	-361
3	3.7423	8.192*10-6	-339
4	0.0004	.9952*10-9	-224

Tabla 7.- Resultados de las velocidades de corrosión arrojadas después la prueba.

*Milipulgadas por año.

Pintura	Composición	Velocidad de corrosión (mpa)
Pintura epóxica base agua + benzotriazol	F1 (23.5gr ZnPO ₃ ,0.2gr C ₆ H ₅ N ₃)	0.0016
	F4 (32gr ZnPO ₃ ,0.2gr C ₆ H ₅ N ₃)	0.0004
Pintura base solvente + óxido metálico	F2 (14.5gr ZnPO ₃ ,49.5gr Oxido metálico)	0.0024
	F4 (0gr ZnPO ₃ ,58gr Óxido metálico)	0.0021
Pintura epóxica base solvente + benzotriazol	F23 (0.23gr C ₆ H ₅ N ₃)	0.0076
	F26 (0.23gr C ₆ H ₅ N ₃)	0.0102

Tabla 8.- Comparación y análisis de resultados de la prueba.

Según los datos obtenidos la formulación 4 es la que tiene una mejor protección ya que tiene la velocidad de corrosión más baja, 0.000454 mpa, mientras que la formulación 3 es la que presenta una mayor velocidad de corrosión y por lo tanto una menor protección.

GRÁFICA DE TAFEL FORMULACIÓN 1

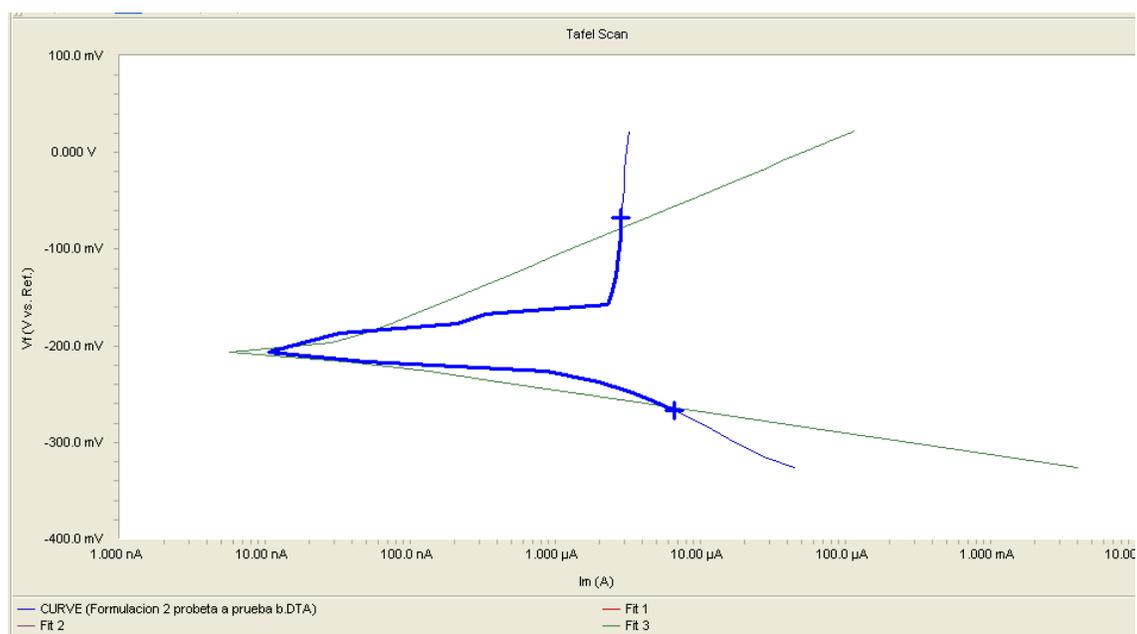


Figura 34. Curva del comportamiento en la prueba TAFEL formulación 1.

GRÁFICA DE TAFEL FORMULACIÓN 2

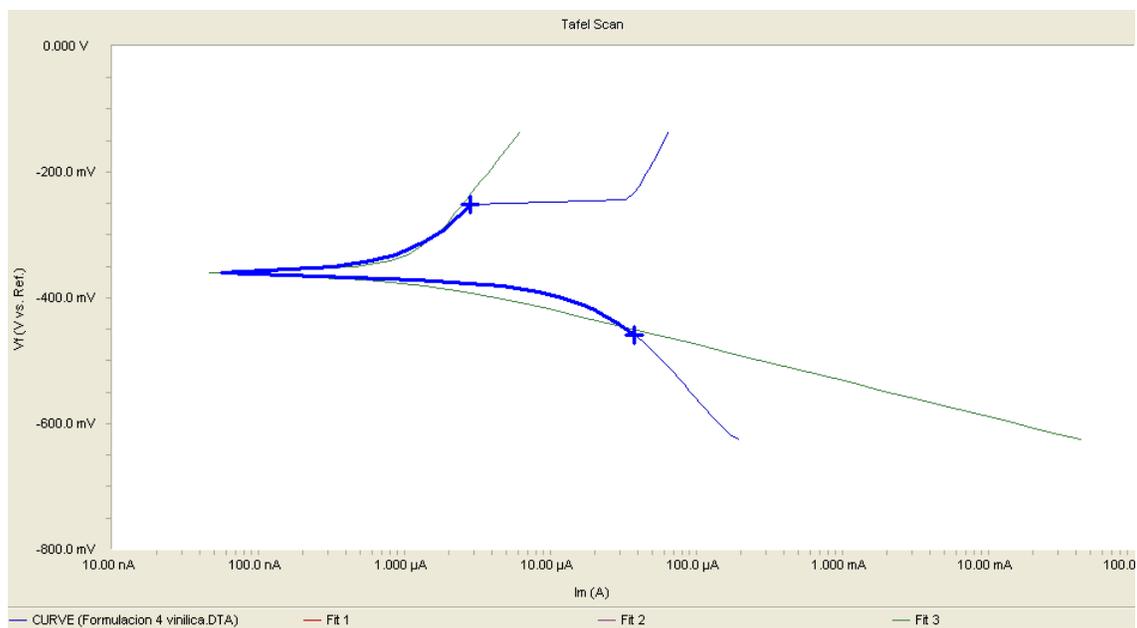


Figura 35.- Comportamiento durante la prueba TAFEL de la formulación 2.

GRÁFICA DE TAFEL FORMULACIÓN 3

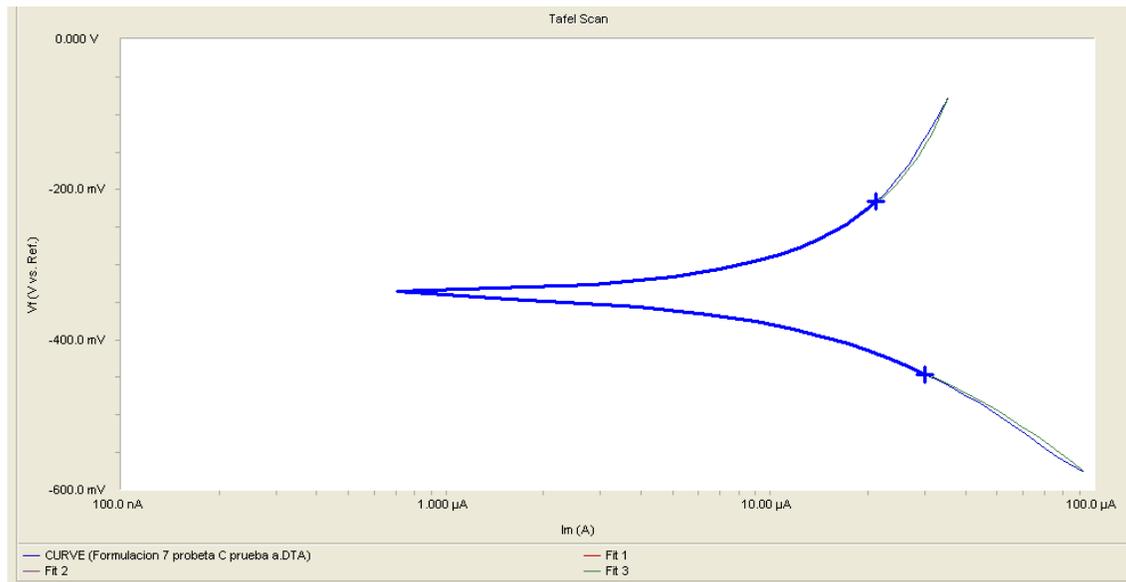


Figura 36.- Comportamiento de la formulación 3.

Se observa en esta grafica que el vértice está más desplazado hacia la derecha, y por lo tanto se tuvo una mayor velocidad de corrosión, por lo que esta formulación queda descartada.

GRÁFICA DE TAFEL FORMULACIÓN 4

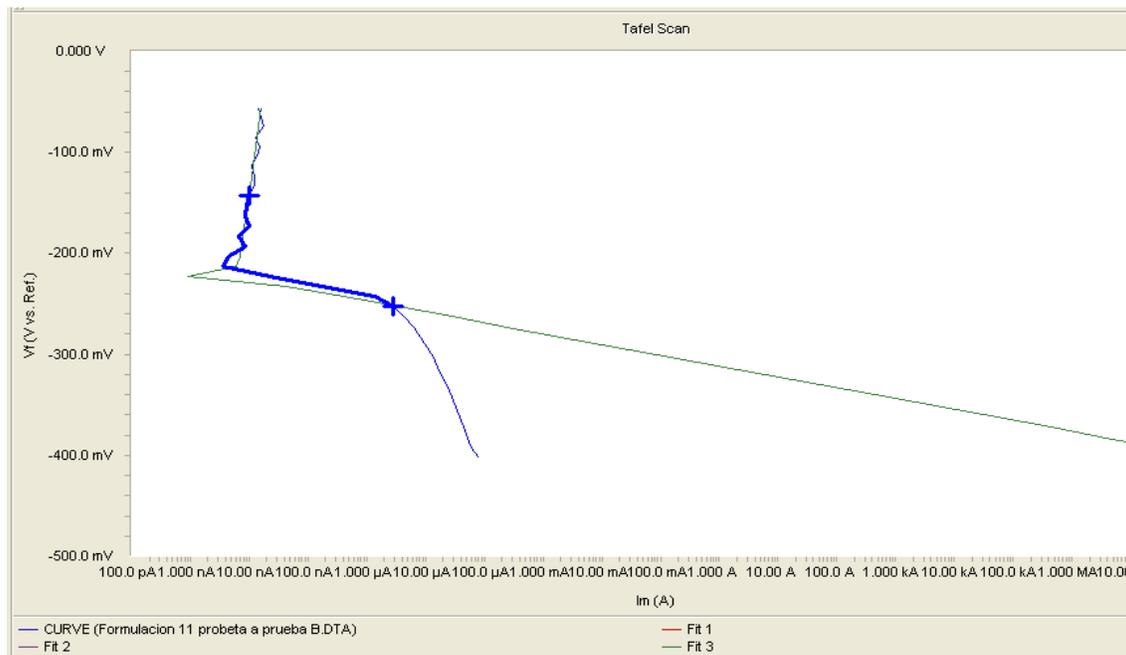


Figura 37.- Comportamiento de la formulación 4 en la prueba TAFEL.

Los vértices de las formulaciones 1 y 4 son los que se encuentran más desplazados hacia la izquierda (10 nA), presentan una tasa de corrosión más baja que los recubrimientos 2 y 3 que están más hacia la derecha. Sin embargo, la formulación 4 presenta menor velocidad de corrosión y menor potencial de corrosión. La formulación 3 queda totalmente descartada como recubrimiento anticorrosivo pues es la que tiene una mayor tasa de corrosión.

Los datos obtenidos en la prueba de adhesión se presentan a continuación:

Formulación	Presión (MPa)² promedio	Adhesión (Diámetro de la probeta de prueba fue de 20 mm)
1	5.76	Sin falla
2	5.67	Sin falla
3	6.47	Sin falla
4	5.36	Sin falla

Tabla 9.- Resultados prueba de adhesión.

Ninguna de las formulaciones presento falla a la prueba de adherencia, la formulación que tuvo un mejor agarre es la formulación 3 con 6.47 MPa.

4. CONCLUSIONES

- 1) Una pintura base agua, no es la más apropiada para formular un sistema protector de la corrosión, aún cuando esta sea adicionada con pigmentos que le ayuden a aumentar su resistencia contra los ataques del medio.

Al inicio de la experimentación, se intentó adicionar óxido metálico laminar a la formulación; sin embargo, al no ser este soluble en agua, y no encontrarse un disolvente de baja toxicidad en el cual poder disolverlo y que fuera miscible en agua, se optó por utilizar el benzotriazol que es uno de los azoles que se agrega frecuentemente a las formulaciones que entran en contacto con metales, como líquidos para frenos, fluidos de corte y anticongelantes, entre otros; y se ha demostrado que es beneficioso en lacas y pinturas anticorrosivas. (6)

- 2) La formulación óptima, en cuanto a menor degradación del color y mayor luminosidad fue la número 2 (35grs de resina + 32grs de ZnPO₃).
- 3) Se determinó que las formulaciones 1 y 2 fueron más resistentes que la 3 y 4 que presentaron ampollamiento en casi la totalidad de la placa. Esto lleva a decir que la formulación 2, puede utilizarse a la intemperie y no tendrá problemas de decoloración, ampollamiento ni agrietamiento.
- 4) La formulación 4 resultó la más resistente a la corrosión en un medio ácido (pH=5.6); ya que la velocidad de corrosión que presenta es la más baja de las 4 formulaciones estudiadas.
- 5) La formulación 2, no obtuvo un resultado tan favorable ya que su velocidad de corrosión es de 0.077 milipulgadas por año, esto nos lleva a decir que la formulación 2, es de hecho una buena formulación en cuanto a que resiste cambios de temperatura y presencia de humedad (estudio en cámara de intemperismo acelerado) y una buena durabilidad del color; sin embargo no podría utilizarse en lugares cuya lluvia sea muy ácida (pH menor a 5) puesto que presentaría una alta velocidad de corrosión.
- 6) La formulación 4 que según las pruebas de potencióstato es la más adecuada, queda descartada como formulación óptima pues con el paso del tiempo presenta ampollas y cuarteaduras en la superficie de la misma.
- 7) Todos los recubrimientos presentaron una buena adhesión.

- 8) La formulación 4, tuvo mejor desempeño en términos de velocidad de corrosión después de 1000 hrs. en la cámara de intemperismo acelerado. Su desempeño en cuanto a la rapidez de corrosión fue de 0.000454mpa. Esto mejora el resultado de la formulación que presentó mejor comportamiento en la investigación respecto a la formulación de sistemas protectores de pintura y la medida de su deterioro mediante diagramas de impedancia por el Ing. Iván Noe Mata Vargas, donde, la mejor formulación tuvo una rapidez de 0.0098mpa. Sin embargo, en apariencia, tras las 1000 hrs de prueba, la formulación 4 fue la que mayor deterioro presentó; lo que nos lleva a decir que no es un buen recubrimiento si se expone a cambios bruscos de temperatura.

- 9) La hipótesis planteada en esta investigación se cumple puesto que la tasa de corrosión que presentó la formulación base agua adicionada con benzotriazol en un medio ácido, mejora la presentada por la formulación base solvente, sin embargo, necesitaría ser complementada con otro aditivo que le permita incrementar su resistencia a grandes cambios de temperatura y humedad.

- 10) La mayoría de los recubrimientos comerciales, son hechos en resinas base solvente, y alcanzan grados muy altos de protección aún en ambientes muy agresivos. Esta investigación mostró que no aún no ha sido muy explorado el camino de las pinturas base agua pero que sí pueden ofrecer buenos resultados y buena protección.

5. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Dávila, René, *Corrosión produce pérdidas millonarias al PIB de México y el mundo*, [en línea], México, JournalMex Periodistas de México, 2013 , Disponible en internet: <http://journalmex.wordpress.com/2013/06/21/corrosion-produce-perdidas-millonarias-al-pib-de-mexico-y-el-mundo/>
- 2) Asociación Española de Normalización y Certificación, UNE-EN 971-1,1996, [en línea], (Revisión 2007), Disponible en internet: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?codigo=N0009328&tipo=N>
- 3) Vite Torres, Jaime, *Recubrimientos fosfatados contra corrosión*, [en línea], México, Contacto nuclear, 2013, Disponible en internet: http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/33_CORROSI%C3%93N.pdf
- 4) Marcano, J, *Los contaminantes atmosféricos*, [en línea], 2010, Disponible en internet: <http://jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf2c.html>
- 5) García, L. Enrique, Apéndice técnico sobre la protección contra la corrosión, [en línea], Dexterfasteners, Madrid, 2010, Disponible en internet: http://www.epidor.com/documentos/ApTecnico_ProteccionContraCorrosion.pdf
- 6) Atkinson J.T.N. y H. VanDroffelaar, *Corrosion and its Control. An introduction to the Subject*, NACE, Houston, 1982
- 7) Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET Cartagena de Indias (Colombia),2008
- 8) Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, *El estado de la calidad del aire en México 18 ciudades*, [en línea] , 2010, Disponible en internet: <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/652/18ciudades.pdf>
- 9) Ecenarro, Bernardo, *Guía de pintado industrial*, [en línea], Polígono Industrial San Lorenzo, Disponible en internet: <http://www.guiasgtp.com/pdf/225-770086-3.pdf>
- 10) Navarra, *Ozono troposférico y smog fotoquímico*, [en línea], Calidad del aire, España, 2012, Disponible en internet:

http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Calidad+del+aire/Informacion/Efectos+globales/ozono+y+smog.htm

- 11) Validación e interpretación de técnicas de captación pasiva para el estudio de los niveles y efectos de ozono troposférico y dióxido de nitrógeno en un área costera mediterránea. [en línea],2011, Disponible en internet:
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/09/htm/sec_10.html
- 12) Suay, J, Rodriguez, M, Razzaq, A, Jarpio y Saura, J. "The evaluation of anticorrosive automotive epoxy coatings by means of electrochemical impedance spectroscopy". Corrosion science, Vol. 46, 2da ed, 2003, Págs. 121-129
- 13) Vázquez Suarez, V, "Determinación de la formulación optima de un recubrimiento epóxico con pigmentos de óxidos metálicos laminares y fosfato de zinc de gran resistencia a la radiación UV". Tesis, UNAM,2008
- 14) Mata Vargas, I, "Formulación de sistemas protectores de pintura y la medida de su deterioro mediante diagramas de impedancia", Tesis, UNAM,2010
- 15) Elsner, E., Cavalcanti, O, Ferraz, "Evaluation of the surface treatment effect on the anticorrosive performance of paint systems on steel", Corrosion Science, 2003, Vol 48, 1ed. Págs.50-62
- 16) Restrepo, O, Forero, A, Díaz, S, "Obtención de un pigmento natural para la formulación de pinturas anticorrosivas",Suplemento de la revista latinoamericana de metalurgia y materiales, 2009, Págs. 159-162
- 17) Yañez Zamora, C.E, "Síntesis y caracterización de películas delgadas del sistema $ZrO_2:8\%Y_2O_3$ mediante la técnica SOL_GEL", Tesis, IPN, 2008
- 18) *Ávila Joel, Senecá Joan, Más allá de la herrumbre*, [en línea], 2005, Disponible en internet:
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/09/htm/sec_10.html

19) González Mónica, *Dióxido de nitrógeno*, [en línea], La Guía, México, 2010, Disponible en internet: <http://quimica.laguia2000.com/general/dioxido-de-nitrogeno>