



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

**ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO EN FÍSICA**

***TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
DOCTOR EN FÍSICA***

**“NIVELES DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN
ATMÓSFERA MARINA PROPORCIONADA POR
RECUBRIMIENTOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL”**

TESISTA: Joel Herradda Villanueva

ASESOR: Dr. Pablo Aguilar Marín

Nuevo Chimbote, julio 2020

PERÚ



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
ESCUELA DE POSGRADO
PROGRAMA DE DOCTORADO EN FÍSICA

*TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE
DOCTOR EN FÍSICA*

**“NIVELES DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN ATMÓSFERA
MARINA PROPORCIONADA POR RECUBRIMIENTOS DE
BAJO IMPACTO AMBIENTAL”**

TESISTA: **Joel Herradda Villanueva**

Revisado y Avalado por;

Dr. Pablo Aguilar Marín

Asesor

Nuevo Chimbote, julio 2020
PERÚ

HOJA DE APROBACIÓN DEL JURADO EVALUADOR

“NIVELES DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN ATMÓSFERA MARINA PROPORCIONADA POR RECUBRIMIENTOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL”

AUTOR : Mg. JOEL HERRADDA VILLANUEVA
ASESOR : Dr. PABLO AGUILAR MARÍN

Tesis de Doctorado Revisada y Aprobada

JURADO EVALUADOR


Dr. Segundo Aristides Távora Aponte
Presidente


Dr. Daniel Sanchez Vaca
Secretario


Dr. Pablo Aguilar Marín
Vocal

FICHA CATALOGRÁFICA

AUTOR

HERRADDA VILLANUEVA JOEL

TÍTULO:

**“NIVELES DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN ATMÓSFERA
MARINA PROPORCIONADA POR RECUBRIMIENTOS DE
BAJO IMPACTO AMBIENTAL”**

TESIS DE DOCTORADO, PROGRAMA DE DOCTORADO
EN FÍSICA, ESCUELA DE POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

ASESOR:

Dr. Pablo Aguilar Marín

1. Protección anticorrosiva
2. Atmósfera marina
3. Recubrimiento de bajo impacto ambiental
4. Corrosión atmosférica
5. Acero de bajo carbono



Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Joel Herradda Villanueva
Título del ejercicio: Tesis Titulo
Título de la entrega: NIVELES DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA...
Nombre del archivo: 2020_JOEL_TESIS_OK.docx
Tamaño del archivo: 24.28M
Total páginas: 188
Total de palabras: 32,198
Total de caracteres: 170,341
Fecha de entrega: 20-feb-2020 01:24p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 1260952459



DEDICATORIA

A mi esposa María Luisa y a mis hijos Juan Antonio, María Beatriz, Joel Alexander y Gabriela Julissa, ellos constituyen impulso, apoyo y razón en mi desarrollo profesional.

A mis padres y hermanos por su ejemplo de esfuerzo, trabajo y superación, motivos que me enorgullecen.

A mis amigos y compañeros de trabajo por su permanente apoyo, la culminación de este estudio no habría sido posible sin esta invaluable contribución.

A Victoria Pereda Rojas por su apoyo permanente e incondicional, siempre
“con fé”

AGRADECIMIENTOS

A CPPQ (Corporación Peruana de Productos Químicos) división de negocios Chimbote comercializadora de pinturas AMERON por su generoso apoyo, provisión de las pinturas y por haber puesto a nuestra disposición su división de servicio técnico.

A Corporación Liñán García por la dotación y maquinado de los sustratos de acero necesarios para el desarrollo del trabajo experimental.

A Industrias Metálicas Hernandez por el invaluable apoyo en la preparación de los sustratos y por haber puesto a nuestro servicio los recursos de su empresa metalmecánica.

A la Universidad Nacional del Santa por el financiamiento al programa de doctorado en Física y haber puesto al servicio de la primera promoción de la que soy integrante, una plana docente de prestigio internacional integrada entre otros por Rejane M. Ghisolfi da Silva y José R. Damas Garlipp de la Universidad Federal Uberlandia de Brasil; Jorge Martínez Collantes de la Universidad Nacional de Colombia y Raúl J. Conejeros Risco de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Chile; así como por haber hecho posible la participación de los mas prestigiosos profesionales para asesorar el desarrollo de nuestras tesis.

A los integrantes del Jurado Evaluador de Tesis, Dr. Pablo Aguilar Marín, Dr. Segundo Arístides Távara Aponte y Dr. Daniel Sanchez Vaca, por sus valiosos aportes para la mejora y culminación de la versión final de la tesis.

Mi agradecimiento especial al Dr. Pablo Aguilar Marín por la dedicación y paciencia para guiar el desarrollo de cada parte del estudio tanto en el aspecto teórico como experimental, y por su generosa contribución intelectual y experiencia para enriquecer el contenido de esta tesis.

A la Srta. Victoria Pereda Rojas, gracias por el generoso e incondicional apoyo en el desarrollo del estudio y por alentar la culminación de la tesis.

INDICE GENERAL

CARÁTULA	i
HOJA DE APROBACIÓN DEL JURADO EVALUADOR	ii
FICHA CATALOGRÁFICA.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
INDICE GENERAL.....	vi
LISTA DE figuras.....	viii
LISTA DE tablas	x
RESUMEN	i
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	13
CAPITULO I	17
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
1.1 PLANTEAMIENTO Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	19
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	25
1.4 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO	25
1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	28
CAPITULO II	29
MARCO TEÓRICO.....	29
2.1. CORROSIÓN ATMOSFÉRICA DEL ACERO DE BAJO CARBONO	29
2.2 RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS ANTICORROSIVOS.....	37
2.3. MARCO CONCEPTUAL: DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	46
CAPITULO III	73
MARCO METODOLÓGICO.....	73
3.1. HIPÓTESIS CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	73
3.2. VARIABLES E INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN	73
3.3. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN	74
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	74
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	75
3.6. ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO.....	75

3.7. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	76
3.8 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS.	81
3.9 TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.	82
CAPITULO IV	83
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	83
4.1. CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A 131-01 Grado A	83
PERFORMANCE PROTECTOR DE LOS RECUBRIMIENTOS	88
CAPITULO V	121
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	121
5.1. CONCLUSIONES	121
5.2. RECOMENDACIONES	123
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	125
ANEXOS	131

LISTA DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1. Representación esquemática del proceso de corrosión de un metal sometido a la acción atmosférica.....	31
Figura 2. Mecanismo de corrosión electroquímica en una superficie de acero con recubrimiento.	45
Figura 3. Estructura de una resina alquídica típica.....	64
Figura 4. Estructura de una resina Acrílica típica.....	66
Figura 5. Estructura de una resina epóxica típica.....	68
Figura 6. Estructura de los siloxanos.....	68
Figura 7. Placas de acero naval ASTM A 131-01 Grado A antes de la preparación de la superficie.....	78
Figura 8. Muestras con recubrimiento de pintura siloxano (PSX 700). La incisión en dos de ellas tiene un ancho de de 0,5 mm.	81
Figura 9. Bastidor de madera con las muestras en forma de placas con recubrimiento de pintura y sin recubrimiento.....	84
Figura 10. Morfología de los productos de corrosión de las placas de acero ASTM A 131-01 Grado A de 150x100 x3 mm, después de dos (a) y tres (b) años de exposición.	86
Figura 11. Una vista más cercana de la placa con tres años de exposición. Las áreas más oscuras corresponden a magnetita (Fe ₃ O ₄).	86
Figura 12. Placa de acero ASTM A 36, de 100x50x1.2 mm, expuesta a la atmósfera costera–urbana de la ciudad de Talara, a 280 m de la orilla del mar	87
Figura 13. Placa de acero ASTM A 36, de 100x50x1.2 mm, expuesta a la atmósfera costera–urbana de la ciudad de Tumbes, a 150 m de la orilla del mar	87
Figura 14. Placas de acero ASTM 131-01 Grado A (que fueron los sustratos para los recubrimientos de pinturas) antes del granallado.	90
Figura 15. Placas de acero ASTM 131-01 Grado A después del granallado al grado metal blanco.....	90
Figura 16. Tres placas de acero ASTM A 131-01 grado A con recubrimiento de pintura “anticorrosiva alquídica modificada,” del fabricante Vencedor después de un año de exposición	91
Figura 17. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A con recubrimiento de la pintura anticorrosiva alquídica modificada,” del fabricante Vencedor, después de dos años de exposición.....	92
Figura 18. Muestras de pintura tradicional alquídica Vencedor anticorrosivo aplicada sobre láminas de acero ASTM A 131-01 grado A al cabo de tres años de exposición	92
Figura 19. Productos de corrosión del sustrato a lo largo de la incisión (y en los bordes)	

al cabo de tres años de exposición en atmosfera marina.....	93
Figura 20. Placa sin incisión después de tres años de exposición. La capa de productos de corrosión cubre la mayor parte de la superficie.....	94
Figura 21. Muestras de pintura acrílica base agua (Amercoat 220) sobre placas de acero ASTM A 131-01 grado A al cabo de un año de exposición.....	97
Figura 22. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con pintura acrílica base agua (Amercoat 220) al cabo de dos años de exposición.....	98
Figure 23. Se aprecia a simple vista la densidad y tamaño de las ampollas en la superficie de la Placa de acero ASTM A 131-01 grado A,.....	99
Figura 24. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con recubrimiento acrílico base agua (Amercoat 220) al cabo de tres años de exposición.....	100
Figura 25. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con Pintura Epóxica de alto contenido de sólidos (Amercoat 240) al cabo de un año de exposición.....	104
Figure 26. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con pintura epóxica de alto contenido de sólidos (Amercoat 240) al final de dos años de exposición.....	105
Figure 27. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A que fueron pintadas con recubrimiento epóxico de alto contenido de sólidos (Amercoat 240) el estado mostrado en la imagen corresponde al término de tres años de exposición.....	106
Figure 28. Una vista mas cercana de la zona de incisión del sustrato ubicado en el lado derecho de la figura 27.....	107
Figura 29. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A que fueron pintadas con recubrimiento Siloxano de altos sólidos (PSX 700) después de un año de exposición.....	111
Figure 30. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con recubrimiento siloxano de altos sólidos (PSX 700) al cabo de dos años de exposición.....	112
Figure 31. Muestra de placa de acero del extremo dercho de la figura 30 pintada con recubrimiento PSX 700 al cabo de dos años de exposición.....	113
Figura 32.. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con recubrimiento Siloxano de altos sólidos (PSX 700) al cabo de tres años de exposición.....	114
Figura 33. Parte mas afectada de las muestras pintadas con PSX 700 que mostramos en la figura 32.....	115
Figura 34. Grado de ampollamiento de los recubrimientos en el transcurso de tres años de exposición.....	120
Figura 35. Grado de oxidación de las muestras pintadas con recubrimientos alquídico, acrílico, epóxico y siloxano en el transcurso de tres años de exposición.....	121
Figura 36. Grado de corrosión alrededor de la incisión en sustratos de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con recubrimientos alquídico, acrílico, epóxico y Siloxano al cabo de tres años de exposición.....	121
Figura 37. Grado de corrosión alrededor de la incisión en sustratos de acero pintadas con recubrimientos de bajo impacto ambiental al cabo de tres años de exposición.....	122

LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Clasificación de corrosividad atmosférica (ISO 9223; ISO 12944-2)	36
Tabla 2. Categorías de corrosividad atmosférica Norma ISO 9223	55
Tabla 3. Permeabilidad al vapor de agua	58
Tabla 4. Composición química del acero naval ASTM A 131-01 Grado A.....	77
Tabla 5. Ubicación de la Estación de Ensayo.....	82
Table 6. Grado de ampollamiento del recubrimiento de pintura “anticorrosiva alquídica modificada” (marca Vencedor) según la norma ISO 4628-2:2005	94
Tabla 7. Grado de oxidación del sustrato pintado con recubrimiento anticorrosivo alquídico “modificado” (marca Vencedor) según ISO 4628-3.....	94
Table 8. Grado de corrosión alrededor de una incisión (norma ISO 4628 - 8) del recubrimiento de pintura “anticorrosiva alquídica modificada”.....	95
Tabla 9. Grado de delaminación alrededor de una incisión (ISO 4628-8) del recubrimiento de pintura “anticorrosiva alquídica modificada”.....	96
Tabla 10. Grado de ampollamiento (ISO 4628-2: 2005) de sustratos pintados con pintura Acrílica base agua (Amercoat 220)	100
Tabla 11. Grado de oxidación (ISO 4628-3) sustratos de acero recubiertos con Pintura Acrílica base agua (AMERCOAT 220).....	101
Tabla 12. Grado de corrosión alrededor de una incisión (norma ISO 4628 - 8) del recubrimiento de pintura acrílica base agua (AMERCOAT 220).....	102
Tabla 13. Grado de delaminación alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8) recubrimiento de pintura acrílica base agua (AMERCOAT 220)	103
Tabla 14. Grado de ampollamiento (ISO 4628-2) en sustratos de acero recubiertos con pintura Epóxica de alto contenido de sólidos (Amercoat 240).....	107
Tabla 15. Grado de oxidación (ISO 4628-3) en placas de acero naval recubiertas con pintura Epóxica de alto contenido de sólidos (AMERCOAT 240).....	108
Tabla 16. grado de corrosión alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8) en placas de acero naval recubiertas con pintura Epóxica de alto contenido de sólidos (AMERCOAT 240).....	108

Tabla 17. grado de delaminación alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8) en placas de acero naval recubiertas con pintura Epóxica de alto contenido de sólidos (AMERCOAT 240).....	110
Tabla 18. grado de ampollamiento (ISO 4628-2) en sustratos de acero recubiertos con pintura Siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700)	115
Tabla 19. grado de oxidación (ISO 4628-3) en sustratos de acero recubiertos con pintura Siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700).....	116
Tabla 20. grado de corrosión alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8) en sustratos de acero recubiertos con pintura Siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700)	117
Tabla 21. grado de delaminación alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8) en sustratos de acero recubiertos con pintura Siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700).....	119

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se ha estudiado los niveles de protección anticorrosiva proporcionada por recubrimientos orgánicos de bajo impacto ambiental, sobre placas de acero de bajo carbono ASTM A 131-01, expuestas a la atmósfera marina de Chimbote, Perú. Placas de dimensiones 100x150x3 mm, sin y con recubrimientos de tipo alquídico, acrílico, epóxico y siloxano, fueron preparadas, expuestas a una distancia de 250 m del mar durante tres años y evaluadas siguiendo lo establecido en las normas ISO 12944, ISO 8503-4, ISO 4288, ISO 4628, ISO 9223, SSPC-SP5, SSPC-PA1, SSPC-PA2, SSPC-SP10, ASTM D 4541, SIS 055900, entre otras. Cierta número de placas con recubrimiento fueron preparadas con incisiones de 75 mm de longitud y 0,5 mm de ancho. A los tres años de exposición, se encontró, entre otros, que para las muestras con recubrimiento, los grados de: ampollamiento (norma ISO 4628-2), oxidación del sustrato (norma ISO 4628-3), corrosión alrededor de la incisión (norma ISO 4628-8), delaminación alrededor de la incisión (norma ISO 4628-8) fueron, sucesivamente: a) para el recubrimiento alquídico, 4(S3)-4(S4)-4(S5); Ri2-Ri3-Ri5; 1-1-2; 0.50-8.15-14.35, b) para el recubrimiento acrílico base agua 0-4(S3)-4(S5); Ri1-Ri3-Ri5; 1-2-2; 0.30-1.36-1.93, c) para el recubrimiento epóxico, 0-3(S4)-4(S4); Ri0-Ri3-Ri5; 1-3-5; 0.23-4.90-7.23, d) para el recubrimiento siloxano, 0-2(S3)-3(S4); Ri0-Ri2-Ri2; 0-1-1; 0.00-0.15-0.25. Los recubrimientos acrílico base agua, epóxico y Siloxano, mostraron los mejores niveles de protección anticorrosiva en atmósfera marina.

Palabras clave: corrosión atmosférica, recubrimientos de bajo impacto ambiental, recubrimiento epóxico, recubrimiento acrílico, recubrimiento de siloxano.

ABSTRACT

In this research work, the levels of anticorrosive protection provided by organic coatings with low environmental impact on ASTM A 131-01 low carbon steel plates, exposed to the marine atmosphere of Chimbote, Peru impact, have been studied. Plates of dimensions 100x150x3 mm, bare and coated with alkyd, acrylic, epoxy and siloxane paints type, were prepared, exposed at a distance of 250 m from the sea for three years and evaluated following the provisions of ISO 12944, ISO 8503-4, ISO 4288, ISO 4628, ISO 9223, SSPC-SP5, SSPC-PA1, SSPC-PA2, SSPC-SP10, ASTM D 4541, SIS 055900, among others standards. A number of coated plates were prepared with incisions 75 mm long and 0.5 mm wide. After three years of exposure, it was found, among other things, that for the coated samples, the degrees of: blistering (ISO 4628-2 standard), substrate oxidation (ISO 4628-3 standard), corrosion around the incision (ISO 4628-8 standard), delamination around the incision (ISO 4628-8 standard) were, successively: a) for the alkyd coating, 4 (S3) - 4 (S4) -4 (S5); Ri2-Ri3-Ri5; 1-1-2; 0.50-8.15-14.35, b) for acrylic coating 0-4 (S3) -4 (S5); Ri1-Ri3-Ri5; 1-2-2; 0.30-1.36-1.93, c) for epoxy coating, 0-3 (S4) -4 (S4); Ri0-Ri3-Ri5; 1-3-5; 0.23-4.90-7.23, d) for the siloxane coating, 0-2 (S3) -3 (S4); Ri0-Ri2-Ri2; 0-1-1; 0.00-0.15-0.25. The water borne acrylic, epoxy and siloxane coatings, provided the best protection levels to steel in the tested marine atmosphere.

Keywords: atmospheric corrosion, low environmental impact coatings, epoxy coating, acrylic coating, siloxane coating.

INTRODUCCIÓN

Los materiales mas utilizados para la fabricación de estructuras son acero, aluminio, bronce, cobre y aleaciones. Estos materiales al trabajar expuestos al ambiente se corroen rápidamente, especialmente, en las zonas costeras por acción de los iones cloruro y sulfatos contenidos en el medio atmosférico combinados con la humedad, polución y temperatura. Los significativos gastos que la corrosión de los materiales acarrea debido a la destrucción de la infraestructura civil e industrial al reducir su vida de servicio, ha demandado el desarrollo y aplicación de sistemas de protección para combatir el fenómeno corrosivo.

Es bien sabido que la corrosión atmosférica es responsable de aproximadamente el 50% de la pérdida económica total cuando las estructuras y equipos metálicos se exponen al aire libre. Los estudios mundiales han demostrado que el costo general de la corrosión asciende al menos al 4–5% del PNB y que el 20–25% de este costo podría evitarse utilizando tecnologías apropiadas de control de la corrosión (Bhaskaran et al., 2005).

En general, el costo de la corrosión de los metales se estima en 6% del PIB mundial (un 3% de costo directo y otro 3% de costos indirectos), según datos del estudio “Corrosion Costs and Preventive Strategies in The United States”. En el caso de España, datos de The Economist referidos a 2007, el costo supera los 48.000 millones de euros. Si nos centramos sólo en el acero, los costos suponen en España al día de hoy el 2,2% del PIB, según los datos que maneja ATEG, la Asociación Técnica Española de Galvanización. Esto en euros supone más de 25.000 millones de euros. Según Baboian (2002) “miembro de ASTM y consultor sobre corrosión, de Greenville, Rhode Island, un estudio realizado por la Oficina Nacional de Estándares (ahora el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) determinó que los efectos económicos de la corrosión totalizaron \$70 mil millones anualmente. Para el año 2002, la Administración de Autopistas de los EE. UU. había aumentado estrepitosamente esa cifra a \$276 mil millones. NACE International (anteriormente la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión) estima que el costo anual de la corrosión en los Estados Unidos en 2013 supera significativamente esa cantidad.”

Según G2MT Laboratories, *El Costo de la Corrosión Anualmente en los EE. UU. es de más de \$1 Billón.* (CENIC Ciencias Químicas, 2015).

La corrosión es un proceso que transforma la masa de un material en óxidos, iniciando el retorno del material a su estado natural, este proceso modifica progresivamente las características bajo las cuales el material cumple con los fines para los que fue elaborado o fabricado. Es la reacción química o electroquímica de un metal o aleaciones con el medio donde se encuentre que ocasiona el deterioro del material y consecuentemente la pérdida de sus propiedades.

La atmósfera contiene agentes corrosivos. Para que la corrosión producida por una atmósfera sea significativa, la humedad relativa del ambiente debe exceder un valor crítico que se encuentra dentro del rango de 60 – 80 % (MICAT, 1988).

Se sabe que la corrosión es un proceso controlable (Koch y Virmani, 2002), uno de los mecanismos de control lo constituyen los sistemas de protección utilizando recubrimientos, son estos recubrimientos los que reciben el impacto de la atmósfera, minimizando la corrosión del material sobre el que se aplicó.

La contaminación del aire es una de las causas básicas de carácter agresivo que afecta a los materiales. Existen muchos tipos de contaminantes como son: humo, polvo, cenizas, gases diversos y otras sustancias; los cloruros y los sulfatos se constituyen en los componentes más agresivos sobre todo en presencia de humedad.

La mayoría de los metales en contacto con el medio ambiente forma un sistema termodinámico inestable. A excepción de los metales nobles, todos los demás reaccionan y se transforman en óxidos. Sin embargo, todos los metales pueden ser usados en las actividades humanas y expuestas al ambiente siempre que su velocidad de deterioro sea aceptablemente baja o si se utilizan medios de protección adecuados como el uso de recubrimientos.

Los recubrimientos orgánicos son los materiales más utilizadas desde hace décadas, tanto para la protección de superficies grandes como pequeñas. Las propiedades de cada polímero determinan las nuevas características, físicas y químicas, de la superficie recubierta. La gran mayoría de las pinturas protectoras

están compuestas por una matriz polimérica y un conjunto de pigmentos e inhibidores, que proporcionan a esta una resistencia elevada a la penetración de agua, así como aumento de la durabilidad del polímero, incrementando su resistencia a la erosión.

Chimbote es una ciudad portuaria ubicada en la costa norte de Perú a orillas del Océano Pacífico, en ella se desarrolla gran actividad industrial en las áreas de pesca, siderurgia transportes y metal mecánica, se encuentra permanentemente bajo la influencia y los efectos corrosivos de la atmósfera marina, la brisa que se desplaza tierra adentro lleva consigo una cantidad considerable de iones cloruro; estos iones producen efectos devastadores sobre materiales metálicos, especialmente aceros; nos referimos a la corrosión por cloruros. Por otra parte, como en todo lugar donde haya actividad humana, sobre todo si esta es industrial y utiliza combustibles fósiles, sumados a ellos los residuos que libera al ambiente el parque automotor, así como muchos otros productos utilizados por el hombre, contaminan la atmósfera con iones sulfato que es otro agente corrosivo.

La acción conjunta de los iones sulfato y iones cloruro sobre los materiales metálicos representa alrededor del 85 % de la corrosión atmosférica en el Puerto de Chimbote según un reporte especializado del año 2009. Muchas actividades portuarias en Chimbote conllevan el uso de materiales metálicos para construcción de estructuras que deben trabajar expuestas directamente a la atmósfera, sistemas de soporte, componentes de maquinarias, equipos y de todo tipo de vehículos de navegación así como de instalaciones en tierra. (Revista Digital de Ingeniería Nacional 2011).

La forma mas utilizada para proteger las estructuras es mediante la selección de recubrimientos orgánicos anticorrosivos (pinturas) de acuerdo con la agresividad corrosiva del medio ambiente. Una inadecuada elección de sistemas de protección anticorrosiva hace que la protección no sea eficiente. Por otra parte, las pinturas que se utilizan como anticorrosivo contienen en su formulación componentes que afectan al medio ambiente tales como cromo hexavalente, plomo y similares; además las formulaciones tradicionales utilizan componentes orgánicos volátiles (COV) que representa alrededor del 60% de contenido en volumen y en el proceso de pintado evaporan directamente al medio ambiente generando contaminación.

Consideramos de vital importancia para la conservación de un ambiente sano que la actividad económica que se desarrolla en lugares con atmósfera marina, utilice sistemas de recubrimientos que estén formulados con componentes amigables con el medio ambiente y eviten los altos contenidos de componentes orgánicos volátiles.

El presente estudio consistió en mostrar el nivel de protección anticorrosiva de los recubrimientos orgánicos base agua y base solvente con altos contenidos de sólidos en volumen de un tipo de acero producido en el puerto de Chimbote por la empresa SIDERPERÚ. Pretendemos que los resultados del estudio contribuyan a que la actividad portuaria dedicada al uso de pinturas anticorrosivas decida migrar progresivamente al uso de pinturas de mínimo impacto sobre el medio ambiente. Por otro lado, los resultados del estudio buscan incentivar la adopción de acciones por los usuarios y la emisión de normas por organismos pertinentes que conlleven a minimizar los impactos negativos sobre la vida y la salud.

Los resultados obtenidos en el estudio muestran que es posible utilizar recubrimientos amigables con el medio ambiente para el mantenimiento de infraestructura portuaria con similares y mejores resultados en la protección anticorrosiva que las obtenidas con el uso de pinturas tradicionales. Los costos son similares y no hay necesidad de contar con infraestructura ni equipos especiales.

Para el período estudiado los recubrimientos base agua y base solvente con alto contenido de sólidos en volumen evidenciaron eficientes niveles de protección anticorrosiva. El impacto sobre el medio ambiente es mínimo y por lo mismo, se minimiza la agresión sobre toda forma de vida.

El estudio se ha organizado y documentado en cinco capítulos, el Capítulo I trata sobre el problema de Investigación, en el Capítulo II se aborda el Marco teórico, remarcando los principales temas que dan soporte al estudio, en el Capítulo III se presenta el marco metodológico, se describe los métodos, las técnicas y los procedimientos que se han aplicado; en el Capítulo IV se presentan los resultados del estudio con nuestras apreciaciones a lo obtenido, finalmente en el Capítulo V se presenta las conclusiones y recomendaciones del estudio, pretendemos con ellos contribuir a la protección del medio ambiente del puerto de Chimbote.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

La corrosión atmosférica es un proceso muy agresivo que causa el deterioro de estructuras, máquinas y materiales colocados en ambientes externos.

La ciudad de Chimbote, está localizada en la zona costera del Perú, sus coordenadas geográficas decimales son: Latitud: -9.0852804, Longitud: -78.578331 (en coordenadas GMS 9° 4' 28" Sur, 78° 35' 37" Oeste). La costa de Chimbote abarca una longitud de 180 Km. La temperatura promedio anual es de 22°C, presenta vientos permanentes en casi todo el año con velocidades de aproximadamente 35 km/h, la humedad relativa es de 82%. La población de Chimbote según datos del INEI es de 425 367 habitantes.

Las principales actividades industriales que se desarrollan en Chimbote están dedicadas a la pesca, la metalmecánica, la siderurgia y los astilleros, así tenemos que en Chimbote operan alrededor de dos mil embarcaciones pesqueras, llegando a duplicarse en ciertas épocas del año, las empresas que procesan conservas y harina de pescado son alrededor de cincuenta, siendo las más representativas Austral Group, Hyduk S.A., Copeinca. También debemos resaltar que en Chimbote funcionan aproximadamente veinte astilleros con actividad permanente, entre ellos tenemos a Sima Chimbote, Jc. Astilleros S.A., Luguensi, Lezama & García, entre otros; otro rubro representativo de la actividad económica de Chimbote lo constituye la siderúrgica SIDERPERÚ (GERDAU) la planta más grande a nivel nacional dedicada a la producción de aceros.

Un factor que influye en la composición del ambiente atmosférico de Chimbote es el hecho de que la carretera panamericana norte cruza la ciudad en el sentido norte-sur corriendo paralela a la orilla de playa, a una distancia de cuatrocientos metros, como se sabe por la carretera panamericana se transporta mercancías y personas en unidades de transporte que consumen combustibles fósiles cuyos desechos son

esparcidos al ambiente; a ello se suma la actividad permanente de veintisiete empresas de transporte local de pasajeros con alrededor de dos mil automóviles y microbuses que también recorren la carretera panamericana como parte de sus rutas; es de notar que la quema de combustible en el parque automotor es significativa.

Por su cercanía al mar, la vida útil de los componentes metálicos de la infraestructura civil e industrial de Chimbote depende completamente de la protección con pinturas, si los procedimientos para el pintado se realizan utilizando recubrimientos de calidad garantizada, siguiendo cuidadosamente lo prescriben las normas técnicas y estableciendo sistemas adecuados, puede lograrse protección adecuada de entre ocho a quince años como ocurre en infraestructura portuaria y naviera. Se estima que el tiempo de vida útil de una estructura metálica sin protección y expuesta a atmósfera marina es de aproximadamente dos años.

Estudios realizados sobre la corrosividad de la atmósfera (Aguilar et al., 2011), revelaron que, en la franja costera de Chimbote, desde la orilla del mar hasta 12 Km, las categorías de corrosividad de la atmósfera son, muy alta y extremadamente alta C_5 y $>C_5$, respectivamente (ISO 9223).

Los gastos que acarrea los efectos del fenómeno corrosivo se estiman en alrededor del 57.4% de los gastos de mantenimiento y la protección de estructuras metálicas insume alrededor del 45 % del presupuesto de mantenimiento en empresas de Chimbote.

Los propietarios de infraestructura metálica tratan de evitar la corrosión recubriendo los componentes de la infraestructura con recubrimientos metálicos (galvanizado, cromado, estañado, etc.) y recubrimientos orgánicos (pinturas anticorrosivas) seleccionadas en la mayoría de casos en forma empírica y sin criterios técnicos, solo siguiendo recomendaciones de los proveedores locales.

Es necesario identificar el efecto de la corrosión atmosférica sobre los metales expuestos a ella y llevar a cabo estudios del desempeño de las formulaciones de pinturas que se vienen utilizando, teniendo en cuenta la tendencia mundial de evitar

el uso de pinturas con componentes dañinos a la salud y contaminantes del medio ambiente. Las pinturas que se suelen aplicar actualmente contienen en su formulación elementos perjudiciales tales como cromo hexavalente, plomo, etc.

Tratar de cambiar los hábitos de los usuarios, adquiridos durante años, requiere de la realización de una actividad cuidadosa y para ello debemos contar con resultados de estudios realizados con procedimientos detallados y resultados claros, apoyados en normas técnicas que lo sustenten.

Las poblaciones ubicadas en ciudades a orillas del litoral peruano tienen que luchar continuamente contra los efectos corrosivos del medio atmosférico en el que viven; en la ciudad de Chimbote ocurre esto, su actividad industrial insume gran cantidad de metales principalmente aceros, destinada a infraestructura que estará expuesta al ambiente, al estar ubicada a orillas del mar y al hacer uso de combustibles fósiles en su parque automotor y en las actividades de proceso industriales del rubro de pesca, siderurgia, metalmecánica, etc se presentan dos agentes corrosivos el spray marino que contiene cloruros y la quema de grandes cantidades de combustibles como petróleo, gasolina y otros genera sulfatos.

1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La ciencia de la corrosión atmosférica (corrosión que ocurre en materiales expuestos al medio ambiente) tiene menos de un siglo de antigüedad. A partir de la década de 1920, W.H.J. Vernon en Inglaterra comenzó experimentos sistemáticos en corrosión atmosférica (Leygraf et al., 2016). Excepto por una mayor sofisticación en la instrumentación, sus experimentos fueron muy similares a los de hoy: limpió muestras de metal, las expuso a concentraciones específicas de gases, como SO₂ y CO₂, o a ambientes naturales al aire libre y determinó las tasas de corrosión y los principales productos de corrosión.

Almeida et al. (2000) resumieron los resultados obtenidos en el proyecto MICAT para especímenes de acero dulce expuestos durante 1 a 4 años en 47 atmósferas marinas en la región iberoamericana. Observaron algunas desviaciones entre los resultados de la categoría de corrosividad obtenidos según la estandarización ISO.

Dos atmósferas marinas MICAT mostraron tasas de corrosión del acero de más de 300 μm / año.

Morales et al. (2005) han expuesto durante tres años láminas de acero al carbono, zinc y cobre a la acción de diferentes atmósferas en varios sitios de prueba distribuidos en las islas occidentales del archipiélago canario (España). Descubrieron que las tasas de corrosión excedían las establecidas por la Norma ISO 9223 y tenían que ampliar los rangos de esta norma para incluir áreas costeras de las regiones tropicales y subtropicales.

Ma et al. (2009) analizaron el efecto del Cl-ión sobre la tasa de corrosión atmosférica del acero al carbono. Expusieron las muestras de metal a un entorno atmosférico marino (95 y 375 m de la línea de mar), así como a un entorno atmosférico industrial. Sus resultados mostraron que Cl-ion influye en la velocidad de corrosión, así como en la morfología y composición de la capa de óxido.

Chen et al. (2014) estudiaron el efecto del SO₂ sobre la corrosión de un acero de baja aleación en atmósferas industriales costeras simuladas. Los resultados indicaron que la ganancia de peso de corrosión del acero aumentó en un primer momento al aumentar el contenido de SO₂ a un cierto nivel y luego disminuye al aumentar aún más el contenido de SO₂. Además, ese mayor contenido de SO₂ promovió la formación de α - FeOOH e inhibió la formación de γ - FeOOH.

Los recubrimientos orgánicos son el modo más común, versátil y rentable de protección contra la corrosión para objetos y estructuras metálicas (Scholff, 2005; Deyá et al., 2010).

Hay muchos factores que determinan la duración del recubrimiento, entre los cuales podemos mencionar su naturaleza, composición y espesor, así como la naturaleza y preparación del sustrato, el método de pintado y el medio ambiente (Alig et al., 2009; Morcillo, 1999; Amirudin y Thierry, 1996).

La degradación exterior de los recubrimientos orgánicos es un fenómeno complejo influenciado por la humedad, la radiación solar, la temperatura, la contaminación y muchos otros parámetros (Almeida et al., 2001; Deflorian et al., 2007).

Cadena et al. (2012) expusieron recubrimientos alquídicos protectores en ambos lados de sustratos metálicos en sitios de entornos urbanos e industriales de Ecuador durante 18 meses. Encontraron que los recubrimientos alquídicos mostraban decoloración, fisuras y oxidación, sin evidencia de ningún otro defecto.

Lyon et al. (2016) investigaron los mecanismos de falla de los recubrimientos y cómo funcionan los recubrimientos protectores. Mostraron cómo la heterogeneidad que conduce a variaciones electroquímicas es importante en la estructura del polímero y afirmaron que no existe un mecanismo protector único en los recubrimientos orgánicos.

Qian et al. (2009) desarrollaron un recubrimiento epoxi-siloxano de dos partes curado con aminosilano para proporcionar protección contra la corrosión en el acero al carbono. Encontraron que los recubrimientos resultantes no mostraron degradación de su resistencia a la corrosión después de un mes de pruebas de inmersión química en condiciones alcalinas, ácidas y salinas.

Echeverría et al. (2016) evaluaron ocho recubrimientos que consisten en imprimaciones, capas de acabado y combinaciones de imprimaciones / capas de acabado. Encontraron que los sistemas de recubrimiento que comprenden una capa de acabado de epoxi-siloxano ofrecen una mejor protección contra la corrosión del acero que su contraparte con la capa de acabado de poliuretano. La capa superior de epoxi-siloxano y el sistema de recubrimiento a base de agua epoxi-poliuretano también tuvieron excelentes propiedades protectoras.

Simancas (1992) investigó sistemas de pinturas vinílico, clorocaucho, poliuretano, epoxi y otros aplicados sobre sustrato de acero y expuestas al medio atmosférico durante períodos prolongados. En el caso de los sistemas alquídico y epóxi-poliuretano el deterioro se manifestó transcurridos los seis primeros meses de exposición, en los demás sistemas el deterioro apareció transcurrido unos dos años de exposición. Se destaca el efecto protector de los recubrimientos ricos en zinc debido a que el zinc puede proteger catódicamente al acero.

Forsgren (2002) de Swendish Corrosion Institute muestra que los estudios realizados desde los efectos del clima sobre las propiedades físicas de las pinturas, en

particular las de base agua, el comportamiento en spray marino nos muestra como las pinturas de bajo impacto sobre la atmósfera avanzan sustituyendo a las pinturas base solvente, debido a los grandes avances en la formulación en base a los resultados de estudios que se vienen realizando en diferentes lugares.

Elsener (2003), indica que el uso de las pinturas anticorrosivas base agua constituyen el 30% del volumen de pinturas utilizadas en Europa y en los Estados Unidos y que el 10% lo constituyen las de alto contenido de sólidos con una tendencia a seguir incrementando estos porcentajes.

Rašcović et al. (1997), formularon y ensayaron pinturas de resinas alquídicas y epóxicas con pigmentos ecológicos. Concluyeron que pigmentos tóxicos basados en plomo y cromo pueden ser reemplazadas por los pigmentos no tóxicos modificados ortofosfato y polifosfato. Estas nuevas pinturas tienen la misma performance que sus antecesoras basadas en plomo y cromo.

Keijman (1999), estudió sistemas de pinturas base agua y base solvente de silicato de zinc y zinc epoxi (sin acabado); la exposición a niebla salina muestran notable diferencia entre las pinturas zinc epoxi y zinc silicato con espesor seco de $75\mu\text{m}$ sobre sustrato de acero, tanto la de base agua como la de base solvente de silicato de zinc muestra excelente performance hasta por 10000 horas; los zinc-epoxis aplicados en similares condiciones muestran deterioro en la cara expuesta al spray salino en períodos de 1000 horas de exposición.

Forsgren (2002) realizó trabajos que muestran los efectos del clima sobre las propiedades físicas de las pinturas base agua y base solvente, revelando como avanzan las pinturas de bajo impacto sobre la atmósfera, sustituyendo en muchos casos a las pinturas base solvente.

Zheludkevich et al (2005) proponen la incorporación de nano partículas inorgánicas por dopaje para mejorar las propiedades contra la corrosión del sol-gel; menor porosidad, menor agrietamiento, mejora en las propiedades mecánicas; estas bondades las hace mejores candidatas para sustituir a los pre tratamientos basados en cromato en las pinturas tradicionales.

Constantin et al. (2009) estudiaron el comportamiento anticorrosivo de pinturas orgánicas nano compuestas encontrando muy buenos resultados.

Kinlen et al. (2007) hicieron estudios en sistemas de pinturas basados en polímeros electroactivos puros o en combinación con compuestos específicos inhibidores de corrosión. Estos proveen la base para pinturas efectivas que eliminan la necesidad de cromo VI en aplicaciones aeroespaciales. Resultados de ensayos en spray salino sugieren que el dopado de polyanilina con dimercapto thiadiazole es un sustituto prometedor para el cromato como aditivo primer.

Ynfantis y Depountis (2008), sugieren el uso de pinturas Silano Sol-gel como excelentes sustitutos de las pinturas que contienen cromato. Ellos formularon y aplicaron el Silano Sol-gel amigable ambientalmente para la protección del aluminio Al 5005. Sus resultados confirman que las películas de Silano sol-gel ensayadas, son buenos recubrimientos anticorrosivos para aleaciones de aluminio.

Zheludkevich et al. (2008), reportan que películas de pintura Chitosan de 15 micrones de espesor aplicados sobre sustratos AA2024 y HDG, un polisacárido no tóxico amigable con el medio ambiente constituye una buena alternativa anticorrosiva.

Pereyra et al. (2010), diseñaron pinturas protectoras para sustratos metálicos para controlar la cinética de la corrosión de manera eficiente y ecológicamente aceptable. Las pinturas se formularon con un silicato inorgánico nano-estructurado de alta relación sílice/álcali como material formador de película y pigmentadas con zinc metálico laminar como inhibidor de la corrosión, empleando silicato de calcio como espaciador de partículas y, en algunos casos, borosilicato de calcio como inhibidor de refuerzo. Señalan que es importante definir adecuadamente la composición del pigmento (relación zinc laminar/nano-zinc/extendedor). La incorporación de un pigmento inhibidor de la corrosión metálica a las imprimaciones anteriormente citadas mejoró la eficiencia de los mismos.

En Iberoamérica, a través del proyecto PATINA (2001) se han realizado estudios de pintura no tóxicas capaces de proteger con gran eficiencia superficies de acero expuestas a condiciones atmosféricas altamente agresivas.

En el año 2001, científicos de la Red Protección Anticorrosiva de Metales en la Atmósfera después de haber realizado estudios en Iberoamérica concluyen que se dispone de nuevas tecnologías de recubrimientos de pintura capaces de proteger con gran eficiencia superficies de acero expuestas a condiciones atmosféricas altamente agresivas.

Noriega, Flores y Caprari (2003), dan cuenta que formularon y ensayaron en atmósfera de categoría de corrosividad C5 cuatro pinturas anticorrosivas base agua, además de la exposición natural a la que se sometieron, también dan cuenta que las formulaciones fueron sometidas ensayos de niebla salina neutra, ensayo de humedad y ensayo cíclico acelerado; se inspeccionó grado de ampollamiento y grado de corrosión; concluyeron que los ensayos de niebla salina y cíclico mostraron una correlación aceptable con el ensayo de exposición atmosférica en la estación de ensayo de la ciudad de Lima catalogada como medio con categoría de corrosividad C5, para predecir sólo el buen comportamiento de los sistemas anticorrosivos base acuosa a base de resinas acrílicas.

Cynthia Challener (2008) publicó un trabajo titulado *Developments in High Performance Waterbornes*, en él da cuenta de la realización de un review a la más reciente literatura sobre pinturas base agua de los tipos Epoxicos, Polyuretanos, Acrílicos, Siloxanos, entre otros, mostrando la alta performance de estos sistemas en las diferentes aplicaciones que se les dio.

Brian Goldie (2009) en su trabajo *What's New in Environmentally Friendly Coating Raw Materials*, concluye que nuevas formulaciones de pinturas con alto contenido de sólidos en volumen y de fácil aplicación sustituyen satisfactoriamente a las pinturas base solvente de altos COV.

En la costa norte del Perú se ha venido llevando a cabo estudios sobre la corrosividad atmosférica y sus efectos. (Aguilar et al., 2003). Particularmente, en los períodos 2002-2004 y 2002-2005, se han llevado a cabo estudios de la corrosión

atmosférica en una franja costera de aproximadamente 650 Km de longitud y 20-23 Km de ancho, desde la ciudad de Huarney (departamento de Ancash), hasta la ciudad de Chiclayo, (departamento de Lambayeque).

En la ciudad de Trujillo Perú, Aguilar et al. (2002), realizaron ensayos de exposición natural en el balneario de Buenos Aires, entre los años 1997 al 2002, exponiendo probetas con recubrimientos de pintura epóxica poliamida amina; encontraron que, para períodos de exposición de 3, 6, 9 y 12 meses: el delaminado del recubrimiento poliamida fue mayor que el delaminado del recubrimiento amina, en el entorno de las incisiones. Para el rango de espesores ensayados, la adherencia del recubrimiento poliamida mostró una mayor dependencia con el tiempo.

Así mismo, desde el año 2007 se ha ejecutado el proyecto: “Evaluación de la franja de corrosión de la costa peruana”, por encargo de la empresa estatal OSINERGMIN, cuya culminación fue el año 2011.

Se determinó que para la franja costera de cero a dos kilómetros la categoría de corrosividad era alta C4 y muy alta C5 La atmósfera cercana al mar suele estar caracterizada por categorías de corrosividad C4 y C5 y >C5. En este tipo de ambiente predomina la presencia de iones cloruro (Cárdenas y colaboradores, 2011).

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál es el nivel de protección anticorrosiva en atmósfera marina proporcionada por recubrimientos base agua, y base solvente con alto contenido de sólidos en volumen aplicadas sobre láminas de acero naval, en el transcurso de tres años de exposición en la Bahía El Ferrol en Chimbote?

1.4 DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio está centrado en la utilización de recubrimientos del tipo industrial marino Acrílico base agua, Epóxico y Siloxano base solvente de alto contenido de sólidos en volumen (mayor o igual a 70 %) Para hacer comparaciones de desempeño se utilizó el recubrimiento anticorrosivo Alquídic tradicional base solvente muy aceptado en el mercado local.

Se ha utilizado como sustratos láminas de acero ASTM A 131-01 Grado A producido por SIDERPERÚ, con dimensiones de 150 x 100 x 3 mm, las muestras una vez preparadas y caracterizadas siguiendo lo prescrito en la norma ISO 12944-2 se expusieron al medio atmosférico en la bahía El Ferrol en el puerto de Chimbote ubicada en la costa norte de Perú, el nivel de corrosividad atmosférica de este medio es catalogada como C4 y C5 (Aguilar et al., 2009), (ISO 12944-2); en el periodo comprendido entre enero del 2010 a diciembre del año 2012.

Las muestras se prepararon para un periodo de duración bajo (L) menor a cinco años (ISO 12944-2)

Los recubrimientos se aplicaron a doble capa, sin sistema, mediante técnica de aerografía utilizando pistola neumática, el espesor seco promedio fue: Alquídico 75µm, Acrílico 125µm, Epóxico 450µm y Siloxano 325µm, según recomendación del fabricante (ver Anexo D). Las características físicas fueron evaluadas al cabo de: uno, dos y tres años de exposición en atmósfera marina, para conocer el nivel de protección anticorrosiva sobre acero naval proporcionada por cada recubrimiento se hicieron evaluaciones del grado de ampollamiento, grado de oxidación y grado de corrosión y delaminación alrededor de una incisión conforme a la norma ISO 4628.

1.5 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

La corrosión puede llevar al deterioro o a la destrucción del material y generar pérdidas económicas significativas a sus propiedades; dependerá tanto de las características del agente corrosivo, de las condiciones del medio ambiente y de la temperatura, como del tipo de material y de otros factores tales como esfuerzos mecánicos a que se encuentra sometido el mismo (Blas y Bobadilla, 2017).

Uno de los más graves problemas causados por la actividad humana, es la corrosión de los materiales como consecuencia de la agresividad atmosférica debida a la contaminación, en ellas están comprendidas, el deterioro y la destrucción de las estructuras metálicas, construcciones que utilizan metales y aleaciones, debido a que más del 80% de ellas están expuestas al medio ambiente.

Las pérdidas debidas a la corrosión están relacionadas directamente con el tipo de atmósfera a la que son expuestos los materiales. Estas atmósferas pueden ser del tipo rural, urbana, marina o industrial, cada una de ellas presenta un grado de agresividad que provocan deterioro en los materiales expuestos en ellas cuyos costos representan pérdidas económicas muy significativas, llegando a sumar millones de dólares que significan entre el 3% al 6% del PBI, y afectan a las economías de todos los países del mundo.

Chimbote es una ciudad ubicada en una bahía rica en recursos marinos con una importante industria pesquera y siderúrgica las misma que impulsan una gran actividad metalmeccánica, los materiales metálicos se ven en toda actividad humana, sobre las estructuras expuestas se pueden apreciar los efectos devastadores de la agresividad del medio ambiente con categoría de corrosividad C4 y C5 (Aguilar et al., 2003; ISO 12944-2), sobretodo en las estructuras de las embarcaciones marinas (alrededor de mil en el puerto de Chimbote), de los muelles, vehículos de transporte y de cualquier otra estructura que se construya; la atmósfera local es cada vez mas agresiva debida a la contaminación por emisión de residuos de las plantas que elaboran conservas y harina de pescado, de los diferentes procesos de producción de la planta siderúrgica por la quema de combustibles fósiles que también ocurre en vehículos de transporte de circulación local e interprovincial, agravada por la humedad del ambiente y el spray marino.

La inversión que deben realizar los propietarios para proteger las estructuras de sus instalaciones es significativa y casi la totalidad de ellas actualmente está dirigida al uso de recubrimientos del tipo Industrial Marino de base solvente, este tipo de pintura lleva como componentes elementos que contaminan el medio ambiente como el cromato de zinc que es un elemento tóxico y cancerígeno pigmento muy utilizado en la fabricación de anticorrosivos, además están los componentes orgánicos volátiles que representan alrededor del 60% del volumen de las pinturas que se utilizan; debida a su agresividad se hace necesario sustituir estas pinturas por otras cuya composición no contamine el medio ambiente, es necesario conocer el comportamiento de los recubrimientos base agua y base solvente de alto contenido de sólidos en volumen, en cuya composición se sustituya el cromato de zinc, plomo y otros componentes tóxicos por componentes no tóxicos como los fosfatos de zinc, tanio metálico, óxido de zinc, etc. (Perez, et al., 1999)

Creemos que es de vital importancia minimizar el uso de los componentes orgánicos volátiles utilizando altos contenidos sólidos en las formulaciones de las pinturas; también creemos que es importante estudiar el comportamiento de las pinturas base agua en ambiente industrial marino.

1.6 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el nivel de protección anticorrosiva sobre superficie de acero naval proporcionada por recubrimientos de bajo impacto ambiental en atmósfera marina con categoría de corrosividad C4 y C5.

1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el grado de ampollamiento y grado de oxidación de recubrimientos: alquídico base solvente, acrílico base agua, epóxico y siloxano de altos sólidos aplicadas sobre sustrato de acero y expuestas a la acción de la atmósfera en ambiente marino en Chimbote.
- Determinar el grado de corrosión y delaminación a partir de una incisión de los recubrimientos base agua y base solvente de alto contenido de sólidos en volumen aplicados sobre sustrato de acero y expuestos en atmósfera marina.
- conocer las ventajas y desventajas en la utilización de los recubrimientos base agua y base solvente de alto contenido de sólidos para la protección anticorrosiva de acero en un medio atmosférico marino.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. CORROSIÓN ATMOSFÉRICA DEL ACERO DE BAJO CARBONO

Diversos metales (acero, aluminio, cobre, zinc, etc.) son fabricados mediante procesos de fusión de la materia prima a altas temperaturas con grandes consumos de energía y de solidificación (enfriamiento) hasta la temperatura ambiente. Estos metales a temperatura ambiente, son energéticamente inestables y, en un medio acuoso, tienden a estabilizarse formando complejos compuestos químicos con las sustancias del medio ambiente en el que se encuentran inmersos: los átomos de los metales se combinan químicamente con aquellos del medio formando diversos productos. Se dice que el metal se corroe y pierde masa (Forsgren, 2017). La corrosión de un metal es una reacción espontánea del material ante el medio ambiente circundante. Hay transferencia de cargas eléctricas y reacciones químicas.

La corrosión de los metales producida por la atmosfera terrestre (corrosión atmosférica) tiene lugar cuando la humedad del aire se manifiesta como una delgada capa de agua depositada sobre la superficie metálica. Esta película de agua suele contener sustancias disueltas tales como: oxígeno, cloruros, óxidos de azufre, sulfatos, óxidos de nitrógeno, dióxido de carbono o iones metálicos. Algunas de estas sustancias provienen de la atmósfera y otras son productos de la corrosión del metal. En lugares marinos, los iones cloro Cl^- que contiene el agua de mar son transportados hacia las superficies metálicas por el viento. Sobre la superficie de los metales se forman las llamadas *celdas de corrosión* formada por la película de agua (el electrolito) y áreas localizadas (cátodos y ánodos) con circulación de corriente de electrones (Allam, Arlow, and Saricimen, 1991), como se aprecia esquemáticamente en la Figura 3.

El metal se consume en las zonas anódicas, mientras que en las zonas catódicas queda prácticamente sin cambios detectables. Las zonas anódicas y catódicas se distribuyen sobre la superficie del metal y pueden intercambiar de rol entre sí.

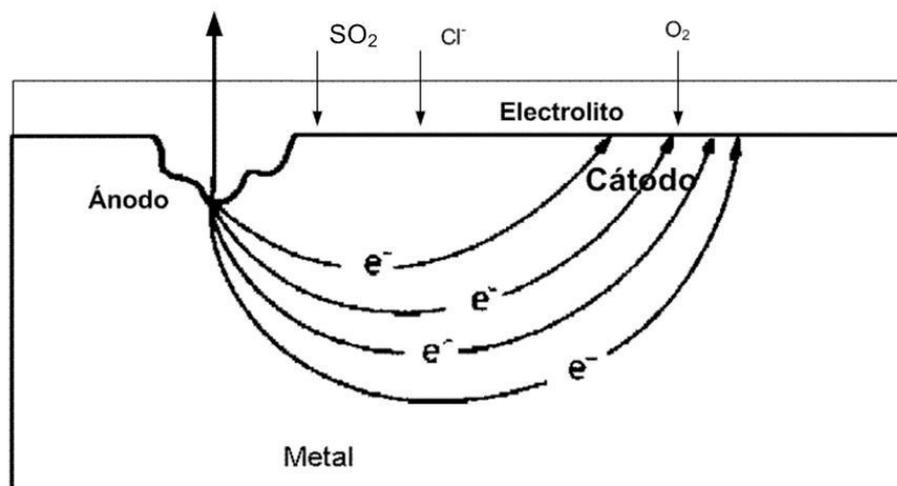


Figura 1. Representación esquemática del proceso de corrosión de un metal sometido a la acción atmosférica (Nervion, 2017) La película de agua (electrolito) que cubre al metal, la zona anódica, la zona catódica y el flujo de electrones (corriente eléctrica) forman celdas de corrosión.

A temperatura ambiente y en atmósfera limpia, la intensidad de la corrosión depende de la humedad relativa de la atmósfera. Para que la corrosión producida por una atmósfera sea significativa la humedad relativa del ambiente tiene que exceder un valor crítico que se encuentra dentro del rango 60 – 80 %. (Costa y Morcillo, 1989). En una atmósfera seca la corrosión es despreciable.

El oxígeno de la atmósfera se difunde a través de la película de agua hacia la superficie del metal donde las reacciones electroquímicas conducen a su corrosión.

Si la atmósfera está contaminada con sustancias en estado de gas, líquido o como partículas sólidas (SO_2 , iones cloro, etc.), éstas también pueden difundirse a través de la película de agua y llegar al metal para intensificar su corrosión (Fig.1). El oxígeno y los contaminantes (SO_2 , Cl^-) presentes en la atmósfera se difunden a través de la película de humedad (electrolito) hacia la interfase metal/electrolito donde se crean zonas anódicas y catódicas.

La duración del proceso de corrosión depende, sobre todo, del tiempo durante el cuál la película de agua permanece sobre la superficie metálica.

Los cloruros y el dióxido de azufre son los principales agentes corrosivos de la atmósfera en la costa. Otros contaminantes de la atmósfera que pueden influir considerablemente en la velocidad de corrosión son el polvo y las cenizas.

La corrosividad producida por la atmósfera terrestre varía de lugar a lugar, de estación a estación del año y de año a año.

Durante las 24 horas del día la superficie de un metal expuesto a la atmósfera experimenta ciclos secos y húmedos al variar el espesor de la película de agua por los cambios de temperatura o por la dirección o velocidad del viento (Axelsen, Johnsen and Knudsen, 2010). La duración del proceso de corrosión depende, sobre todo, del tiempo durante el cual la película de agua permanece sobre la superficie metálica.

Las zonas anódicas y catódicas son ocasionadas por diferencias en la estructura cristalina, restos de escoria y óxido en general, así como a diferencias de composición en la superficie de los aceros comerciales.

“Los aceros *al carbono* (constituidos por una matriz de átomos de hierro, Fe y átomos carbono, Como elemento aleante), son metales clasificados por la cantidad carbono que contienen”, como (Costa y Morcillo, 1989).

- Acero de bajo carbono, hierro dulce o simplemente hierro (%C aprox. < 0,20)
- Acero de contenido medio de carbono (%C: 0,20 – 0,40)
- Acero de contenido alto de carbono (%C: 0,40 – 1,0)

Los aceros *aleados*, de mayor costo que los aceros al carbono, contienen en diferentes proporciones, elementos químicos adicionales tales como, Cr, Ni, Mo, V, W, Ti, Nb, para incrementar sus propiedades mecánicas, de resistencia al desgaste o de resistencia a la corrosión.

La atmósfera marina típica, además de oxígeno, nitrógeno y otros gases, contiene componentes corrosivos como cloruros y sulfatos los cuales, con la contribución de la humedad producen reacciones electroquímicas que corroen rápidamente al acero.

El acero al carbono (y los metales en general), en contacto con la atmósfera terrestre se corroe significativamente si la humedad relativa del ambiente es superior al 70%. El oxígeno de la atmósfera se difunde a través de la película de agua que cubre a la pieza de acero llegando a la superficie de la pieza. En ciertos lugares de la superficie del acero, conocidos como *zonas anódicas*, los átomos de

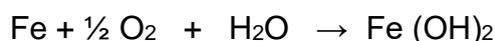
Fe liberan 2 electrones, e^- , según la reacción de oxidación electroquímica:



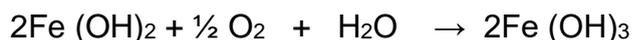
En otras zonas de la superficie del acero, llamadas *zonas catódicas*, los electrones liberados se combinan con las moléculas de oxígeno y de agua, de acuerdo con la reacción de reducción electroquímica:



Generándose la reacción total:



El Hidróxido Ferroso no es estable, por lo que con el oxígeno y agua del ambiente es capaz de formar la herrumbre, ello se podría representar así:



Las capas de productos de la corrosión de un metal, si son suficientemente compactas y adherentes, pueden actuar como barreras frente al fenómeno de la corrosión al dificultar el ingreso del oxígeno.

Si la atmósfera terrestre está contaminada, además de oxígeno, tenderán a difundirse a través de la película de agua que rodea al metal, átomos e iones de los elementos contaminantes para reaccionar con el metal, acelerando su corrosión.

En regiones cercanas al mar, zonas industriales o urbanas, las sales marinas (cloruro de sodio), los productos de la quema de combustibles, etc., producen reacciones químicas que pueden afectar negativamente la integridad del metal.

La morfología de las capas de los productos de corrosión atmosférica del acero al carbono es compleja. Estas capas son porosas y no suministran una barrera contra la penetración de oxígeno y otras especies.

Las películas de corrosión formadas sobre el acero al carbono expuesto a la atmósfera muestran generalmente dos capas: una interna y de mayor densidad, en su mayoría compuesto de FeOOH con algo de Fe_3O_4 y una capa más externa porosa de $\alpha\text{-FeOOH}$ (goetita) y $\gamma\text{-FeOOH}$ (lepidocrocita).

Otros compuestos que suelen formarse como consecuencia de la corrosión atmosférica del acero al carbono son (Axelsen, Johnsen and Knudsen, 2010).

Óxidos

FeO (óxido de hierro II)

Fe₂O₃ (óxido de hierro III)

γ- Fe₂O₃ (maghemita)

Fe₂O₃.xH₂O (óxido de hierro III hidratado)

Fe₃O₄ (magnetita: oscuro)

Hidróxidos

Fe(OH)₂ (hidróxido ferroso)

Fe(OH)₃ (hidróxido férrico o herrumbre)

γ-FeOOH (lepidocrocita: rojo)

α-FeOOH (goetita: marrón)

β-FeOOH (Akaganeita: naranja)

δ-FeOOH (producto amorfo: marrón rojizo)

Cloruros

FeCl₂ (cloruro ferroso)

FeCl₂.4H₂O (cloruro ferroso tetra hidratado)

FeCl₃ (cloruro férrico)

FeCl₃.2 1/2 H₂O (cloruro férrico 2.5 hidratado)

FeCl₃.6H₂O (cloruro férrico hexa hidratado)

Sulfatos

FeSO₄.H₂O (sulfato ferroso hidratado)

Fe₂(SO₄)₃ (sulfato férrico)

FeSO₄.7H₂O (sulfato ferroso hepta hidratado)

FeSO₄.5H₂O (sulfato ferroso penta hidratado)

Fe₂(SO₄)₃.9H₂O (sulfato férrico nona hidratado)

Sulfuros

FeS_2 (sulfuro de hierro II)

FeS (sulfuro de hierro)

Fe_2S_3 (sulfuro de hierro III)

Carbonatos

FeCO_3 (carbonato de hierro)

$\text{FeCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (carbonato de hierro hidratado)

El NaCl y el SO_2 son los principales contaminantes corrosivos de la atmósfera. (Gomez, 1999). “La correlación entre los niveles de concentración de SO_2 o NaCl y la velocidad de corrosión es alta. También es importante mencionar al sulfuro de hidrógeno, que es el responsable del deslustre de cobre y plata, los compuestos nitrogenados que en solución incrementan la humedad en la superficie de los metales, las partículas inertes (silicio) y las partículas absorbentes (carbón de leña)”

El cloro es un componente importante de la atmósfera. Sus fuentes son naturales (mares, lagos salados, terrenos salinos) e industriales. En general, los efectos más importantes se observan en las zonas cercanas a las costas, donde se suelen encontrar como productos de alteración de materiales pétreos diferentes cloruros, entre los que destaca el cloruro sódico (halita). El cloro puede convertirse en ácido clorhídrico (HCl), altamente corrosivo sobre materiales carbonatados y metales.

De acuerdo con las Normas ISO 9223 e ISO 12944-2 una de las maneras de determinar la corrosividad de la atmósfera de un determinado lugar se basa en datos de las velocidades de corrosión de probetas de Al, Cu, Fe y Zn aplicando lo que prescriben las normas ISO 9223, ISO 9224, ISO 9225 e ISO 9226. La norma ISO 9223 define la corrosividad de una atmosfera como: “la habilidad de una atmosfera para causar corrosión en un sistema corrosivo específico y la categoría de corrosividad de una atmosfera: como la velocidad o ratio estandarizado de la corrosividad de una atmosfera en relación al efecto corrosivo de un año sobre especímenes estandarizados”.

La norma ISO 9223 establece cinco categorías de corrosividad atmosférica (Tabla 1). Mas recientemente se ha añadido la categoría >C5 o denominada también Cx para catalogar la categoría extrema.

Tabla 1. Clasificación de corrosividad atmosférica (ISO 9223, 1992)

Categoría de Corrosividad	Velocidad de corrosión ($\mu\text{m/año}$) ($\text{g/m}^2 \text{ año}$)				Agresividad de la atmósfera
	Al	Cu	Fe	Zn	
C ₁	Despreciable	<0,1	<1,3	< 0,1	Muy baja
C ₂	(< 0,6)	0,1 – 0,6	1,3 – 25	0,1 – 0,7	Baja
C ₃	(0,6 – 2)	0,6 – 1,3	25 – 50	0,7 – 2,1	Media
C ₄	(2 – 5)	1,3 – 2,8	50 – 80	2,1 – 4,2	Alta
C ₅	(5 – 10)	2,8 – 5,6	80 – 200	4,2 – 8,4	Muy alta

Por su parte, la norma ISO 12944 es uno de los principales estándares internacionales para la protección contra la corrosión del acero mediante pintura. Sirve de guía a los profesionales a la hora de especificar y aplicar sistemas de recubrimiento, y ayuda a asegurar una protección adecuada contra la corrosión en equipamientos y estructuras de acero en diferentes localizaciones.

La primera edición de la norma ISO 12944 se publicó en 1998. En las últimas revisiones, se han realizado diversos cambios. Además, se ha creado una nueva parte (Parte 9), que se centra específicamente en los sistemas de recubrimiento para estructuras ubicadas en alta mar.

La Norma ISO 12944 consta de 9 partes:

Parte 1 – Introducción general

Parte 2 – Clasificación de ambientes

Parte 3 – Consideraciones sobre el diseño

Parte 4 – Tipos y preparación de superficies

Parte 5 – Sistemas protectores de Pintura

Parte 6 – Ensayos de comportamiento en laboratorio

Parte 7 – Ejecución y supervisión de trabajos de pintado

Parte 8 – Desarrollo de especificaciones para trabajos nuevos y mantenimiento

Parte 9 – Sistema de pintado para construcciones en alta mar

(se ha incorporado la ISO 20340 como Parte 9).

Categorías de corrosión – Condiciones atmosféricas

C1 – Muy baja

C2 – Baja

C3 – Media

C4 – Alta

C5 – Muy alta

Cx – Extrema

Esta norma es extensa y muy importante; para nuestro estudio se utilizaron básicamente las partes 2, 4, 5 y 7.

Para medir el grado de oxidación de una superficie pintada se utiliza la Norma ISO 4628-3 (ver Anexo B) en ella se cataloga el grado de oxidación signándola con letras Ri seguida de un número (de 0 a 5) que y se asocia al porcentaje de área oxidada que toma valores desde 0% a 40% y 50%. Así Ri 5 significa que tenemos 40% o 50% de área de superficie oxidada; Ri 0 significa 0% de área oxidada.

Por su parte la misma norma técnica en su parte 8 establece la forma como determinar el grado de delaminación y el grado de corrosión alrededor de la incisión.

El cálculo del grado de delaminación (d), en milímetros se realiza usando la ecuación:

$$d=(d1-w)/2$$

dónde d1 es el ancho total media de la zona de delaminación, en milímetros; w es el ancho de la incisión original, en milímetros.

Si la delaminación no es uniforme, se aumenta el número de puntos de medición para que estén menos espaciados, o calcular el grado de delaminación d, en milímetros, utilizando la ecuación:

$$d=(Ad-AI)/2l$$

dónde

Ad es el área de delaminación, incluyendo el área de la incisión, en milímetros cuadrados;

Al es el área de la incisión en el área evaluada, en milímetros cuadrados;
l es la longitud de la incisión en el área evaluada, en milímetros.

El grado de corrosión (C) se calcula usando la ecuación:

$$C=(wc-w)/2$$

Dónde;

wc es el ancho total medio de la zona de la corrosión, en milímetros

w es el ancho de la incisión original, en milímetros.

2.2 RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS ANTICORROSIVOS

Un recubrimiento protege de la corrosión a un metal retardando el ataque a la superficie metálica al actuar como una barrera frente al medio agresivo.

A nivel mundial, uno de los métodos mas difundidos para combatir la corrosión de los materiales consiste en la aplicación de recubrimientos orgánicos. Por cada 100 m² de superficie metálica expuesta a un medio corrosivo, alrededor de 85 m² están protegidos por revestimientos de pinturas.

La pintura es una sustancia generalmente en estado líquido que tiene cuatro componentes principales: **vehículo** o **ligante**, **pigmento**, **solvente** y **aditivos**.

Al aplicarse una pintura sobre la superficie de un metal se transforma de sustancia líquida a una capa o película sólida (secado). En la transformación del estado líquido al estado sólido los solventes (y diluyentes) se evaporan. El secado puede hacerse por medios físicos (secado al aire) o por medios químicos. En el secado físico se evaporan los solventes volátiles y diluyentes y se solidifican los otros componentes de la pintura. Por otro lado, el secado químico involucra reacciones químicas mediante las que las moléculas se unen entre si formando enlaces.

Para la protección contra la corrosión no se suele usar una sola pintura sino un **sistema de pinturas**. El sistema puede incluir: 1) pintura de pre-pintado, que tiene como función acondicionar la superficie del metal para asegurar una buena adhesión de la siguiente capa de pintura; 2) la capa de pintura base o primer, 3)

capa intermedia (contribuye al espesor del recubrimiento); 4) capa de acabado.

Las pinturas se designan en base a la naturaleza del vehículo o ligante (pinturas de aceite, alquídicas, epóxicas, acrílicas, vinílicas, de caucho clorado, etc.).

Los pigmentos tales como el cromato de zinc, libera iones que actúan como inhibidores de la corrosión (inicialmente oxidan el metal para formar luego compuestos estables que cubren al metal).

Los cromatos de zinc están prohibidos en muchos países por la elevada toxicidad del cromo hexavalente.

Los pigmentos formadores de complejos estables, tales como los *molibdatos* de zinc y de calcio, reaccionan con el ión ferroso proveniente de la disolución del metal y con el ión férrico generado por la acción del oxígeno a partir de los primeros; estos productos polarizan el área anódica de la celda de corrosión.

Los *pigmentos* que tienen un PH básico incrementan la concentración de iones hidroxilo en el agua presente en la interfase sustrato/película. Si bien los valores de pH registrados experimentalmente son inferiores a 8, generan un medio adecuado para controlar la oxidación del sustrato. En este grupo están incluidos los cromatos básicos de zinc (se debe contemplar la ya mencionada toxicidad de estos pigmentos).

Los *pigmentos metálicos*, particularmente de zinc de forma esférica y laminar, actúan como ánodo frente al hierro y el acero.

Las pinturas ricas en zinc y modificadas con extendedores y/o pigmentos inhibidores están incrementando su presencia en el mercado debido a sus características menos contaminantes que otras formulaciones anticorrosivas.

El solvente se evapora en el proceso de solidificación de la capa de pintura.

Los solventes orgánicos son derivados del gas ó del petróleo (hidrocarburos alifáticos, aromáticos, solventes oxigenados, alcoholes, estonias, glicoles y ésteres, clorinados y nitratos).

Se utiliza agua en los recubrimientos denominados base acuosa, el agua debe estar libre de sulfuros para no deteriorar los pigmentos.

Además, se tiene los disolventes, cuya función es hacer posible la extensión del recubrimiento y disolver el aglutinante (acetona, aguarrás, thinner, benceno, etc).

Para fines de protección contra la corrosión, los componentes más importantes de un recubrimiento son el aglutinante y el pigmento anticorrosivo. Los aditivos son necesarios para la fabricación, aplicación y curado de un recubrimiento; sin embargo, con excepción de los inhibidores de corrosión, juegan un papel relativamente menor en la protección contra la corrosión.

En general, las pinturas orgánicas tienen como componentes (se denomina, composición en volumen): resinas (30%) pigmentos (7-8 %), solventes (60 %), y aditivos (2-3 %). Las pinturas con alto contenido de sólidos contienen más de 70% de sólidos en volumen (Tzitzinou et al., 1999).

Las pinturas tradicionales contienen alrededor del 60% de componentes orgánicos volátiles. Aparte de ello, muchas contienen plomo, estaño o cromo en sus formulaciones; el desprendimiento de estos elementos y la emisión de volátiles agreden al medio ambiente.

Los recubrimientos protegen el acero contra la corrosión al reducir la permeabilidad de líquidos y gases a través de una película de pintura. ¿Cuánto puede ser reducida la permeabilidad del agua y el oxígeno depende de muchos factores, que incluyen:

- Espesor de la película
- Estructura de la película (tipo de polímero utilizado como aglutinante)
- Grado de reticulación de aglutinante
- Concentraciones de volumen de pigmento.
- Tipo y forma de partículas de pigmentos y cargas.

Los pigmentos utilizados para recubrimientos de barrera son diametralmente opuestos a los pigmentos activos utilizados en otros recubrimientos anticorrosivos

en un aspecto: en recubrimientos de barrera, deben ser inertes y completamente insolubles en agua.

En los últimos años, muchos países en el mundo se están emitiendo normas tendientes a minimizar la agresión al medio ambiente ocasionada por elementos provenientes del uso de pinturas. Esto ha llevado a los fabricantes a realizar nuevas formulaciones libres de cromo, plomo y estaño, en las que también se reducen al mínimo o se elimina totalmente los componentes orgánicos volátiles.

Las pinturas al agua son por naturaleza más complejas y más difíciles de formular que los recubrimientos a base de solventes. El grupo extremadamente pequeño de polímeros que son solubles en agua no incluye, con algunas excepciones, ninguno que pueda usarse de manera útil en la pintura.

En términos generales, un recubrimiento monocomponente a base de solvente consiste en un polímero disuelto en un solvente adecuado. La formación de película consiste simplemente en aplicar la película y esperar a que se evapore el disolvente. En un recubrimiento de látex a base de agua, las partículas de polímero no se disuelven en absoluto; en cambio, existen como partículas sólidas de polímero dispersas en el agua. La formación de película es más compleja cuando entran en juego la humectación, la termodinámica y la teoría de la energía superficial.

La diferencia entre las pinturas al agua y al solvente se debe al carácter único del agua. En la mayoría de las propiedades que importan, el agua difiere significativamente de los solventes orgánicos. Al crear una pintura a base de agua, el químico de la pintura debe comenzar desde el principio, reinventando casi todo, desde la resina hasta el último estabilizador agregado. El agua difiere de los solventes orgánicos en muchos aspectos. Por ejemplo, su constante dieléctrica es más de un orden de magnitud mayor que la de la mayoría de los disolventes orgánicos. Su densidad, tensión superficial y conductividad térmica son mayores que las de la mayoría de los solventes comúnmente utilizados. Sin embargo, para su uso en la pintura, las siguientes diferencias entre el agua y los solventes orgánicos son más importantes:

- El agua no disuelve los polímeros que se usan como resinas en muchas Pinturas. En consecuencia, los polímeros tienen que modificarse químicamente para que puedan usarse como la columna vertebral de las pinturas. Grupos funcionales, como aminas, grupos sulfónicos y grupos carboxílicos, se agregan a las resinas para hacerlas solubles o dispersables en agua.

- El calor latente de evaporación es mucho mayor para el agua que para disolventes orgánicos.

La evaporación del agua por termodinámica ocurre más lentamente a temperatura ambiente.

- La tensión superficial del agua es mayor que la de los solventes de uso general en pinturas.

Esta alta tensión superficial juega un papel importante en la formación de película de látex.

La durabilidad de los recubrimientos orgánicos como protectores de la corrosión de los metales depende de su comportamiento ante la acción corrosiva del medio circundante.

Se han identificado los siguientes procesos de deterioro de los recubrimientos orgánicos: ampollamiento, delaminación, corrosión, oxidación (ISO 4628).

DEGRADACIÓN DEL RECUBRIMIENTO

A continuación se describe un modelo general para la degradación de un recubrimiento orgánico (Dicky y Floyd, 1986).

Paso 1: Formación de un camino conductivo

La primera etapa de degradación se define por la formación de vías conductoras en un recubrimiento orgánico. Durante la absorción de agua, las regiones hidrofílicas en el recubrimiento son atacadas por el agua, seguido de la interconexión de estas regiones.

La presencia de defectos macroscópicos (burbujas de aire, poca humectación entre pigmento y aglutinante o daño mecánico), acelera las conexiones de la vía. La hinchazón en el recubrimiento durante la exposición contribuye a la formación y agrandamiento de tales vías.

Las regiones hidrofílicas contienen materiales de bajo peso molecular / baja reticulación. Grupos iónicos como componentes de pigmentos solubles y grupos funcionales de resina ionizable; facilitan la formación de las vías conductoras (Dicky, 1985).

Paso 2: Los iones migran al sustrato

Después de la formación de la vía, el siguiente paso en la degradación del acero recubierto es el transporte de agua, oxígeno e iones desde el medio ambiente a la superficie del metal. Se ha asociado con entrecruzamiento no homogéneo (Amirudin y Thierry, 1995; Funke, 1986; Dicky, 1985; Greenfield y Scantlebury, 2000).

Los recubrimientos orgánicos típicos son permeables al agua y al oxígeno. El transporte de iones a través de los revestimientos tiene lugar en una configuración hidratada a través de una fase de agua (vía) en el revestimiento. La velocidad de transporte a través de los recubrimientos depende del tamaño del ion hidratado (Leidheiser y Granata, 1988).

En presencia de materiales solubles (sales) debajo del recubrimiento, la absorción de agua puede acelerarse debido a la ósmosis. Esto muestra la importancia de una preparación adecuada del sustrato y la eliminación de sales antes de la aplicación del recubrimiento. Una vez que se establecen las vías conductoras y los iones han alcanzado la superficie del metal, la degradación de los sistemas de recubrimiento es la misma que la de los que contienen pequeños defectos. También los pequeños defectos causados por la carga mecánica, como las microgrietas, resultan directamente en vías conductoras.

Paso 3: Los ánodos se desarrollan en la superficie del metal.

Las celdas de corrosión se forman cerca de las vías conductoras y los defectos. Los ánodos se desarrollan sobre el acero desnudo en la base de las vías, donde tiene lugar la corrosión. Se ha encontrado que la tasa de formación de la primera capa

oxidada es de un orden de magnitud mayor en presencia de Cl-iones.

La oxidación posterior y la hidrólisis dan como resultado una disminución del pH y la formación de una mezcla compleja de óxidos de hierro hidratados (óxido).

Paso 4: Se desarrollan contactos catódicos debajo del recubrimiento

Debajo del recubrimiento cerca de los defectos, se forman cátodos. Los electrones producidos en las reacciones anódicas son consumidos por las reacciones catódicas. Por lo tanto, existe un fuerte acoplamiento electroquímico entre el defecto (ánodo) y los sitios catódicos debajo del recubrimiento. Debajo de un revestimiento degradado y no adherente, se forman vías de difusión entre el ánodo y el cátodo.

Pasos 5 y 6: Los iones de sodio migran a los sitios catódicos

Primero, el transporte de electrones da como resultado el flujo de una corriente galvánica entre el defecto y los cátodos locales. Este flujo requiere el transporte de cationes entre los dos sitios. Las ampollas o la delaminación aceleran el flujo de cationes y, por lo tanto, la corrosión puede continuar más libremente.

Paso 7 y 8: la alcalinidad en los sitios catódicos causa desprendimiento

Los productos de reacción en los sitios catódicos (NaOH) son alcalinos, lo que resulta en un aumento del pH. Este aumento de pH combinado con una fuerza osmótica da como resultado la separación del revestimiento del sustrato. Los enlaces entre el metal y el recubrimiento se rompen por el ataque químico del NaOH y se estimulan por la presión osmótica para la solución de los cationes.

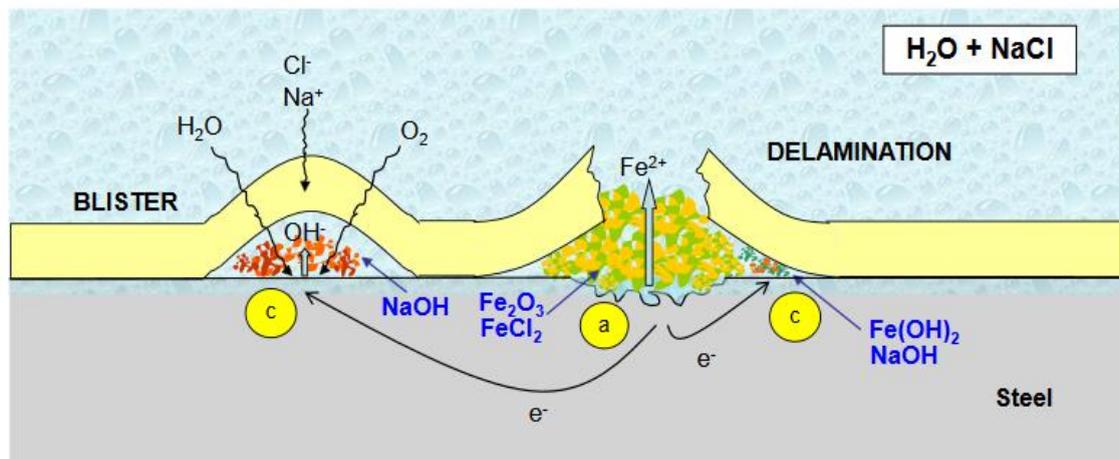
Los recubrimientos que contienen enlaces éster y, por lo tanto, reaccionan con NaOH, lo que resulta en saponificación, tenderán a desprenderse más rápidamente que los enlaces que son más resistentes.

Para algunos recubrimientos, se desarrollan ampollas, primero muy pequeñas, luego se agrandan y eventualmente se unen, lo que resulta en delaminación total.

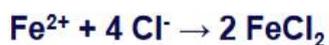
En sustratos hechos de acero, la delaminación catódica es el mecanismo más probable.

En la figura 2 se muestra esquemáticamente el proceso de corrosión de una

superficie de acero recubierta, podemos observar los mecanismos de producción de ampollamiento y de delaminación, los mismos que dañan la adherencia y provocan la oxidación de la superficie.



• **Oxidation Process – anode**



• **Reduction Process – cathode**

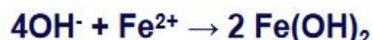


Figura 2. Mecanismo de corrosión electroquímica en una superficie de acero con recubrimiento. Corrosión Electroquímica (Gracenea, 2013).

Existen una serie de normas para la evaluación del comportamiento de los recubrimientos de pinturas anticorrosivas, en diferentes ambientes y condiciones de exposición entre ellas tenemos ISO 12944, ISO 2808, ISO 4628, ASTM D 4541, SSPC, SS, NACE, etc.

Los trabajos de preparación de superficies están normalizados por varias asociaciones internacionales siendo una de la más difundida y utilizada la norma americana SSPC (Steel Structures Painting Council, Pittsburgh USA) definiendo en cada categoría los los distintos procedimientos requeridos para realizar una correcta limpieza de superficie previa a la aplicación de un revestimiento o pintura La preparación de superficie de los sustratos se realizó siguiendo lo prescrito en la norma técnica SSPC-SP 5 también se puede utilizar la norma técnica equivalente que es NACE-1.

Las normas técnicas SSPC-SP-5/NACE N°1 (Limpieza con chorro de abrasivo - Granallado / Arenado a metal blanco) en la parte que estamos tratando prescribe:

Preparación de superficie o limpieza con chorro de abrasivo conocido como granallado o arenado -Grado Metal Blanco

Este tipo de limpieza, utiliza cualquier tipo de abrasivo proyectado a presión para limpiar la superficie, a través de este método, se elimina toda la escama de laminación, óxido, pintura y cualquier material incrustante.

La superficie debe verse libre de aceite, grasa, polvo, óxido, capa de laminación restos de pintura sin excepciones. Es utilizada donde las condiciones son extremadamente severas, con contaminantes ácidos, sales en solución, etc.

En nuestro estudio los sustratos fueron limpiados primero con agua a alta presión y luego granallado con chorro de arena seca al grado metal blanco.

Los factores que se deben tener en consideración en el procedimiento para la preparación y aplicación de las pinturas están explícitamente expuestos en la Norma SSPC - PA-1, bajo el título: Paint Application Specification N° 1 Shop, Field, and Maintenance Painting. Sin embargo la Hoja de Información Técnica de los Productos también constituye una herramienta de gran importancia para desarrollar las instrucciones y características de aplicación, la cual es diseñada y proporcionada por el fabricante de pinturas

En la actualidad, las pinturas más utilizadas son las de dos componentes, con diferentes relaciones de mezcla entre la resina y el catalizador, donde la mezcla final del producto deberá ser uniforme.

Para medir los espesores de película seca de pintura se puede seguir lo prescrito en la norma técnica SSPC-PA-2

Para evaluar la degradación de los recubrimientos en función al tipo de ambiente y el tiempo de exposición se emplea la norma técnica ISO 4628, en ella se establece que:

Todos los recubrimientos sufren degradación con el tiempo, independientemente de la exposición a la que están sujetos. Las irregularidades que surgen pueden ser muy variadas, por ejemplo, ampollas, tizado, descamación u oxidación del acero

pintado. La evaluación del tipo y tamaño de estos defectos debe hacerse de la manera más universal posible, para que cualquier organismo involucrado pueda comunicarse efectivamente con todas las demás partes interesadas.

ISO 4628 “Pinturas y barnices. Evaluación de degradación de recubrimientos. Se creó la designación de la cantidad y el tamaño de los defectos y la intensidad de los cambios uniformes en la apariencia” con el fin de permitir la evaluación y cuantificación de los principales defectos que ocurren en los recubrimientos (ver anexo B). El uso de esta norma debe ser la base para definir las garantías y expectativas de durabilidad de los sistemas de pintura, junto con la referencia a otras normas, como la ISO 12944.

De la norma ISO 4628, se ha utilizado para propósitos de este estudio

Parte 2: Evaluación del grado de formación de ampollas.

Parte 3: Evaluación del grado de oxidación.

Parte 4: Evaluación del grado de fisuración.

Parte 8: Evaluación del grado de delaminación y corrosión alrededor de una incisión

2.3. MARCO CONCEPTUAL: DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Acero de bajo carbono. Los aceros de bajo carbono son clasificados, según la AISI-SAE como aquellos cuyo contenido de carbono, en porcentaje en peso sobre peso, va desde un 0.16% hasta un 0.30%. Para nombrarlos, se utiliza la nomenclatura que va desde los aceros 1016 hasta los aceros 1030. Para conocer el porcentaje de carbono, se toman los últimos dos dígitos y se dividen entre 100. Así, un acero 1025 tiene un contenido de carbono del 0.25% y cae en la categoría de acero de bajo carbono

“La dureza superior de este tipo de aceros frente a los de muy bajo carbono permite resistir la erosión. Así mismo, generalmente deben soportar grandes cargas ejercidas por la maquinaria en funcionamiento, por lo que deben ser capaces de resistir grandes esfuerzos sin deformarse ni romperse”

“Al ser un material resistente, pero relativamente dúctil, entonces son capaces de soportar grandes cargas sin deformarse. Adicionalmente, pueden ser sometidos a

tratamientos térmicos para mejorar su durabilidad, dureza, maleabilidad o resistencia al desgaste según se requiera

El ataque mas significativo del ambiente sobre los materiales se denomina Corrosión y en el caso de los materiales metálicos es el ataque destructivo de un metal por reacción electroquímica ocasionada por agentes presentes en el medio ambiente.

La palabra “corroer” se deriva del latín “corrodere”, que significa “roer las piezas”. El fenómeno de corrosión guarda gran similitud frente dicha definición etimológica, por lo cual, se define al fenómeno de la corrosión como la transformación de un material debido a reacciones químicas o electro químicas con el medio que lo rodea, lo cual produce un deterioro del material y de sus propiedades.

“Corrosión es un término que se utiliza para describir el proceso de deterioro de materiales metálicos (incluyendo tanto metales puros, como aleaciones de estos), mediante reacciones químicas y electroquímicas” (Revie y Uhlig, 2008). Para el caso del deterioro relacionado con otros tipos de materiales, como los polímeros y cerámicos, se utiliza el término degradación.

“Los materiales metálicos son obtenidos a través del procesamiento de minerales y menas, que constituyen su estado natural, induciéndolos a un estado de mayor energía. El fenómeno de la corrosión ocurre debido a que, con el tiempo, dichos materiales tratan de alcanzar su estado natural, el cual constituye un estado energético de menor potencial, lo que les permite estabilizarse termodinámicamente” (Javaherdashti, 2008)

“La mayoría de procesos de corrosión involucran reacciones de reducción-oxidación (reacciones electroquímicas), donde para que se desarrollen estos procesos, es necesaria la existencia de tres constituyentes: (1) unos electrodos (un ánodo y un cátodo), (2) un electrolito, como medio conductor, que en la mayoría de casos corresponde de una solución acuosa, y (3) una conexión eléctrica entre los electrodos” (ECCA, 2011).

Corrosión atmosférica. es el deterioro de los materiales expuestos en un medio por acción de los componentes del medio, que interactúan con los componentes del material; es la causa más frecuente de la destrucción de los metales y aleaciones.

El mecanismo de corrosión es de naturaleza electroquímica. El electrolito es una capa de humedad sobre la superficie del metal cuyo espesor varía desde capas muy delgadas (invisibles) hasta capas que mojan perceptiblemente el metal. La duración del proceso de corrosión depende sobre todo del tiempo durante el cual la capa de humedad permanece sobre la superficie metálica.

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

Los principales factores que influyen en la corrosividad atmosférica son: humedad relativa del medio, presencia de iones cloruro, presencia de iones de dióxido de azufre, presencia de partículas contaminantes como polvo, hollín, etc; influyen también la dirección y velocidad del viento, así como la frecuencia de las lluvias.

Corrosión uniforme. La corrosión uniforme, también denominada como corrosión generalizada, ocurre sobre toda la superficie del material de forma homogénea, deteriorándolo completamente.

“Este tipo de corrosión es el que mayor pérdida de material provoca, pero es relativamente fácil de predecir y controlar, por lo que un accidente producido por este es de rara ocurrencia” (Revie, 2011). Se puede observar comúnmente en materiales, sobre todo en la industria de la construcción, a base de hierro no aleado con metales inoxidables, como el níquel y el cromo.

La velocidad de corrosión para estos casos, es altamente influenciada por la existencia de impurezas y fases distintas en el material, ya que estas inducen a una variación en la energía potencial, formando electrodos a pequeña escala, propiciando el proceso de corrosión.

Corrosión por picaduras. La corrosión por picadura, conocida también como pitting se presenta en materiales pasivados, debido a las características geométricas del sistema, existe una acumulación de agentes oxidantes y un incremento del pH del

medio, lo que propicia el deterioro de la capa pasivada, permitiendo que la corrosión se desarrolle en estas zonas puntuales.

Reacción anódica. Es la reacción de oxidación por la cual los metales forman iones que pasan a solución acuosa es por eso que habitualmente recibe el nombre de **reacción de oxidación**, y las regiones locales en la superficie de los metales donde la reacción de oxidación tiene lugar reciben el nombre de ánodos locales.

En la reacción anódica, **se producen electrones**, los cuales permanecen en el metal, y los átomos del metal forman cationes. Reacción anódica:

También se puede decir que la reacción anódica es el fenómeno mediante el cual una especie química pierde electrones, por lo tanto, el número de oxidación aumenta algebraicamente porque pierde cargas negativas.



Reacción catódica. Es la reacción de reducción en la cual un metal o un no metal ve reducida su carga de valencia, recibe habitualmente el nombre de reacción de reducción. Las regiones locales en la superficie del metal donde los iones metálicos o no metálicos ven reducida su carga de valencia reciben el nombre de cátodos locales. En la reacción catódica hay un consumo de electrones.

Podemos decir también que la reacción catódica es el fenómeno mediante el cual una especie química gana electrones, por lo tanto, el número de oxidación disminuye algebraicamente porque gana cargas negativas.



Celda de corrosión. Cuando distintas partes de una masa metálica sumergidas en un electrolito adquieren diferencias de potencial dan origen a una "celda de corrosión". En la celda de corrosión al material mas electronegativo (el que cede electrones) se le llama ánodo y al material mas electropositivo (el que recibe electrones por el conductor metálico) se le denomina cátodo.

En la celda de corrosión los electrones abandonan al ánodo y se mueven por el conductor metálico para llegar al cátodo. Los electrones que salen del ánodo se deben a las reacciones de oxidación que ocurren en este, la llegada de electrones al

cátodo origina reacciones de reducción en las moléculas o ión del electrolito.

Velocidad de corrosión. Siendo la corrosión atmosférica un proceso electroquímico que involucra cargas eléctricas, la velocidad de corrosión se puede determinar midiendo la densidad de corriente de corrosión. Ésta es convertida a velocidad de corrosión a través de la Ley de Faraday

$$\text{VELOCIDAD DE CORROSIÓN (Vcorr)} = \text{Jm}/\rho$$

Donde:

J: es la densidad de corriente (mA/cm²)

m: es la masa equivalente (g)

ρ : es la densidad del metal (g/cm³)

Vcorr: es la velocidad de corrosión (cm/s)

Así, la corriente puede ser medida en cualquier momento y obtener la velocidad de corrosión en cualquier instante. Sin embargo, también se puede determinar la velocidad de corrosión utilizando las ecuaciones por la técnica de pérdida de masa que consiste en:

1. Tomar una muestra metálica con una masa inicial dada.
2. Exponer la muestra a la atmósfera durante un tiempo determinado.
3. Remover apropiadamente los productos de corrosión.
4. Determinar la pérdida de masa.

Con este valor y el tiempo de exposición se obtiene la velocidad de corrosión, utilizando las ecuaciones y procedimientos que indica la norma ISO 9226 para probetas en forma de placas y para probetas en forma de espiral.

Ernarie y Lipfert, consideraron que la cinética de la corrosión atmosférica se desarrolla de acuerdo a una relación potencial (llamada ley bilogarítmica) de la forma:

$$C = At^n$$

Donde: C es la corrosión (en mm) al cabo de t años de exposición atmosférica, A es la corrosión (en mm) durante el primer año de exposición, y n, es una constante

que caracteriza las propiedades protectoras de los productos de corrosión de un metal dado (Morcillo, et al., 1998).

Esta ecuación exponencial explica la velocidad de corrosión atmosférica como un proceso difusional. En tal sentido, la velocidad depende de las propiedades difusionales de la capa de los productos de corrosión existentes entre el metal base y el ambiente atmosférico. Así, $n = 0,5$ nos indica que el proceso tiene lugar mediante un mecanismo ideal controlado por difusión del reactante en contacto con la superficie del metal. Con un valor de n menor de 0,5 la difusión disminuye con el tiempo, con la disminución de la porosidad de la capa, aglomeraciones, etc.

Si n excede a 0,5 nos indica que el proceso difusional está acelerado como resultado de la remoción total o parcial de los productos de corrosión debido a la disolución, erosión, ruptura, etc. (Morcillo, et al., 1998). Por tanto, n puede ser usado como un indicador del comportamiento físico-químico de la capa de corrosión y sus interacciones con el medio ambiente. Cabe anotar, que dicha expresión, abarcaría todos parámetros influyentes en el proceso de corrosión atmosférica.

Corrosión del sustrato. La corrosión es la combinación de una reacción anódica y una reacción catódica. La reacción anódica es la oxidación del metal. La reacción anódica debe tener lugar debajo del óxido en la interfaz óxido-metal, donde están los átomos metálicos.

La reacción catódica es la reducción de oxígeno o la evolución de hidrógeno. Las reacciones catódicas tendrán lugar encima del óxido, donde el oxígeno y el agua se encuentran con la superficie del material.

Por lo tanto, las reacciones anódicas y catódicas están separadas por el óxido para que se produzcan las reacciones, se deben cumplir dos premisas:

1. Los electrones que se liberan en la reacción anódica bajo el óxido deben viajar a la superficie del óxido, donde se consumen en reacción con el catódico. Algunos óxidos son conductores de electrones (por ejemplo, Fe_3O_4), otros son semiconductores (por ejemplo, Fe_2O_3) y algunos son aislantes. Los electrones también pueden ser transportados a través del óxido a través de túneles.

2. Los iones también deben ser transportados a través del óxido para mantener la neutralidad de la carga. Ya sean los iones metálicos, los iones de oxígeno, o ambos,

los que son transportado depende del metal y tipo de óxido.

A medida que continúan las reacciones, el óxido crece en espesor. Sin embargo, como el óxido se vuelve más grueso, la distancia entre la reacción anódica debajo del óxido y la reacción catódica en la parte superior del óxido aumenta. Esto aumenta la resistencia contra el transporte de electrones e iones a través del óxido, y la velocidad de reacción gradualmente disminuirá.

El espesor del óxido seguirá una tasa de crecimiento logarítmico. la velocidad de reacción disminuirá y el metal (se pasivará (Flynn and Watson, 1995)

En un entorno agresivo, el óxido se disuelve continuamente de la superficie. y el metal se corroerá, por ejemplo, cuando el acero esté expuesto al agua la disolución y la transformación del óxido evitan que se convierta en protector.

El acero inoxidable y el aluminio están cubiertos por óxido de cromo y óxido de aluminio, respectivamente. Estos óxidos son insolubles y estables, por lo que estos metales son resistentes a la corrosión.

En realidad, estos metales también se corroerán en cualquier entorno donde el óxido se desestabiliza, por ejemplo, cuando el aluminio se expone a ácido o soluciones alcalinas. El hierro, sin embargo, no forma óxidos totalmente protectores en ambientes húmedos.

Categorías de corrosividad atmosférica. Clasificación normalizada de la corrosividad de la atmósfera en relación al efecto de la corrosión en un año.

La categoría de corrosividad es una característica técnica que proporciona una base para la selección de materiales y medidas de protección en ambientes atmosféricos sujetos a las demandas de la aplicación específica, particularmente con respecto a la vida útil.

Los datos sobre la corrosividad de la atmósfera son esenciales para el desarrollo y la especificación de protección contra la corrosión optimizada para productos manufacturados.

Las categorías de corrosividad se definen por los efectos de corrosión en el primer año en especímenes estándar como se especifica en la norma ISO 9226. Las

categorías de corrosividad se pueden evaluar en términos de los factores atmosféricos más importantes que influyen en la corrosión de metales y aleaciones.

La Norma ISO 9223 establece cinco categorías de corrosividad atmosférica. Se basa en el comportamiento de cuatro materiales: acero, cinc, cobre y aluminio, debidamente estandarizados, durante el primer año de exposición en un medio

Dependiendo de la norma que utilicemos, se clasifican diferentes ambientes atmosféricos en categorías de corrosividad atmosférica:

Tabla 2. Categorías de corrosividad atmosférica (ISO 9223, 1992)

Categoría	Corrosividad
C1	Muy baja
C2	Baja
C3	Media
C4	Alta
C5	Muy alta
CX	Éxtrema

RECUBRIMIENTOS ORGÁNICOS: PINTURAS ANTICORROSIVAS

Ligante o vehículo. Parte líquida de la pintura; cuando se solidifica constituye una barrera que tiende a impedir la difusión de sustancias hacia el metal.

Como vehículo se suele utilizar, aceites (de linaza, soya, linaza, risino deshidratado, coco, etc.), resinas acrílicas, epóxicas, alquídicas, nitrocelulosa, caucho clorado, poliacrilatos, etc.

Pigmento. El pigmento consiste de un conjunto de partículas sólidas e insolubles que se desempeñan como: inhibidores de la corrosión, partículas de refuerzo, extendedores del ligante o portadores del color de la pintura.

Como pigmentos se utilizan: dióxido de titanio, óxido de zinc, cromato de zinc, ocre, silicato de magnesio, silicato de aluminio, silicato de bario, arsénico, carbono, cadmio, óxidos de hierro, cobalto, plomo, cobre, arcilla, añil, cochinilla, hidróxido de calcio, sílice, etc.

Los pigmentos pueden clasificarse básicamente en (Calvo, 2009):

Pasivos: reconstruyen y estabilizan la capa de óxido en el sustrato expuesto.

Galvánicos: funcionan como ánodos; en la superficie del metal ocurre la reacción catódica.

Alcalinos: reducen el área activa para la corrosión formando una barrera iónica con el sustrato.

Solvente. Líquido volátil cuya función básica es disolver la sustancia ligante y ajustar la viscosidad (consistencia) para permitir la aplicación de la pintura.

Aditivos. Sustancias que se añaden en pequeñas cantidades con el objetivo de conferir a las capas de pintura, ciertas propiedades específicas (pueden evitar la sedimentación de los pigmentos, la aparición de hongos durante su almacenamiento, mejorar la resistencia a los rayos UV, a la abrasión, impacto, etc.).

Monómero. Los monómeros son moléculas pequeñas o simples que constituyen la unidad estructural básica o esencial de moléculas más grandes o complejas denominadas polímeros. Monómero es una palabra de origen griego que significa *mono*, uno y *mero*, parte.

A medida que un monómero se une con otro, se forma un dímero. Al unirse éste a su vez con otro monómero, forma un trímero, y así sucesivamente hasta formar cadenas cortas llamadas oligómeros, o cadenas más largas que son los denominados polímeros.

Los monómeros se unen (polimerizan) mediante la formación de enlaces químicos al compartir pares de electrones; es decir, se unen por enlaces de tipo covalente.

A esta unión de monómeros se le conoce como polimerización. Se pueden unir monómeros de un mismo tipo o diferentes, y el número de enlaces covalentes que pueden establecer con otra molécula va a determinar la estructura del polímero que formen (cadenas lineales, inclinadas o estructuras tridimensionales).

Los átomos que participan en la formación de un monómero se mantienen unidos por enlaces fuertes y estables como el enlace covalente. Asimismo, los monómeros polimerizan o se unen con otras moléculas monoméricas mediante estos enlaces,

dándole fuerza y estabilidad a los polímeros.

Polímero. Los polímeros se definen como macromoléculas que se obtienen por la unión de una o más moléculas pequeñas repetidas a lo largo de una cadena. La unidad que se repite en el polímero es el monómero y la reacción por la que se forman es la reacción de polimerización.

Los polímeros pueden ser inorgánicos, por ejemplo, el vidrio, pero la mayoría de polímeros de interés industrial son compuestos orgánicos formados por hidrocarburos asociados a diferentes elementos, es decir, moléculas formadas por cadenas de átomos de carbono a los que se unen otros elementos.

Cada polímero tiene unas propiedades determinadas. Conociendo las propiedades requeridas de un material para un uso en particular, puede escogerse un polímero u otro, incluso puede diseñarse la síntesis en laboratorio de un nuevo polímero buscando dichas propiedades específicas.

Es común asociar a los polímeros con propiedades elásticas, pero en realidad las propiedades de los polímeros son muchos más amplias y no todos los polímeros presentan elasticidad. Además, en función del uso final se elegirá un polímero en concreto atendiendo a sus propiedades.

Poliéster. deriva de *polyester*, un concepto de la lengua inglesa. Se trata de un polímero que surge a partir de la polimerización de un hidrocarburo denominado estireno y de otros elementos químicos.

El poliéster es una resina que se caracteriza por su resistencia a diversos agentes químicos y a la humedad, lo que permite que sea utilizada en la elaboración de diversos productos. En la actualidad, el poliéster se emplea para fabricar matrices industriales, cañerías, hilos, fibras, pinturas y envases.

El polyester es la unión de varios ésteres dentro de las fibras. La reacción de alcohol con ácido carboxílico da lugar a la formación de ésteres. El poliéster también se refiere a los diversos polímeros en los que las cadenas principales están formadas por la «condensación de esterificación de alcoholes y ácidos polifuncionales». El poliéster también puede clasificarse como poliésteres saturados e insaturados.

Los poliésteres saturados se refieren a esa familia de poliésteres en la que las

cadena principales de poliéster están saturadas. No son tan reactivos como los poliésteres insaturados. Se componen de líquidos de bajo peso molecular utilizados como plastificantes y como reactivos en la formación de polímeros de uretano y termoplásticos lineales de alto peso molecular tales como tereftalato de polietileno. Los reactivos habituales para los poliésteres saturados son un glicol y un ácido o anhídrido.

Las resinas de poliéster (termoestables) se usan también como matriz para la construcción de equipos, tuberías anticorrosivas y fabricación de pinturas. Para dar mayor resistencia mecánica suelen ir reforzadas con cortante, también llamado endurecedor o catalizador, sin purificar.

Los poliésteres insaturados es la familia de poliésteres en la que la cadena principal consiste en resinas termoestables alquiladas, caracterizadas por insaturación vinílica. Se utilizan principalmente en plásticos reforzados. Éstas son la familia de resinas más utilizadas.

Grado de protección de los recubrimientos

La corrosión de un metal pintado requiere todos los elementos siguientes (Koehler, 1971):

- Agua
- Oxígeno u otra especie reducible
- Un proceso de disolución en el ánodo.
- Un sitio de cátodos
- Un camino electrolítico entre el ánodo y el cátodo.

Un recubrimiento que puede suprimir uno o más de los elementos enumerados anteriormente puede limitar la cantidad de corrosión.

La mayoría de los recubrimientos no protegen los sustratos metálicos al evitar la difusión del agua. La Tabla 3 muestra las tasas de permeabilidad del vapor de agua a través de varios recubrimientos (Thomas, 1989).

Table 3. Permeabilidad al vapor de agua (Thomas,1989)

Coating Type	Water Vapor Permeability, g/m ² /25µm/day
Chlorinated rubber	20 ± 3
Coat tar epoxy	30 ± 1
Aluminium epoxy mastic	42 ± 6
Red-lead oil-based	214 ± 3
White alkyd	258 ± 6

Cuando la pintura se aplica sobre una superficie metálica limpia, la pintura no se aplica en el metal, sino en un óxido delgado y adherido a la superficie del metal.

El óxido se forma inmediatamente cuando se crea una nueva superficie metálica, por ejemplo, durante la limpieza, en reacciones entre el metal y el oxígeno y la humedad en el aire. Este óxido separa el metal del medio ambiente.

Los recubrimientos orgánicos son barreras contra el oxígeno y el agua, pero no son impermeables a estas especies (Forsgren, 2017).

En una superficie de acero pintada, no habrá fase acuosa para disolver la superficie óxido. Cualquier reacción causada por el agua y el oxígeno que penetren en la película de pintura contribuirá al crecimiento de óxido, hasta que el óxido sea demasiado espeso para que las reacciones continúen.

El acero está pasivado, y seguirá estándolo, porque la película de pintura preserva el óxido. Por lo tanto, el mecanismo de protección más importante para los recubrimientos orgánicos es que el recubrimiento protege el óxido de la superficie, que en realidad es responsable de la protección contra la corrosión.

El mecanismo aún no ha sido probado por evidencia experimental, pero está en acuerdo con investigaciones previas y teoría de la corrosión en general. Un mecanismo similar también ha sido sugerido por Mills y Jamali (Mills and Jamali, 2017)

La formulación de un recubrimiento consiste en el aglutinante, pigmento, cargas, aditivos y vehículo (solvente). El aglutinante y el pigmento son los elementos más importantes; Se puede decir que realizan el trabajo de protección contra la corrosión en la pintura curada.

Con muy pocas excepciones (por ejemplo, imprimaciones inorgánicas ricas en zinc), los aglutinantes son polímeros orgánicos. Con frecuencia se usa una combinación de polímeros, incluso si el recubrimiento pertenece a una clase genérica.

Una pintura acrílica puede usar a propósito varios acrílicos derivados de diferentes monómeros o de monómeros similares con diferentes pesos moleculares y grupos funcionales del polímero final.

Las mezclas de polímeros aprovechan las características especiales de cada polímero; por ejemplo, un acrílico a base de metacrilato con su excelente dureza y resistencia se debe mezclar con un poliácilato más suave para dar cierta flexibilidad a la pintura curada.

Se agregan pigmentos para protección contra la corrosión y el color. Los pigmentos anticorrosivos son químicamente activos en el recubrimiento curado, mientras que los pigmentos en los recubrimientos barrera deben ser inertes. Los rellenos deben ser inertes en todo momento, por supuesto. Los pigmentos colorantes de un recubrimiento también deben permanecer constantes a lo largo de su vida útil.

Los aditivos pueden alterar ciertas características del aglutinante, pigmento o vehículo para mejorar el procesamiento y la compatibilidad de las materias primas o la aplicación y el curado del recubrimiento.

El portador es el vehículo en la pintura sin curar, que transporta el aglutinante, los pigmentos y los aditivos. Existe solo en el estado no curado. Los portadores son líquidos en el caso de recubrimientos a base de solvente y agua, y gases en el caso de recubrimientos en polvo.

El aglutinante proporciona la estructura física para soportar y contener los pigmentos y aditivos. Se une a estos componentes y a la superficie metálica, de ahí su nombre. También actúa algo como una piel: las cantidades de oxígeno, los iones, el agua y la radiación ultravioleta (UV) que pueden penetrar en la capa de recubrimiento curada dependen en cierta medida del polímero utilizado.

El recubrimiento curado consiste en una capa superior muy fina rica en polímero o de polímero puro y una mezcla heterogénea de partículas de pigmento y aglutinante debajo. La delgada capa superior, a veces conocida como la capa curada del recubrimiento, cubre los espacios entre las partículas de pigmento y aglutinante curado, a través del cual el agua encuentra su ruta más fácil hacia la superficie del metal. También puede cubrir los poros en la mayor parte del recubrimiento, bloqueando este medio de transporte de agua.

Sin embargo, debido a que esta superficie curada es muy delgada, su capacidad para evitar por completo la absorción de agua y oxígeno es muy limitada. La capacidad de absorber, en lugar de transmitir, la radiación UV depende del polímero; los acrílicos, por ejemplo, son para la mayoría de los propósitos impermeables a la luz ultravioleta, mientras que los epóxicos son extremadamente sensibles a ella.

Los aglutinantes utilizados en las pinturas anticorrosivas son casi exclusivamente polímeros orgánicos. Las únicas excepciones comercialmente significativas son el aglutinante a base de silicio en siloxanos inorgánicos ZRP y los recubrimientos de silicona a alta temperatura. Muchas de las propiedades físicas y mecánicas del recubrimiento —incluidas la flexibilidad, la dureza, las resistencias químicas, la vulnerabilidad a los rayos UV y el transporte de agua y oxígeno— están determinadas total o parcialmente por el polímero particular o la mezcla de polímeros utilizados.

Se usan comúnmente combinaciones de monómeros y polímeros, incluso si el recubrimiento pertenece a una clase de polímero genérico. Literalmente, cientos de acrílicos están disponibles comercialmente, todos químicamente únicos; difieren en pesos moleculares, grupos funcionales, monómeros de partida y otras características. Un formulador de pintura puede mezclar a propósito varios acrílicos

para aprovechar las características de cada uno; así, un acrílico a base de metacrilato con su excelente dureza y resistencia podría mezclarse con uno de los poliácridatos más suaves para impartir flexibilidad a la pintura curada.

También se usan híbridos, o combinaciones de diferentes familias de polímeros. Ejemplos de híbridos incluyen pinturas acrílicas alquídicas híbridas a base de agua y los alquidos modificados con epoxi conocidos como pinturas de éster epoxi.

PINTURA ALQUÍDICA. Los alquidos son una forma de poliéster. El ingrediente ácido principal en un alquido es el ácido ftálico o su anhídrido, y el alcohol principal es generalmente el glicerol. Las resinas alquídicas se encuentran entre los recubrimientos anticorrosivos más utilizados. Son pinturas de un componente de curado al aire y, por lo tanto, son bastante fáciles de usar. Los alquidos son relativamente baratos. Los alquidos se pueden formular en revestimientos tanto a base de solvente como a base de agua.

Son pinturas de un componente de curado al aire y, por lo tanto, son bastante fáciles de usar. Los alquidos son relativamente económicos y pueden formularse en ambos recubrimientos a base de solventes y al agua.

Las pinturas alquídicas no están exentas de desventajas, mencionaremos algunas

- Después del curado, continúan reaccionando con el oxígeno en la atmósfera, creando reticulación adicional y luego fragilidad a medida que envejece el recubrimiento.
- Los alquidos no pueden tolerar condiciones alcalinas; por lo tanto, no son adecuados para superficies de zinc o cualquier superficie donde se pueda esperar ocurra una condición alcalina, como el hormigón.
- Son algo susceptibles a la radiación UV, dependiendo de las especificaciones en composición de resina.
- No son adecuados para el servicio de inmersión porque pierden adherencia al sustrato durante la inmersión en agua (Byrnes, 1996).

Además, debe tenerse en cuenta que las resinas alquídicas generalmente exhiben una barrera pobre de propiedades contra la humedad del vapor. Elegir un pigmento anticorrosivo eficaz es por lo tanto importante para esta clase de recubrimiento (Smith, 1995).

Los alquidos son una forma de poliéster. El ingrediente ácido principal en un alquido es el ácido ftálico, o su anhídrido, y el alcohol principal suele ser el glicerol

A través de una reacción condensación, el ácido orgánico y el alcohol forman un éster. Cuando los reactivos contienen múltiples grupos de alcohol y ácido, un polímero reticulado resulta de reacciones de condensación.

En un ambiente alcalino, los enlaces éster en un alquido se descomponen y se reforman en alcohol y ácido. La propensión conocida de los recubrimientos alquídicos a saponificar los hace inadecuado para su uso en entornos alcalinos o sobre superficies alcalinas. Hormigón, por ejemplo, es inicialmente altamente alcalino, mientras que ciertos metales, como el zinc, se vuelven alcalino con el tiempo debido a sus productos de corrosión.

Esta propiedad de los alquidos también debe tenerse en cuenta al elegir los pigmentos para el recubrimiento. Los pigmentos alcalinos como el plomo rojo u óxido de zinc pueden ser útiles, reaccionan con los grupos ácidos no reaccionados en el alquido, fortaleciendo el film; sin embargo, esto también puede crear problemas de vida útil, si el recubrimiento se gelifica antes de que pueda aplicarse.

Los alquidos se curan mediante una reacción del componente de ácido graso insaturado con oxígeno en la atmósfera. Una vez que el recubrimiento se ha secado, la reacción no se detiene, sino que continúa para reticular.

Eventualmente, esto conduce a una fragilidad indeseable a medida que el recubrimiento envejece, dejando el recubrimiento más vulnerable a, por ejemplo, tensiones de congelación-descongelación.

Byrnes observó un fenómeno interesante en algunos alquidos: si se deja en la oscuridad durante mucho tiempo, se vuelven suaves y pegajosos. Esta reacción se ve con mayor frecuencia en los alquidos con alto contenido de aceite de linaza (Smith, 1995). La razón por la cual la luz es necesaria para mantener el film curado no está claro.

“Una **resina alquídica** es básicamente un poliéster cuya cadena principal está modificada con moléculas de ácido graso, las que le otorgan propiedades particulares. Las resinas alquídicas son productos de condensación de un poliol (etilenglicol, glicerina, etc.) con diácidos o sus derivados (generalmente, anhídrido ftálico) en presencia de otra sustancia que actúa como modificador (puede ser un aceite, un determinado compuesto químico orgánico o incluso otra resina).

El mecanismo de formación de película es oxidación al aire a temperatura ambiente. Polimerización por reacción con oxígeno” (Alonso, 2013).

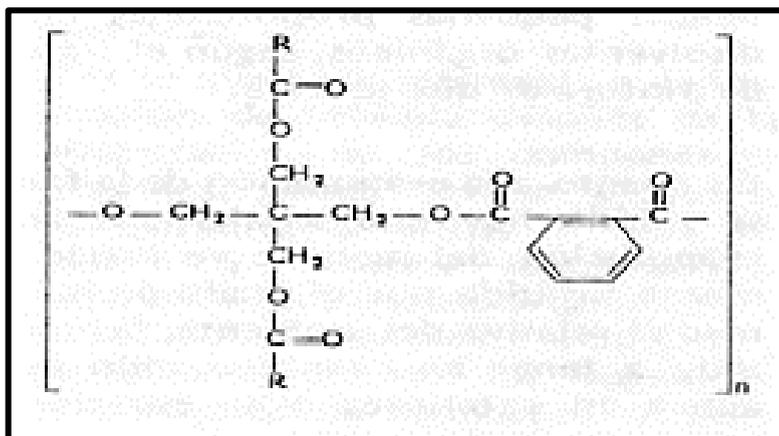


Figura 3. Estructura de una resina alquídica típica (Alonso, 2013)

RECUBRIMIENTO ACRÍLICO. Acrílico es un término utilizado para describir una gran y variada familia de polímeros.

Las características generales de este grupo incluyen

- Excelente estabilidad a los rayos UV
- Buenas propiedades mecánicas, particularmente tenacidad

Su excepcional resistencia a los rayos UV hace que los acrílicos sean particularmente adecuados para aplicaciones en el que la retención del brillo y el color son importantes.

Los polímeros acrílicos se pueden usar tanto en formulaciones de revestimiento a base de agua como a base de solvente.

Para pinturas anticorrosivas, el término acrílico generalmente se refiere a base agua o formulaciones de látex.

Los acrílicos pueden ser algo sensibles a los ambientes alcalinos, como los que pueden ser creado por superficies de zinc (Forsgren, 1999). Esta sensibilidad no es tan severa como los de alquidos y se evita fácilmente mediante la elección adecuada de copolímeros.

Los acrílicos se pueden dividir en dos grupos, acrilatos y metacrilatos, dependiendo del monómero original a partir del cual se construyó el polímero.

La diferencia radica en un grupo metilo unido a la columna vertebral de la molécula de polímero de un metacrilato en lugar del átomo de hidrógeno encontrado en el acrilato.

Para formulaciones de pintura, emulsión acrílica los polímeros deben copolimerizarse con monómeros de acrilato.

Los acrílicos se pueden formular con éxito para recubrir zinc u otro material de superficie potencialmente alcalinas, si se presta especial atención a los tipos de monómero utilizados para copolimerización.

Las características generales de este grupo incluyen: i) excelente estabilidad a los rayos UV, ii) buenas propiedades mecánicas, particularmente tenacidad. Los polímeros acrílicos se pueden usar tanto en formulaciones de revestimiento a base de agua como a base de solvente. Para pinturas anticorrosivas, el término acrílico generalmente se refiere a formulaciones a base de agua o látex.

En la formación de película se lleva a cabo una unión por atracción física entre las moléculas de resina, sin reacción química. También hay disponibles por autorreticulación por reacción entre moléculas, a elevadas temperaturas. Las resinas acrílicas son polímeros de los ésteres de ácidos acrílicos. Entre los monómeros más empleados en la formación de copolímeros acrílicos, cabe destacar el estireno, butadieno y acetato de vinilo.

“La pintura acrílica es 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” (Alonso, 2013).

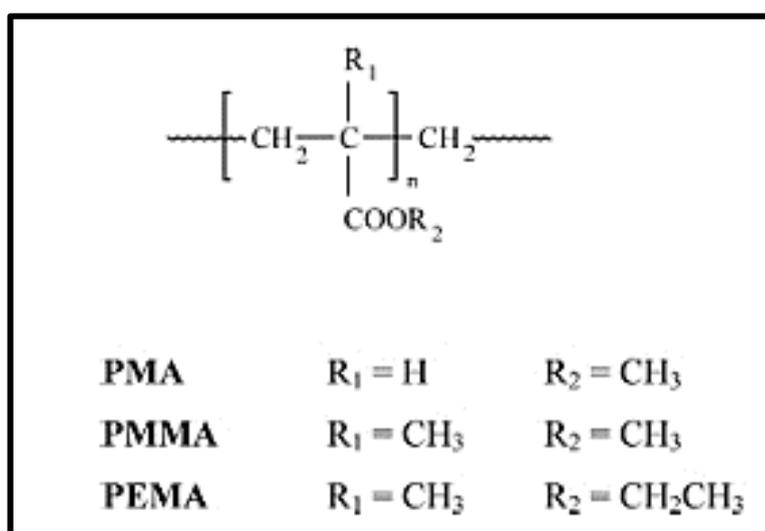


Figura 4. Estructura de una resina Acrílica típica (Alonso, 2013)

RECUBRIMIENTO EPÓXICO. El término epoxi se refiere a polímeros termoendurecibles producidos por reacción de un grupo epóxido (también conocido como grupo glicidilo, epoxi u oxirano).

Los epóxicos tienen una amplia variedad de formas, dependiendo de si la resina epoxídica (que contiene el grupo epóxido) reacciona con un agente de curado de carboxilo, hidroxilo, fenol o amina. Las resinas epoxi más comúnmente utilizadas son: diglicidil éteres de bisfenol A, diglicidil éteres de bisfenol F, resinas multifuncionales epoxi fenol o cresol novolac.

Las **resinas epoxi** son el resultado de la reacción entre la epiclohidrina y el bisfenol A o sus derivados; conteniendo en su molécula grupos epoxi y grupos hidroxilo. Las resinas epoxi forman película a base de reticular por polimerización con aminas o poliamidas, y también por esterificación con ácidos grasos, a temperatura ambiente .

“Las resinas epoxi se presentan en solución acuosa y las películas de pintura obtenidas son de gran resistencia mecánica y química. En algunos casos se utilizan aminas directamente como catalizadores, lo cual aporta mayor resistencia química al acabado, pero en contrapartida se reduce el pot-life de la mezcla”. (Alonso, 2013). Debido a su fuerza superior, resistencia química y adhesión a sustratos los epóxicos son la clase más importante de pintura anticorrosiva.

En general, los epóxicos tienen las siguientes características:

- propiedades mecánicas muy fuertes
- Muy buena adherencia a sustratos metálicos.
- Excelente resistencia química y al agua.
- Mejor resistencia a los álcalis que la mayoría de los otros tipos de polímeros.
- Susceptibilidad a la degradación UV.
- Puede ser sensible a los ácidos.

Los epóxicos son conocidos por su susceptibilidad a la degradación UV. Los rayos UV del sol contiene suficiente energía para romper ciertos enlaces en la estructura polimérica de un aglutinante epoxi curado. A medida que se produce más y más rotura de enlaces en la superficie superior de la capa aglutinante curada, el esqueleto polimérico comienza a descomponerse porque la superficie superior o "capa curada" del recubrimiento curado contiene solo aglutinante, el resultado inicial de la degradación UV es simplemente la pérdida de brillo. Sin embargo, como la degradación funciona hacia abajo a través de la capa de recubrimiento, la descomposición del aglutinante comienza en partículas de pigmento libre.

En la superficie del recubrimiento se forma continuamente un polvo que consiste en pigmento y fragmentos de aglutinante. El polvo se parece a la tiza en polvo, de ahí el nombre de tizado para este proceso de descomposición.

El tizado ocurre hasta cierto punto con varios otros tipos de polímeros, eso no afecta directamente la protección contra la corrosión, pero es preocupante porque eventualmente da como resultado un recubrimiento más delgado. Por lo general, se considera principalmente como un problema estético ya que el color se desvanece y el brillo se pierde. Sin embargo el problema se supera fácilmente con epóxidos, cubriendo la capa de epóxido con un recubrimiento que contiene un aglutinante resistente a los rayos UV.

Los poliuretanos también se usan con frecuencia para este propósito porque son similares en estructura química a los epóxidos, pero no son susceptibles a degradación por rayos UV, lo que los hace preferidos.

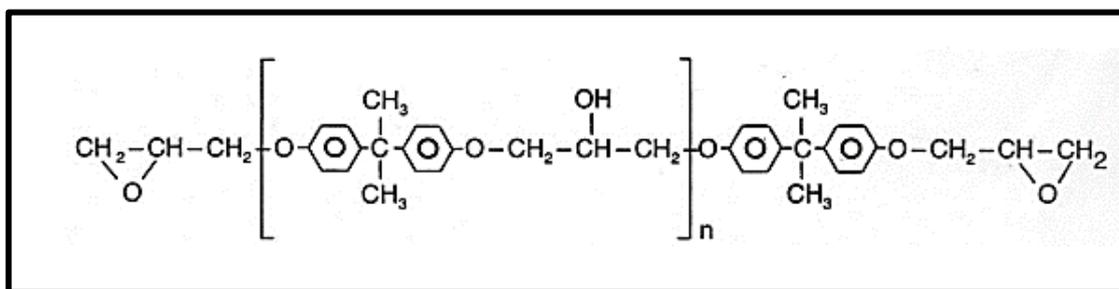


Figura 5. Estructura de una resina epóxica típica (Alonso, 2013).

RECUBRIMIENTO SILOXANO: los siloxanos son un grupo de compuestos que contienen silicio, oxígeno e hidrógeno. Se polimerizan con facilidad dando siliconas. Los átomos de Silicio pueden unirse a uno o más sustituyentes orgánicos, creando compuestos con diversas propiedades y aplicaciones. La polaridad de este enlace aumenta hacia el oxígeno.

Los siloxanos son prepolímeros líquidos cargados de forma terminal con el silanol y que se basa en una disposición lineal de átomos alternos de silicio y de oxígeno en la que el silicio se ve combinado con radicales de tipo orgánico o con átomos de hidrógeno, y es capaz de ir una rápida vulcanización en el frío

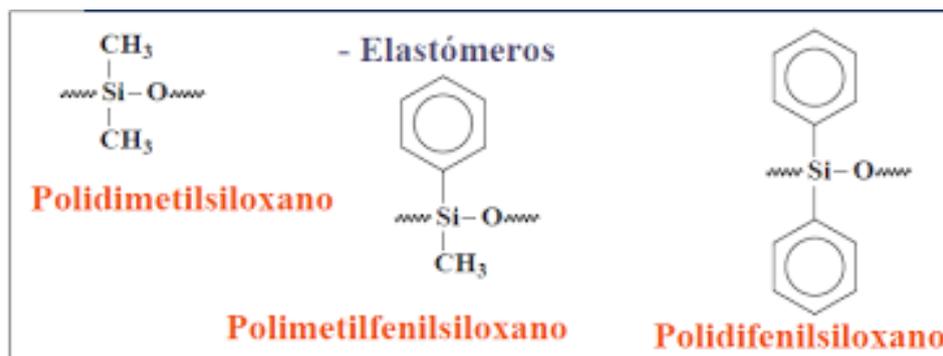


Figura 6. Estructura de los siloxanos (De la Cruz, 2018)

En los siloxanos o polisiloxanos los polímeros inorgánicos basados en la química del silicio, tienen enlaces químicos en su estructura molecular del tipo –Si-O- (-silicio-oxígeno-) de alta resistencia, que son los que mantienen unidos los átomos y cuyo valor de energía de enlace supera en aproximadamente 100 KJ/mol (10^5 joul/mol) a la fuerza de enlace –C-C- (-carbono-carbono-) de los polímeros orgánicos como es el caso de los epóxicos y poliuretanos.

Además, los átomos de Si (silicio) en la cadena del polímero polisiloxano están oxidados en un 50 a 75% puesto que cada átomo de Si está unido a 2 o 3 átomos de oxígeno, por lo que la degradación oxidativa que afecta a los enlaces -C-C- en los polímeros orgánicos (epóxicos y poliuretanos) no puede ocurrir en los enlaces Si-O del polímero polisiloxano.

“En consecuencia los recubrimientos de polisiloxano forman una capa más impenetrable y resistente contra las fuerzas de la naturaleza (el sol, los rayos UV, el calor, los cambios de temperatura, la humedad, la lluvia, los contaminantes atmosféricos, etc.), son los únicos polímeros resistentes a la oxidación térmica y atmosférica frente al oxígeno, al ataque químico oxidativo, a la penetración de la humedad y no tienen tendencia al agrietamiento, tizado, ni a la pérdida de espesor de película” (De la Cruz, 2018).

La resina de organopolisiloxano es un compuesto de polímero semi-inorgánico y semi-orgánico que combina las características de un polímero orgánico y un polímero inorgánico. Estas propiedades incluyen resistencia a altas y bajas temperaturas, resistencia a la intemperie, aislamiento eléctrico, resistencia al ozono, repelencia al agua, resistencia a la llama, inercia fisiológica, resistencia al aceite, resistencia a los disolventes y resistencia a la radiación.

La comercialización a gran escala de polisiloxanos para recubrimientos industriales apareció en la década de 1990 y actualmente no se usa a menudo sola. Al usar polisiloxanos con muchos monómeros y polímeros orgánicos, los formuladores pueden desarrollar mezclas específicas que tienen funcionalidad de material orgánico e inorgánico. El recubrimiento "orgánico-inorgánico híbrido" utiliza una resina modificada con mezcla orgánica que contiene una resina de organopolisiloxano.

Con la profundización de la investigación sobre recubrimientos híbridos, la aplicación de resinas de organopolisiloxano tendrá un gran desarrollo, y el logro final puede ser el resultado de la tecnología, la presión ambiental y el desempeño de los costos

El polisiloxano conserva sus propiedades físicas en un rango de temperatura excepcionalmente amplio (-100 ° C a 250 ° C). Su T es tan baja como -127 ° C, por lo que tiene una excelente flexibilidad a bajas temperaturas. En segundo lugar, es resistente a altas temperaturas y oxidación, tiene buena estabilidad en ambientes químicos y fisiológicos, y tiene buena resistencia a la intemperie, repelencia al agua y propiedades dieléctricas

Los polisiloxanos tienen una amplia gama de usos, y sus productos líquidos se usan como desespumantes, enjuagues de fibra, surfactantes, lubricantes, grasas para vacío y baños de aceite caliente. Las resinas se utilizan como barnices, pinturas, agentes desmoldeantes, adhesivos y materiales aislantes. Los elastómeros se utilizan como materiales de sellado, materiales aislantes eléctricos, juntas y tubos, etc., y también se pueden usar como materiales médicos como válvulas cardíacas artificiales, marcapasos, lentes de contacto y recubrimientos internos de botellas de plasma

AMPOLLAMIENTO. El ampollamiento que puede presentar un esquema o película de pintura, es una de las fallas más comunes con relación a la adherencia sobre un sustrato metálico. Estas ampollas aparecen a menudo de forma esférica pueden ser muy pequeñas, pequeñas, grandes o muy grandes (ISO 4628-2); pueden contener en su interior líquido, aunque a veces también contienen solo aire. El tamaño de éstas depende del grado de adherencia con el sustrato o con la capa de

pintura que la precede si es parte de un sistema de pintura y de la presión interna del gas o del líquido que está en su interior. Sus causas se deben a diferentes condiciones, principalmente, las que se describen a continuación:

Presencia de sales solubles que han contaminado el sustrato o la superficie entre las capas del sistema de pintura.

Contaminación de la superficie por agentes desmoldantes, como por ejemplo ceras, aceites, polvo, etc., las que no permiten una adherencia adecuada al sustrato, el vapor tiende a concentrarse en las zonas con baja adherencia, en estos casos las ampollas no contienen líquido en su interior, siendo llamados “ampollas secas”.

Insuficiente o inadecuada evaporación de solventes, estos solventes atrapados pueden incrementar la absorción de agua, y transmisión de vapor con el consiguiente ampollamiento.

Es necesario precisar que el ampollamiento se genera a raíz del fenómeno natural de ósmosis, que hace que todos los fluidos tiendan a igualar su concentración.

“Aunque varias pueden ser las causas responsables del ampollamiento, la ósmosis es una de las causas más frecuentes. Las pinturas actúan como membranas semipermeables, permitiendo el paso del agua a través de ellas, cuando la salinidad a ambos lados de la película (interfase acero pintura-agua exterior) es diferente. Este es el principal mecanismo de formación de ampollas por procesos osmóticos. Influyen en este fenómeno el espesor del recubrimiento, así como el tipo de pintura. Cuanto más gruesa sea la capa de la pintura mayor será la posibilidad del ampollamiento” (Gallego, 2007).

La parte 2 de la Norma ISO 4628 describe un método para la evaluación del grado de ampollamiento de los recubrimientos de pintura mediante la comparación con patrones gráficos. Los patrones gráficos proporcionados en esta parte de la Norma, muestran ampollas con tamaños 2, 3, 4 y 5, y cada tamaño, en cantidades (densidades) 2, 3, 4 y 5.

Oxidación. Se denomina oxidación a las reacciones químicas en las que el

oxígeno se junta con otras sustancias, formando moléculas llamadas *óxidos*. Esto es particularmente frecuente en el mundo de los metales, aunque para nada exclusivo de ellos, y en términos químicos se entiende como la pérdida de electrones de un átomo, aumentando su carga positiva.

Como el oxígeno es un elemento que usualmente acepta dichos electrones sobrantes, se le “bautizó” coloquialmente a este tipo de reacciones, que en lenguaje especializado se denomina *reducción-oxidación*, *óxido-reducción* o simplemente redox.

Téngase en cuenta que el nombre oxígeno proviene del griego *oxys*, “ácido”; y *genos*, “productor”: es decir, que el oxígeno se llama así porque corroe los metales, tal y como lo hace el ácido.

Claro está, la mayoría de los casos de oxidación involucran al oxígeno, pero también puede darse en ausencia de éste. Y de manera semejante, la oxidación y la reducción siempre se dan juntas y en simultáneo.

En ellos participan siempre dos elementos que intercambian electrones:

- **El agente oxidante.** El elemento químico que capta los electrones transferidos, es decir, que los recibe y aumenta su carga negativa. A eso se le denomina como tener un estado de oxidación inferior, o, en otras palabras, ser reducido.
- **El agente reductor.** El elemento químico que cede o pierde los electrones transferidos, aumentando su carga positiva. A esto se le llama tener un estado de oxidación mayor, o, en otras palabras, ser oxidado.

Entonces: el agente oxidante es reducido por el agente reductor, a la par que el agente reductor es oxidado por el agente oxidante. De este modo tenemos que *oxidarse es perder electrones*, mientras que *reducirse es ganar electrones*.

Existen dos tipos de oxidación:

- **Oxidación lenta.** Aquella que se produce por causa del oxígeno contenido en el aire o en el agua, esa que hace que los metales pierdan su brillo y

sufran corrosión al estar expuestos por algún tiempo al ambiente.

- **Oxidación rápida.** Aquella que ocurre en reacciones químicas violentas como la combustión, generalmente exotérmicas (liberan energía en forma de calor), y se produce fundamentalmente en elementos orgánicos (con contenido de carbono e hidrógeno) (Raffino, 2020)

La parte 3 de la Norma ISO 4628 especifica un método para evaluar el grado de oxidación (Ri) de los recubrimientos mediante comparación con los estándares consistentes en cartillas gráficas. Esta parte de la Norma describe un método para la evaluación del grado de oxidación de superficies pintadas mediante la comparación con patrones gráficos. Los patrones gráficos proporcionados en esta parte de la Norma muestran superficies de acero pintadas que se han deteriorado en distinto grado por combinación de óxido suelto, que ha atravesado el recubrimiento, y de óxido visible bajo la película.

- **Delaminación.** En términos generales se dice que la delaminación es el modo de fallo en materiales compuestos que consiste en la separación de las capas que lo componen, y que supone una significativa pérdida de resistencia mecánica del material. Las causas generales de toda delaminación son las siguientes:
 - Esfuerzo de cizalla alto.
 - Se han mezclado materiales incompatibles.
 - Uso excesivo de agente de desmoldeado.
 - Humedad excesiva del material. El exceso de humedad se calienta y forma vapor, que provoca la delaminación de la superficie.
 - Degradación del material. Esto puede deberse a una velocidad de inyección, una temperatura de masa fundida o un lapso de residencia excesivos.

En el campo de las pinturas, la delaminación es la pérdida de adherencia entre la película de pintura y el sustrato o entre las capas de pintura en el caso de sistemas, si asumimos que se han utilizado materiales de pintura adecuados y apropiados, este fenómeno está generalmente asociado a una preparación

inadecuada de superficie, un inadecuado proceso de aplicación y en el caso mas frecuente debido a los procesos corrosivos por la prolongada exposición sobrepasando el periodo útil del recubrimiento, resultando también entonces como consecuencia del ampollamiento, la oxidación o la corrosión del sustrato.

La Norma ISO 4628-3 especifica un método para evaluar la delaminación y la corrosión alrededor de una incisión u otro defecto artificial en un panel recubierto u otra muestra de prueba recubierta, causada por un ambiente corrosivo.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. HIPÓTESIS CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

En el transcurso de 3 años de exposición a la atmósfera marina de Chimbote los recubrimientos epóxico 87% de sólidos en volumen, siloxano 90% de sólidos en volumen, y acrílico base agua; aplicados sin sistema, con espesor seco promedio de 325µm, 450µm, y 125µm respectivamente sobre sustrato de acero mostrarán el siguiente comportamiento:

- 1) Tipo acrílico empezará a ampollarse a los dos años, presentará un mediano grado de oxidación sin delaminación en la zona de incisión a los tres años de exposición.
- 2) Tipo epóxico: presentará ampollamiento, oxidación mínima y empezará a deslaminarse en la zona de incisión, a los dos años de exposición. Para tres años de exposición su nivel de protección no será adecuado
- 3) Tipo siloxano: presentará mínimo ampollamiento, el grado de oxidación será muy leve y no presentará delaminación en la zona de incisión, a los tres años de exposición.
- 4) El nivel de protección anticorrosiva en atmósfera marina proporcionada por las pinturas base agua y base solvente de altos sólidos será igual y mejor que las del recubrimiento tradicional base solvente.

3.2. VARIABLES E INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación, se definen las variables e indicadores de la investigación:

Variable independiente: i) tiempo de exposición a la acción medio ambiente de la Bahía el Ferrol del puerto de Chimbote de las muestras de acero ASTM A 131-01 (en forma de placas sin y con recubrimiento de pintura), ii) tipo de recubrimiento.

Variable dependiente: i) grado de ampollamiento y delaminado de los

recubrimientos, ii) grado de oxidación y daño estructural del sustrato de acero ASTM A 131-01.

Indicadores: grado alcanzado por cada variable dependiente (grado de ampollamiento, grado de oxidación, grado de delaminación y grado de corrosión).

3.3. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN

En la actividad científica se realizan básicamente dos cosas: i) usamos nuestros sentidos para hacer observaciones de los fenómenos, ya sea en campo o en los laboratorios (empírico), ii) usamos nuestra mente para construir teorías sobre los fenómenos observados o por observar (racionalismo). En ambos casos, aplicamos metodologías para hacer observaciones y para construir teorías.

En el estudio, hemos realizado observaciones empíricas del comportamiento en el tiempo de recubrimientos orgánicos (pinturas) en su función de protección contra la corrosión de metales por acción de la atmósfera marina de una zona costera de la ciudad de Chimbote, Perú. Inductivamente, se encontraron características generales de la degradación de un tipo de acero en forma de placas expuestas a la intemperie y del rendimiento de cuatro pinturas anticorrosivas aplicadas como recubrimiento de las placas de acero.

Se actuó de acuerdo a los procedimientos estandarizados descritos en normas internacionales sobre cómo llevar a cabo los estudios de corrosión atmosférica y de los recubrimientos protectores.

3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio se diseñó para un período de tres años con un seguimiento anual. Los diseños específicos (preparación y número de réplicas de muestras, seguimiento, evaluación de efectos, análisis de datos, presentación de resultados, etc.) se describen en las normas internacionales que se utilizaron, las mismas que fueron las siguientes: ISO 12944, ISO 9223, ISO 16276, ASTM D 4541, ISO 4628-2, ISO 4628-3, ISO 4628-4, ISO 4628-7, ISO 4628-8, SS 184219, SIS 05 5900, SSPC-SP10, SSPC-PA-2.

El esquema de la investigación fue el siguiente:



I = condiciones iniciales o de entrada de las muestras (placas de acero con y sin recubrimiento) con la que se realizó la investigación.

S = Condiciones finales o de salida de las muestras (placas de acero con y sin recubrimiento al final de uno, dos y tres años de exposición a la atmósfera) con información relevante de la aplicación de las condiciones experimentales

W = Condiciones experimentales a que se sometieron las muestras (ataque corrosivo del ambiente)

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

La población estuvo constituida por los recubrimientos anticorrosivos del tipo industrial marino que suelen utilizarse en el puerto de Chimbote Perú para aplicaciones industriales (infraestructura portuaria y mantenimiento de embarcaciones).

La muestra seleccionada estuvo conformada por cuatro pinturas anticorrosivas: una pintura alquídica base solvente, una pintura acrílica base agua, una pintura epóxica y una pintura siloxano de altos sólidos.

3.6. ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO

Las principales actividades realizadas fueron las siguientes:

- Adquisición de plancha de acero naval ASTM A 131-01 Grado A y preparación de las muestras (placas de 150 x 100 x 3 mm).
- Maquinado de la plancha de acero para conformar sustratos
- Construcción de la estación de ensayo para la exposición a la atmósfera de las muestras consistente en un bastidor de madera para la fijación de las muestras
- Selección del lugar para la de la estación de ensayo.
- Adquisición de los recubrimientos

- Preparación de superficie (limpieza química, arenado) de los sustratos (placas de acero) antes de la aplicación de pinturas.
- Aplicación de los recubrimientos (pintado)
- Montaje de muestras e instalación de la estación de ensayo
- Proceso de seguimiento de la acción corrosiva de la atmósfera sobre las muestras.
- Registro fotográfico periódico de las muestras
- Análisis de los efectos corrosivos de la atmósfera sobre las propiedades físicas de los recubrimientos al cabo de periodos de un año, dos años y tres años de exposición natural.
- Registro y análisis de los resultados para cada recubrimiento al final de cada periodo.
- Análisis e interpretación de resultados al final de cada periodo y al final de la parte experimental del estudio.
- Elaboración de informes

3.7. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.7.1 PREPARACIÓN DEL SUSTRATO DE LOS RECUBRIMIENTOS

El sustrato, a proteger contra la corrosión, con recubrimientos de pintura consistió de placas de acero naval ASTM A 131-01 Grado A, de dimensiones 150 x 100 x 3 mm con y sin recubrimientos de cuatro tipos de pintura.

El acero ASTM A 131-01 Grado A, en forma de plancha fue fabricado por la empresa SIDERPERÚ (GERDAU) y su composición química se presenta en la Tabla 4. Fue adquirida y maquinada en Corporación Liñán García, empresa comercializadora y de servicios ubicada en el distrito de Nuevo Chimbote.

Tabla 4. Composición química del acero naval ASTM A 131-01 Grado A fabricado por la empresa SIDERPERÚ

C _{max} (%)	Mn (%)	P _{max} (%)	S _{max} (%)	Si _{max} (%)
0,21	2,5 C _{min}	0,035	0,035	0,05

De una plancha de acero adquirida se maquinaron las placas que se muestran en la Figura 7, que serán los sustratos de las probetas con recubrimiento de pinturas para su protección de la corrosión atmosférica.



Figura 7. Placas de acero naval ASTM A 131-01 Grado A antes de la preparación de la superficie para el proceso de recubrimiento con pinturas anticorrosivas.

Previo al proceso de aplicación de los recubrimientos, las placas de acero fueron sometidas a un proceso de desengrasado con agua a presión.

Inmediatamente después, para eliminar todo vestigio de óxidos y otras sustancias, se llevó a cabo el arenado al grado de metal blanco (según norma SSPC-SP-5, NACE -1, SS 055900) utilizando un chorro de arena seca.

Seguidamente se midió la rugosidad de la superficie de las placas dejada por el arenado, utilizando un rugosímetro PCE-RT 2200, en conformidad con las normas ISO 8503-4, ISO 11562, ISO 4287, ISO 4288. El grado de herrumbre (grado A) se determinó según la norma SIS 05 5900.

3.7.2 EQUIPOS E INSTRUMENTOS PRINCIPALES

- Medidor digital de espesor de película seca ELCOMETER 456
- Vernier para medir distancia de delaminado y área de corrosión.
- Medidor de rugosidad de superficie PCE-RT-2200

- Medidor de adherencia ELCOMETER 510
- Equipo para limpieza con agua a presión
- Equipo para arenado seco con chorro de arena seca
- Equipo para pintado con técnica de aerografía con pistola neumática
- Kit de herramientas básicas de taller de pintura e implementos de protección y seguridad
- cámara fotográfica digital

3.7.3. RECUBRIMIENTOS

Las placas de acero fueron pintadas: nueve con pintura alquídica, nueve con pintura acrílica base agua, nueve con pintura epóxica de alto contenido de sólidos y nueve con pintura siloxano de alto contenido de sólidos (ver hoja técnica en Anexo A).

Pintura alquídica base solvente

Fabricante: Vencedor

Componentes: uno

Solvente: disolvente aguarrás mineral o thinner standar

Curado: evaporación de solventes y oxidación

Sólidos en volumen : 34% +- 2%

Pintura acrílica base agua

Fabricante: Corporación Peruana de Productos Químicos (CPPQ)

Nombre comercial: Amercoat 220

Componentes: uno

Curado: evaporación de solventes

Sólidos en volumen : 35% +- 3%

Pintura epóxica

Fabricante: Corporación Peruana de Productos Químicos (CPPQ)

Nombre comercial: Amercoat 240 (imprimante epóxico universal)

Componentes: dos

Relación de mezcla : cuatro de resina, uno de catalizador

Curado: evaporación de solventes y reacción química

Sólidos en volumen : 87% +- 3%

Tiempo de inducción: 15 minutos a 21°C

Pintura siloxano

Fabricante: Corporación Peruana de Productos Químicos (CPPQ)

Nombre comercial: PSX 700 (recubrimiento siloxano)

Componentes: dos

Relación de mezcla : cuatro de resina, uno de catalizador

Curado: reacción química

Sólidos en volumen : 90% +- 3%

3.7.4 APLICACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS

Las placas de acero naval ASTM A 131-01 Grado A con superficies preparadas al grado de metal blanco fueron pintadas mediante la técnica de aerografía con pistola neumática a doble capa sin sistema. El tiempo de secado fue de alrededor de 20 horas a temperatura ambiente. Según recomendación del fabricante, luego se midió el espesor seco del recubrimiento según norma SSPC-PA-2, (también se pueden aplicar las normas ISO 2808, ASTM B 499 e ISO 19840) utilizando un medidor Elcometer 456. El espesor seco de los recubrimientos fue en promedio: Alquídico 75µm, Acrílico 125µm, Epóxico 450µm y Siloxano 325µm, de 250 µm para el conjunto de muestras (ver anexo D). Los resultados fueron el promedio de tres mediciones en diferentes lugares de la superficie de cada muestra, luego se promediaron los resultados de las nueve muestras de cada recubrimiento.

Para cada tipo de recubrimiento una vez seca la muestra se procedió a practicar una incisión centrada a lo ancho de la muestra, con una longitud de 75 mm y 0,5 mm de ancho de modo que se abarca los dos tercios del ancho del sustrato utilizando un cutter y una regla metálica; esta incisión atraviesa la película de pintura y expone completamente la superficie del sustrato. La incisión se inspeccionó utilizando una fuente de luz para verificar que se haya atravesado completamente la película de pintura en toda la longitud. Una muestra de cada tipo de pintura se dejó sin incisión.

Con cada tipo de pintura se prepararon 9 muestras. Como una ilustración, en la Figura 8, se observa tres muestras con recubrimiento siloxano (PSX 700), dos con incisión (en la parte inferior) y una sin incisión.



Figura 8. Muestras con recubrimiento de pintura siloxano (PSX 700). La incisión en dos de ellas tiene un ancho de de 0,5 mm.

3.7.5 LUGAR DE EXPOSICIÓN E INSTALACIÓN DE LAS MUESTRAS

En base a lo que se establece en las normas ISO 9226, ISO 8565, ISO 8407, ISO 9225, e ISO 9223, se construyó una estructura de madera, denominado bastidor, con la superficie plana inclinada 60° sobre la horizontal. El lugar elegido para instalar la estación de ensayo para el estudio de la protección contra la corrosión de los recubrimientos, fue la Bahía “El Ferrol” en la Urbanización La Libertad, en la ciudad de Chimbote, Perú (Tabla 5).

La estación se se instaló a 250 m de la orilla del mar. La altura a la que se ubicaron las muestras respecto al nivel del mar fue de aproximadamente 5 metros. La figura 9 muestra una vista de la estación de estudio con las muestras instaladas, se aprecian los sustratos pintados con los cuatro tipos de recubrimientos a ser estudiados y también placas de acero sin recubrimiento protector.

Tabla 5. Ubicación de la estación de ensayo consistente en bastidor de madera conteniendo, tres placas de acero ASTM A 131-01 Grado A sin recubrimiento y 36 placas con recubrimientos

UBICACIÓN DE LA ESTACION	COORDENADAS GEOGRAFICAS	DISTANCIA AL MAR (km)	ALTITUD SOBRE EL NIVEL DEL MAR (m)
Urb. La Libertad, Chimbote, Perú	Lat. Sur 09° 07' 04,20`` Lon. Oest 78° 32' 41,76``	0,25	5,00

Las muestras, previo al montaje en el bastidor, fueron codificadas de la siguiente manera:

Pintura Alquídica: 1Al a 9Al

Pintura Acrílica: 1A a 9A

Pintura Epóxica: 1E a 9E

Pintura Siloxano: 1S a 9S

Se instalaron en la estación de ensayo y permanecieron expuestas a la atmósfera, durante un año las que tienen los números 1, 2 y 3; dos años las que llevan los números 4, 5 y 6 y tres años aquellas numeradas con 7, 8 y 9. Cabe señalar que las muestras numeradas con los números 3, 6 y 9 no llevan incisión.

Además de las muestras con recubrimientos de pintura, se instaló tres placas de acero sin pintar numeradas con 1, 2 y 3 respectivamente. La placa 1 se retiró al término del primer año de exposición, la número 2 a los dos años y la 3 al finalizar el tercer año.

3.8 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

La recolección de datos consistió en la extracción, evaluación y análisis de las muestras. Al año, dos y tres años de exposición, se retiraron tres muestras de cada tipo de pintura para su análisis en el laboratorio, como resultado de ello se elaborará registros de: grado de ampollamiento, grado de oxidación, grado de corrosión y grado de delaminación a partir de la incisión de la muestra, así como también se hizo una apreciación del comportamiento en el nivel de adherencia y de la atenuación de brillo de los recubrimientos en estudio.

3.9 TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

El proceso de evaluación de los niveles de protección anticorrosiva proporcionada por los recubrimientos de bajo impacto ambiental utilizados en el estudio, se realizó haciendo exámenes visuales a las superficies pintadas de las muestras extraídas sucesivamente al término de cada año y comparando su nivel de deterioro con las cartillas gráficas que proporcionan las normas ISO 4628, ISO 16276 (ver anexo B) se midieron los efectos corrosivos de la atmósfera sobre las propiedades físicas de los recubrimientos (grado de ampollamiento, grado de oxidación; grado de corrosión y grado de delaminado a partir de la incisión), se procedió a retirar las muestras en grupos de tres de cada tipo de recubrimiento en períodos de un año, dos años y tres años.

El análisis de las muestras consistió en determinar el impacto de la atmósfera sobre las características físicas de los recubrimientos al cabo de cada periodo de estudio; una vez extraídas las muestras se procedió a limpiarlas cuidadosamente, se prepararon las cartillas gráficas que son parte de las normas empleadas para la comparación con el estado de las muestras para catalogar su estado.

Para evaluar el grado de ampollamiento se aplicó la norma ISO 4628-2; para el grado de oxidación la norma ISO 4628-3, para evaluar el grado de corrosión y el grado de delaminación alrededor de una incisión se empleó la norma ISO 4628-8. También se puede utilizar la norma (Swedish standard) SS 184219. (ver anexo B).

Para determinar el grado de delaminación y grado de corrosión en una incisión se procedió a realizar una descamación mecánica, se midió las distancias desde la incisión. Se midió la longitud de incisión y distancias laterales a partir de la incisión y se aplicaron las fórmulas contenidas en la norma.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CORROSIÓN DEL ACERO ASTM A 131-01 Grado A

La Figura 9 es una fotografía del bastidor de madera con las placas de acero de bajo carbono ASTM A 131-01 Grado A, sin recubrimiento y con recubrimiento de pinturas anticorrosivas.



Figura 9. Bastidor de madera con las muestras en forma de placas con recubrimiento de pintura y sin recubrimiento.

En la Figura 10 a y b y Figura 11 se presenta fotografías de placas de acero de bajo carbono ASTM A 131-01 Grado A, que fueron expuestas a la atmósfera marina en la bahía “El Ferrol” en la ciudad de Chimbote, Ancash, durante dos y tres años de exposición, respectivamente. Se aprecia los productos de corrosión del acero como una manifestación de la severidad de la acción corrosiva de la atmósfera del lugar.

En los primeros días de exposición una delgada capa de productos de corrosión ha crecido hasta cubrir toda la superficie del metal; un crecimiento adicional requiere

que los componentes de la película de agua depositada debido a la humedad del ambiente, se difundan hacia el interior y que los iones de hierro se difundan hacia afuera.

En una prolongada exposición a la atmósfera, el número y tamaño de las partículas precipitadas se incrementa creciendo hasta hasta cubrir completamente la superficie del metal. Estos precipitados son los productos de corrosión.

Los productos de corrosión forman costras gruesas de baja adherencia. Estos productos comprenden diversos tipos de óxidos, óxidos hidratados, hidróxidos y diversas sustancias cristalinas y amorfas que se formaron como resultado de las reacciones entre los elementos químicos del acero y los componentes de la atmósfera.

Las capas de corrosión presentan considerable porosidad y pequeñas fisuras. Con el tiempo el número y tamaño de estas discontinuidades decrece a causa de su aglomeración o compactación.

Debido a la baja adherencia las capas de productos de corrosión se van desprendiendo con el paso del tiempo y con el progreso del fenómeno corrosivo.

Las protuberancias son las ampollas que se iniciaron aleatoriamente en diversos puntos de la superficie del metal en contacto con el oxígeno y otros componentes de la atmósfera. Gran parte de la masa inicial de las placas metálicas se transformaron en productos de corrosión, debilitándolas mecánicamente al reducir su espesor.

El tipo de corrosión es mayormente uniforme. Aleatoriamente, en la superficie de un metal, en presencia de una película de humedad, se forman celdas de corrosión con zonas anódicas y catódicas.



a) Dos años de exposición

b) Tres años de exposición

Figura 10. Morfología de los productos de corrosión de las placas de acero ASTM A 131-01 Grado A de 150x100 x3 mm, después de dos (a) y tres (b) años de exposición a la atmósfera de la ciudad de Chimbote, a 250 m de la orilla del mar. Los productos de corrosión en forma de gruesas costras de coloración marrón oscura y marrón naranja corresponden a los compuestos de goetita (α -FeOOH). Las capas de color marrón rojizo revelan la presencia del producto amorfo δ -FeOOH y de lepidocrocita (γ -FeOOH).



Figura 11. Una vista más cercana de la placa con tres años de exposición. Las áreas más oscuras corresponden a magnetita (Fe_3O_4).



Figura 12. Placa de acero ASTM A 36, de 100x50x1.2 mm, expuesta a la atmósfera costera–urbana de la ciudad de Talara, a 280 m de la orilla del mar, durante cuatro años.

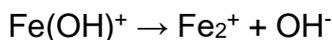
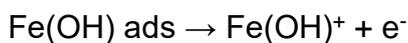
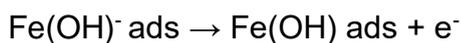
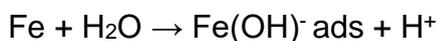


Figura 13. Placa de acero ASTM A 36, de 100x50x1.2 mm, expuesta a la atmósfera costera–urbana de la ciudad de Tumbes, a 150 m de la orilla del mar, durante tres años.

A manera de comparación, en las figuras 12 y 13, se presentan fotografías de un acero de composición química similar a las de las figuras 10 y 11, expuestas en la

atmósfera marina-urbana de la ciudad de Talara y Tumbes, respectivamente.

El mecanismo de disolución del Fe ocurre, de acuerdo a Heusler (1958) y Bockris et al (1961), por las reacciones en el ánodo



Y en el cátodo, la reducción del oxígeno disuelto en la película de humedad



La corrosión atmosférica estimulada por la presencia de azufre, el SO_2 formado es adsorbido y oxidado por la capa de productos hacia el SO_4^{2-} .

El ácido sulfúrico resultado de la oxidación del oxígeno absorbido en la capa de herrumbre ya formada, ataca al acero de acuerdo a la reacción

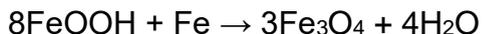


Los productos de corrosión (Figura 10) de color marrón corresponden a goetita (α - FeOOH), los de color naranja a la Akaganeita (β - FeOOH), los de color marrón rojizo es un compuesto amorfo (δ - FeOOH).

Las capas de color rojo revelan la presencia de lepidocrocita (γ - FeOOH). Las áreas más oscuras (Figura 10 y Figura 11) corresponden a magnetita (Fe_3O_4).

La magnetita se forma mediante oxidación de $\text{Fe}(\text{OH})_2$ (Schwarz, 1972).

También se forma mediante la reducción del hidróxido FeOOH ante un suministro limitado de oxígeno (Singh, 1985) de acuerdo a la reacción



La akaganeita es un componente típico de los productos de corrosión que se forma en atmósfera marina (Keller, 1969).

Los cloruros del mar resultado de su salinidad, junto con el óxido de azufre SO_2 desempeñan un importante rol en la corrosión del acero.

En una atmósfera marina, como es el presente caso, también se forman compuestos con contenidos de cloruros tal como la lawrencita (FeCl_2), el compuesto $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y el compuesto $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Arroyave y Morcillo, 1997).

La corrosión procede en celdas localizadas en forma de nidos alrededor de partículas de cloruros (Allam, 1991).

El lugar de exposición, además de su cercanía al mar (a 250 m), es un lugar urbano y evidencia la presencia de lepidocrocita, goetita, magnetita, de magemita hidratada ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) (Baum et al., 1974).

4.2 PERFORMANCE PROTECTOR DE LOS RECUBRIMIENTOS

Las figuras 14 y 15 muestran cada una tres placas de acero ASTM 131-01 Grado A (que fueron los sustratos sobre los cuales se aplicarían los recubrimientos una vez preparadas y caracterizadas las superficies), antes del granallado y después del granallado de las superficies, como preparación previa a la aplicación de las pinturas. Los valores de los parámetros relacionados a la rugosidad mecánica de las superficies fueron $R_a=6,3 \mu\text{m}$ y $R_z=60 \mu\text{m}$, estos parámetros se determinaron según las normas ISO 8503-4 e ISO 4288 utilizando un rugosímetro de palpador Elcometer PCE-RT 2200



Figura 14. Placas de acero ASTM 131-01 Grado A (que fueron los sustratos para los recubrimientos de pinturas) antes del granallado. Se aprecia manchas, óxidos y rayaduras en la superficie de los sustratos.



Figura 15. Placas de acero ASTM 131-01 Grado A (que fueron los sustratos para los recubrimientos de pinturas) después del granallado al grado metal blanco, que es la condición requerida antes de aplicar las pinturas, según las normas SSPC-SP-5, NACE -1, SS 055900.

4.2.1 RECUBRIMIENTO ALQUÍDICO BASE SOLVENTE

En la figura 16 se aprecia tres placas de acero de bajo carbono astm a 131-01 grado a, con recubrimiento alquídico (pintura anticorrosiva alquídica modificada) que fueron expuestas a la atmósfera marina durante un año. en la superficie del recubrimiento de las placas se puede notar a simple vista la presencia de distribuciones de ampollas de diversos tamaños y densidades. también, como era de esperarse (aparte en la corrosión de los bordes de las placas por ser allí el espesor del recubrimiento el más bajo) la corrosión se inició en las incisiones donde el metal quedó directamente expuesto a la atmósfera.

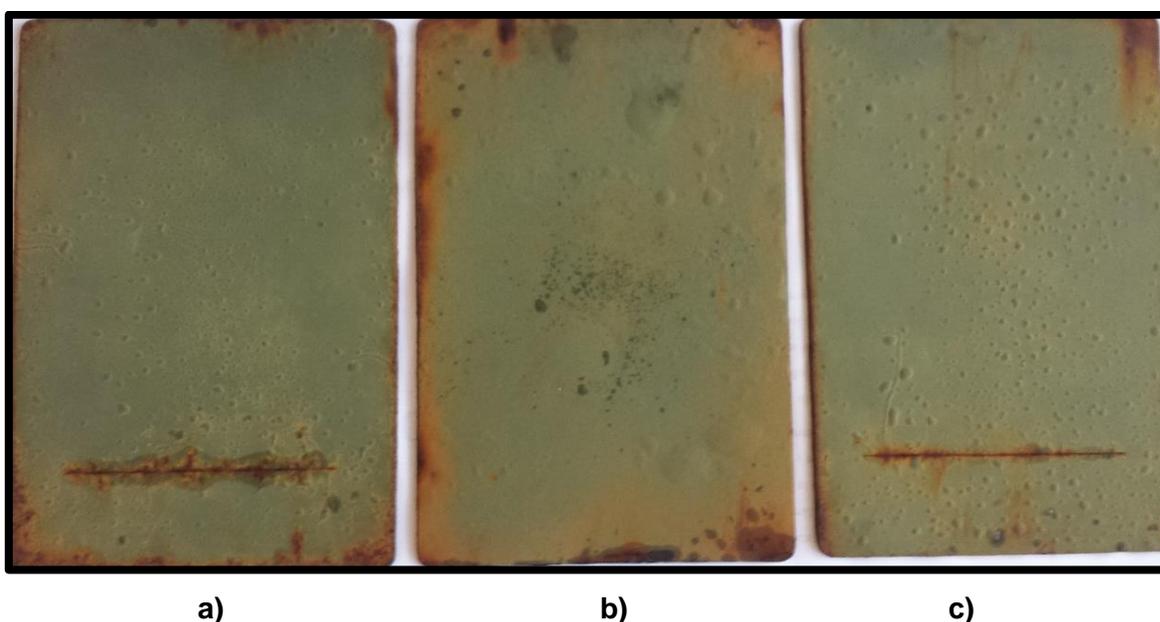


Figura 16. Tres placas de acero ASTM A 131-01 grado A con recubrimiento de pintura “anticorrosiva alquídica modificada,” después de un año de exposición en atmósfera marina. Dos de las tres placas (a y c) llevan incisiones. Se puede la presencia de distribuciones de ampollas de diversos tamaños y densidades.

Al cabo de dos años de exposición, las placas recubiertas tuvieron la apariencia que se muestra en la figura 17. Los cambios más notorios fueron el aumento de tamaño de las ampollas (particularmente en la placa sin incisión, Fig. 17centro) y también el aumento del número de las mismas.



Figura 17. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A con recubrimiento de la pintura anticorrosiva alquídica modificada,” después de dos años de exposición en atmósfera marina. En general, las ampollas han aumentado de tamaño.

En tres años de exposición, las placas recubiertas con esta pintura tuvieron la apariencia que se muestra en la figura 18. Los cambios más significativos fueron el incremento de tamaño y número de las ampollas, aparición de fisuras en la muestra de la derecha y el aumento de óxido en la superficie.

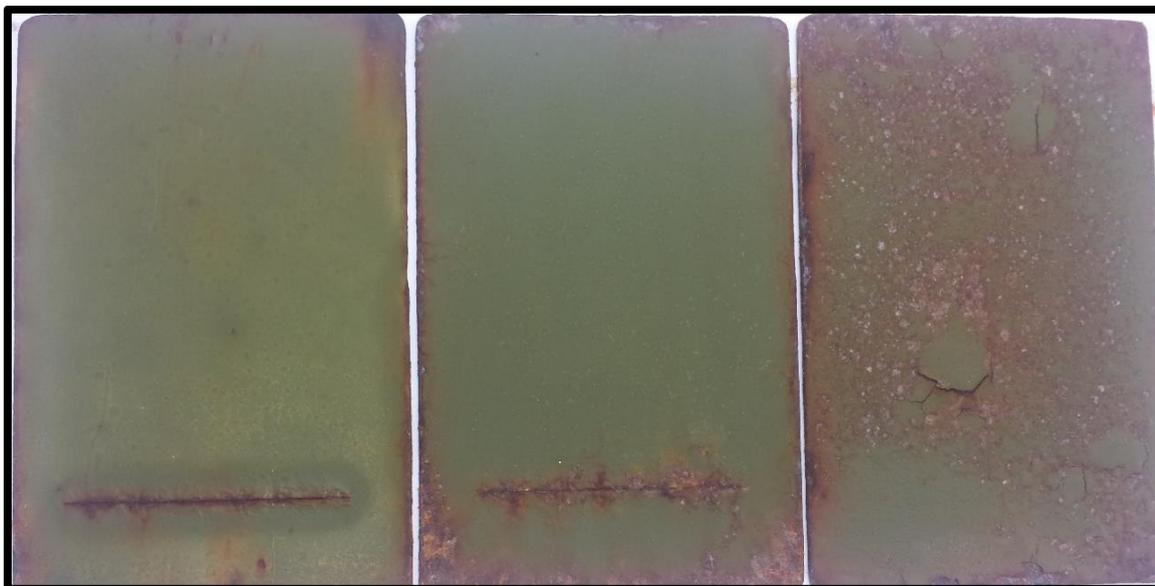


Figura 18. Muestras de pintura tradicional alquídica anticorrosivo aplicada sobre láminas de acero ASTM A 131-01 grado A al cabo de tres años de exposición en atmósfera marina de categoría de corrosividad C4 y C5 en la Bahía el Ferrol en el puerto de Chimbote.

A los tres años de exposición, con el ojo descubierto, se puede apreciar que la acción corrosiva de la atmósfera marina sobre el sustrato a lo largo de la incisión (Fig. 19) formó ampollas en el recubrimiento y en el metal, que crecieron de manera irregular lateralmente y verticalmente.

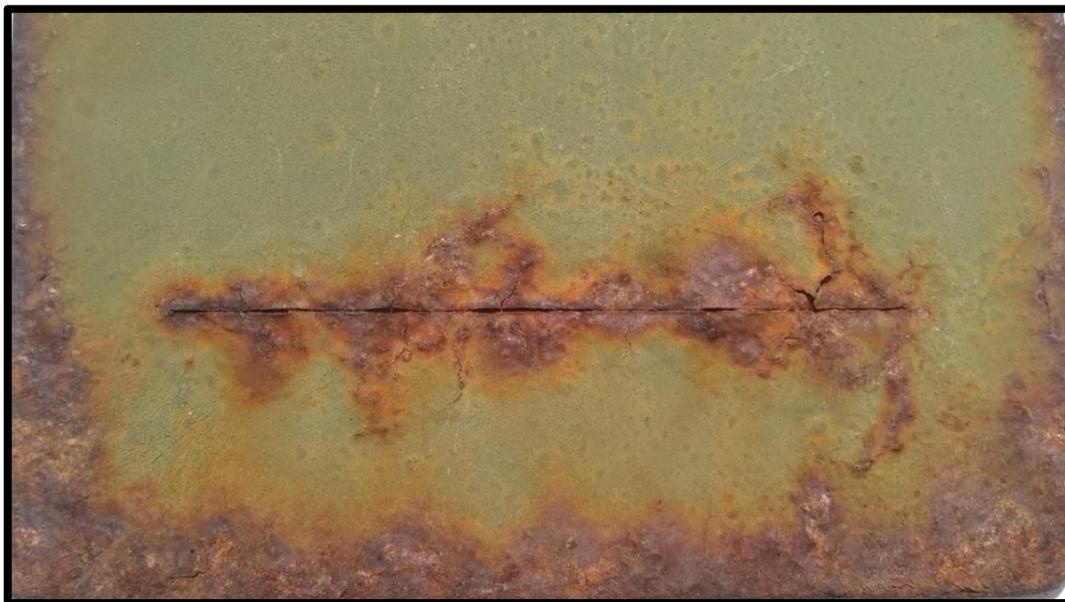


Figura 19. Productos de corrosión del sustrato a lo largo de la incisión (y en los bordes) pintura tradicional alquídica al cabo de tres años de exposición en atmosfera marina. Se formaron ampollas en el recubrimiento y en el sustrato.

La placa sin incisión (Fig. 20), a los tres años de exposición, además de la pérdida de gran parte del recubrimiento de pintura, la capa formada con los productos de la corrosión presenta fisuras.

En la parte superior izquierda se puede notar la gravedad del ataque corrosivo que al incrementar el ampollamiento provocó fisuras y consecuente delaminado del film de pintura en esa zona. Podemos apreciar asimismo la aparición de óxido en toda la zona aledaña a la delaminación, asimismo se aprecia a simple vista la proliferación de fisuras de diferente tamaño en las zonas mencionadas.

Debemos señalar que, excepto por la oxidación de la superficie el color no se degradó de manera significativa, incluso mantuvo el brillo en ciertas zonas que no fueron oxidadas.

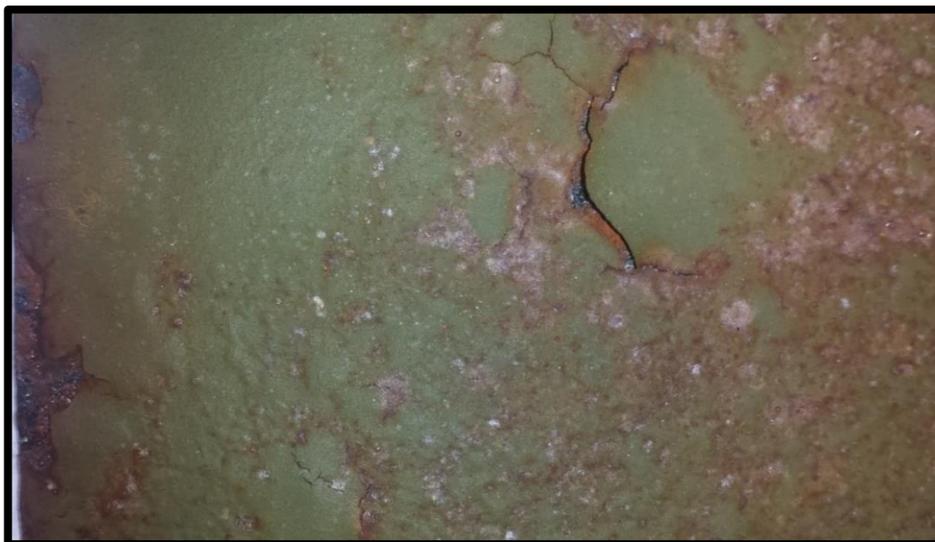


Figura 20. Placa sin incisión pintura tradicional alquídica después de tres años de exposición. La capa de productos de corrosión cubre la mayor parte de la superficie y presenta agrietamientos.

Los resultados de la evaluación del grado de ampollamiento del recubrimiento de pintura “anticorrosiva alquídica modificada” (aplicando la norma ISO 4628-2) y de oxidación (aplicando la norma ISO 4628-3) para uno, dos y tres años de exposición, se muestra en las tablas 6 y 7, respectivamente.

Tabla 6. Grado de ampollamiento del recubrimiento de pintura “anticorrosiva alquídica modificada” según la norma ISO 4628-2

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE AMPOLLAMIENTO	SIGNIFICADO
UN AÑO	1AI	3(S3)	Pocas y pequeñas ampollas
	2AI	3(S4)	Pocas y grandes ampollas
	3AI	4(S3)	Numerosas y pequeñas ampollas
DOS AÑOS	4AI	3(S3)	Pocas y pequeñas ampollas
	5AI	3(S4)	Pocas y grandes ampollas
	6AI	4(S4)	Numerosas y pequeñas ampollas
TRES AÑOS	7AI	4(S3)	Numerosas y pequeñas ampollas
	8AI	4(S3)	Numerosas y pequeñas ampollas
	9AI	4(S5)	Numerosas y muy grandes ampollas

Tabla 7. Grado de oxidación del sustrato pintado con recubrimiento anticorrosivo alquídico “modificado” según ISO 4628-3

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE OXIDACIÓN	AREA OXIDADA (%)
UN AÑO	1AI	Ri 2	0,5
	2AI	Ri 3	1
	3AI	Ri 2	0,5
DOS AÑOS	4AI	Ri 3	1
	5AI	Ri 3	1
	6AI	Ri 3	1
TRES AÑOS	7AI	Ri 3	1
	8AI	Ri 4	8
	9AI	Ri 5	50

El grado de oxidación de los sustratos pintados con este recubrimiento experimentan una oxidación leve y lenta hasta el final del segundo año de exposición, es después del segundo año que el grado de oxidación se acelera, podemos apreciar que un sustrato resultó severamente oxidado al término de los tres años mucho más que los otros dos que soportaron mejor el ataque atmosférico en este mismo periodo.

En las tablas 8 y 9 se presenta los resultados de la evaluación del grado de corrosión y de delaminación alrededor de las incisiones para uno, dos y tres años de exposición, los resultados indican que no son significativas en el caso de la corrosión en esta zona, es probable el óxido compactado haya formado barrera.

Tabla 8. grado de corrosión alrededor de una incisión (norma ISO 4628 - 8) en muestras del recubrimiento “anticorrosivo alquídico modificado”

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE CORROSIÓN	SIGNIFICADO
UN AÑO	1AI	1	Muy leve
	2AI	1	Muy leve
DOS AÑOS	4AI	1	Muy leve
	5AI	1	Muy leve
TRES AÑOS	7AI	2	Leve
	8AI	2	Leve

Tabla 9. Grado de delaminación alrededor de una incisión (ISO 4628-8) en muestras del recubrimiento “anticorrosivo alquídico modificado”

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	LONGITUD (mm)	ANCHO INICIAL (mm)	ANCHO FINAL (mm)	GRADO DE DELAMINACIÓN (d) (mm)	PROMEDIO DE GRADO DE DELAMINACIÓN (mm)
UN AÑO	1AI	75,50	0,50	1,10	0,30	0,50
	2AI	74,80	0,50	1,20	0,70	
DOS AÑOS	4AI	74,60	0,50	8,20	7,70	8,15
	5AI	75,20	0,50	9,10	8,60	
TRES AÑOS	7AI	75,40	0,50	14,50	14,00	14,35
	8AI	75,10	0,50	15,20	14,70	

El grado de delaminación alrededor de la incisión comenzó a ocurrir en forma muy leve desde el segundo año de exposición. Como se aprecia en la tabla 9, el delaminado alrededor de la incisión fue aumentando progresivamente y al cabo de tres años de exposición se nota que ya se producen agrietamientos y se forman protuberancias alrededor de algunos puntos de la incisión incrementando rápidamente el promedio del grado de delaminación.

Para un periodo de tres años de exposición en atmósfera marina del puerto de Chimbote, este recubrimiento muestra un muy bajo nivel de protección anticorrosiva. Los datos muestran que este recubrimiento anticorrosivo tradicional, que actualmente es muy usado en el mercado local, se deteriora mucho más rápido que los recubrimientos ecológicos que estamos estudiando, las ampollas se forman y son visibles al cabo del primer año de exposición, el grado de corrosión y la oxidación tienen similares características al recubrimiento Amercoat 220. Es probable que este recubrimiento se desempeñe bien como primer

4.2.2 RECUBRIMIENTO ACRÍLICO BASE AGUA

En las figuras 21 a 24 se muestra el estado de las placas de acero de bajo carbono ASTM A 131-01 grado A, con recubrimiento de pintura acrílica base agua (Amercoat 220) que fueron expuestas a la atmósfera marina del puerto de Chimbote. Para el primer año de exposición no se originan ampollas en la superficie de las muestras, al cabo del segundo año, en la superficie de las pinturas se puede apreciar la presencia de ampollas de diversos tamaños, pero de baja densidad. También, como era de esperarse la corrosión de los bordes de las placas se empieza a manifestar producto del bajo espesor de película y las tensiones de origen térmico, la corrosión se manifestó desde este periodo en las incisiones donde el metal quedó directamente expuesto a la atmósfera. Con el transcurso del tiempo se puede apreciar el incremento en el ampollado mas que en la formación de óxido, al cabo de los dos años de exposición ya se observa el inicio del agrietamiento en algunas zonas, este fenómeno se acelera siendo muy significativo al cabo de los tres años para las muestras con incisión.

Las imagenes que se presentan a continuación muestran el efecto corrosivo de la atmósfera sobre este recubrimiento para periodos de un año, dos años y tres años de exposición respectivamente.



Figura 21. Muestras de pintura acrílica base agua (Amercoat 220) sobre placas de acero ASTM A 131-01 grado A al cabo de un año de exposición en atmósfera marina Aparece leve óxido en las incisiones y en los bordes de los sustratos, no se aprecia la formación de ampollas; el nivel de protección para este periodo es muy bueno.

En la figura 22 se aprecia el estado de las palcas pintadas Amercoat 220 para un

periodo de dos años de exposición, se aprecia la formación de ampollas pequeñas y muy pequeñas en casi toda la superficie de las placas, la formación de óxido en los bordes es apreciable, en las incisiones hubo incremento de óxido para este periodo de exposición. El sustrato del lado izquierdo presenta mayor ampollamiento y mayor área oxidada en las zonas adyacentes a los bordes.



Figura 22. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con pintura acrílica base agua (Amercoat 220) al cabo de dos años de exposición en atmósfera marina en el puerto de Chimbote. Se aprecia la formación de ampollas en algunas zonas y la formación de óxido en las incisiones y en los bordes de la placa.

En la imagen de la figura 23 se aprecia el tamaño y la densidad de las ampollas en una vista mas cercana, claramente se nota la uniformidad, el tamaño y densidad superficial de éstas.

En estas muestras también se aprecia la aparición de zonas con óxido, estas se ubican en las proximidades de los bordes y en las zonas de incisión, esto se debe a que como ya se dijo en los bordes el espesor del recubrimiento es ligeramente menor y los efectos de los cambios térmicos debilitan la película del recubrimiento llegando incluso a romperla, por otro lado en las incisiones el acero queda completamente expuesto al ambiente, es la formación rápida de óxido que provoca la formación de barrera que retrasa la corrosión de dicha zona.



Figura 23. Se aprecia a simple vista la densidad y tamaño de las ampollas en la superficie de la Placa de acero ASTM A 131-01 grado A, estas fueron aumentando en densidad y tamaño hasta provocar delaminado y agrietamiento la capa de pintura en ciertas zonas como se puede ver en las imágenes abajo.

En la figura 24 se puede apreciar que la corrosión avanzó poco en las incisiones, en los bordes y dos de los sustratos presentan óxido en la superficie siendo el de la derecha el más deteriorado, se aprecia asimismo que la alta densidad de ampollas reportadas a los dos años siguió aumentando provocando agrietamiento y delaminado en dos de los sustratos. El sustrato de la derecha presenta una pequeña zona donde el óxido produjo desprendimiento de la capa oxidada. Este recubrimiento acrílico base agua, tuvo un buen nivel de protección anticorrosiva para dos años de exposición, luego como hemos visto en las fotos el deterioro que sufre para periodos mayores es significativo.

Haciendo comparaciones de desempeño en niveles de protección anticorrosiva, este recubrimiento tiene un nivel de protección similar al recubrimiento alquídico vencedor que se describió antes para periodos de hasta dos años, para el tercer año el recubrimiento Amercoat 220 se desempeña mejor que el Vencedor alquídico, aunque no en condiciones óptimas. En conclusión, este recubrimiento tuvo un buen nivel de protección anticorrosiva hasta por dos años.



Figura 24. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con recubrimiento acrílico base agua (Amercoat 220) al cabo de tres años de exposición en atmósfera marina. Puede apreciarse que los ejemplares ubicados en los extremos presentan fisuración, esto se debe a la pérdida de adherencia, a la alta densidad de ampollas y a la ruptura de la película de pintura en los bordes de las placas; el sustrato sin incisión muestra mínimo deterioro, no hay fisuras en su superficie y la presencia de óxido es mínima.

En las tablas siguientes se presenta la cuantificación de los efectos corrosivos del medio atmosférico sobre las pinturas en estudio conforme a las normas técnicas.

Tabla 10. Grado de ampollamiento (ISO 4628-2: 2005) de sustratos pintados con pintura Acrílica base agua (Amercoat 220)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE AMPOLLAMIENTO	SIGNIFICADO
UN AÑO	1A	–	Sin ampollas
	2A	–	Sin ampollas
	3A	–	Sin ampollas
DOS AÑOS	4A	4(S3)	Numerosas y pequeñas ampollas
	5A	3(S3)	Pocas y pequeñas ampollas
	6A	4(S3)	numerosas y pequeñas ampollas
TRES AÑOS	7A	4(S5)	Numerosas y muy grandes ampollas
	8A	4(S3)	Numerosas y pequeñas ampollas
	9A	4(S5)	Numerosas y muy grandes ampollas

En este recubrimiento el ampollamiento aparece en el segundo año de exposición

este es bastante denso en sus inicios en la superficie de dos de los sustratos, el tercer sustrato presenta menos ampollamiento, este hecho puede estar asociado a factores como el grado de limpieza de la superficie antes de ser pintada y también al espesor de la pintura aplicada.

En el transcurso del tercer año de exposición en atmosfera marina las muestras presentan en su superficie grandes y numerosas ampollas se observa que al unirse algunas de ellas produjeron agrietamiento de la capa de pintura; este hecho acelera el deterioro del sustrato porque en esta zona se produce corrosión y delaminado de la pintura.

Tabla 11. Grado de oxidación (ISO 4628-3: 2005) sustratos de acero recubiertos con Pintura Acrílica base agua (AMERCOAT 220)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE OXIDACIÓN	AREA OXIDADA (%)
UN AÑO	1A	Ri 1	0.05
	2A	Ri 1	0.05
	3A	Ri 1	0.05
DOS AÑOS	4A	Ri 3	1
	5A	Ri 2	0.5
	6A	Ri 2	0.5
TRES AÑOS	7A	Ri 5	40
	8A	Ri 3	1
	9A	Ri 4	8

La oxidación se hace presente desde el primer año de exposición tanto en las incisiones como en los bordes de los sustratos, este fenómeno se incrementa con el paso del tiempo siendo mas significativo a partir de los bordes; en la zona de incisión no se nota el mismo nivel de incremento.

En el segundo y tercer año de exposición puede notarse el incremento del nivel de oxidación en zonas puntuales cerca a los bordes, en una de las muestras notamos que para los tres años de exposición se produjo cerca a uno de los bordes el agrietamiento y consecuente delaminado.

Tabla 12. Grado de corrosión alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8: 2005) sustratos de acero pintadas con pintura Acrílica base agua (AMERCOAT 220)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE CORROSIÓN	SIGNIFICADO
UN AÑO	1A	2	leve
	2A	1	muy leve
DOS AÑOS	4A	1	muy leve
	5A	1	muy leve
TRES AÑOS	7A	2	leve
	8A	2	Leve

Para este recubrimiento y para los tres años de exposición en atmósfera marina el grado de corrosión alrededor de la incisión de las muestras no se incrementó de manera notoria como en otros tipos de recubrimientos que estudiamos, el grado de corrosión es más notoria en las zonas cercanas a los bordes y en los bordes mismos.

En conclusión, el grado de corrosión alrededor de la incisión de las muestras no es de importancia significativa para el periodo estudiado, como se observa no cambió significativamente desde el primer año de exposición.

Tabla 13. Grado de delaminación alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8: 2005)
En sustratos de acero recubiertos con Pintura Acrílica base agua (AMERCOAT 220)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	LONGITUD (mm)	ANCHO INICIAL (mm)	ANCHO FINAL (mm)	GRADO DE DELAMINACIÓN (d) (mm)	PROMEDIO DE GRADO DE DELAMINACIÓN (mm)
UN AÑO	1A	74,60	0,50	1,00	0,25	0,300
	2A	73,50	0,50	1,20	0,35	
DOS AÑOS	4A	74,90	0,50	3,30	1,40	1,350
	5A	73,90	0,50	3,10	1,30	
TRES AÑOS	7A	74,20	0,50	4,90	2,20	1,925
	8A	72,80	0,50	3,80	1,65	

El grado de delaminación alrededor de la incisión para este recubrimiento es insignificante debido a que el grado de oxidación en esta zona fue mínimo como puede apreciarse en las muestras al cabo de los tres años de exposición en atmosfera marina, como se aprecia ninguna de las muestras presenta zonas de delaminado alrededor de la incisión que pueda considerarse de importancia; lo que se debe tener en cuenta es que la superficie lejos de la zona de incisión presenta fisuras considerables y consecuentemente también delaminado a partir de las fisuraciones, lo cual muestra que la pérdida de adherencia es significativa; se puede apreciar que las ampollas se fueron uniendo provocando zonas que llegaron a la fisuración y consecuente delaminado.

4.2.3 RECUBRIMIENTO DE PINTURA EPÓXICA

En la figura 25 se presenta tres placas de acero de bajo carbono ASTM A 131-01 grado A, con recubrimiento de pintura epóxica de alto contenido de sólidos (Amercoat 240) las imágenes corresponden al estado de las muestras después de un año de exposición en atmósfera marina de la Bahía El Ferrol en el puerto de Chimbote.

En la superficie del recubrimiento de las placas podemos ver que no se formaron ampollas, solamente puede notarse el inicio de la formación de óxido en las incisiones y en algunos puntos en los bordes de las placas. Para este periodo de exposición el nivel de protección anticorrosiva brindada por este recubrimiento es muy bueno como se esperaba debido a que la función principal de un epóxico es la protección contra la corrosión.



Figura 25. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con Pintura Epóxica de alto contenido de sólidos (Amercoat 240) al cabo de un año de exposición en atmósfera marina del puerto de Chimbote. Se aprecia la aparición de óxido en algunas partes de los bordes y en la zona de incisión, mas no presenta ampollamiento en la superficie de los sustratos. El nivel de protección anticorrosiva es muy bueno.

La figura 26 corresponde a imagen del estado de tres placas de acero ASTM A 131-01 grado A que fueron pintadas con recubrimiento epóxico de alto contenido de sólidos (Amercoat 240) después de haber sido expuestas durante dos años en atmósfera marina, la imagen muestra que para este periodo de exposición aparecen pequeñas ampollas poco perceptibles a simple vista en la superficie de las muestras, la placa ubicada en el lado derecho presenta óxido tanto en la zona de

incisión como en los bordes de los sustratos siendo mas notorio en la zona próxima a la incisión, al ocurrir esto solo en una de tres placas creemos que puede deberse al bajo espesor de la película de pintura o a la deficiente preparación de superficie del sustrato.



Figura 26. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con pintura epóxica de alto contenido de sólidos (Amercoat 240) al final de dos años de exposición en atmósfera marina.

Podemos apreciar en esta imagen que para este periodo de exposición aparecen ampollas poco perceptibles a simple vista en la superficie de las muestras, una de ellas la del lado derecho presenta óxido y delaminado tanto en la zona de incisión como en el borde superior.

La figura 27 muestra el estado de las Placas de acero ASTM A 131-01 grado A, las cuales fueron recubiertas con pintura tipo epóxica de alto contenido de sólidos y estuvieron expuestas al medio atmosférico marino de la bahía El Ferrol en el puerto de Chimbote en el norte de Perú. Para este periodo de exposición se aprecia la formación de grandes ampollas en la superficie de las muestras, así como la formación de óxido en gran parte de la superficie de dos de las muestras, la zona de incisión presenta mucho óxido; el sustrato sin incisión presenta ampollamiento mas no óxido como en las demás muestras.

Este recubrimiento no tiene un buen nivel de protección anticorrosiva para un periodo de tres años de exposición si es aplicado sin sistema.

Al ser un epóxico su desempeño óptimo como inhibidor de la corrosión será cuando sea aplicado como primer en un pintado con esquema; no podemos pasar por alto algunas particularidades del color negro frente a condiciones metereologicas que también podrían estar influyendo en el nivel de deterioro de este tipo de recubrimiento.

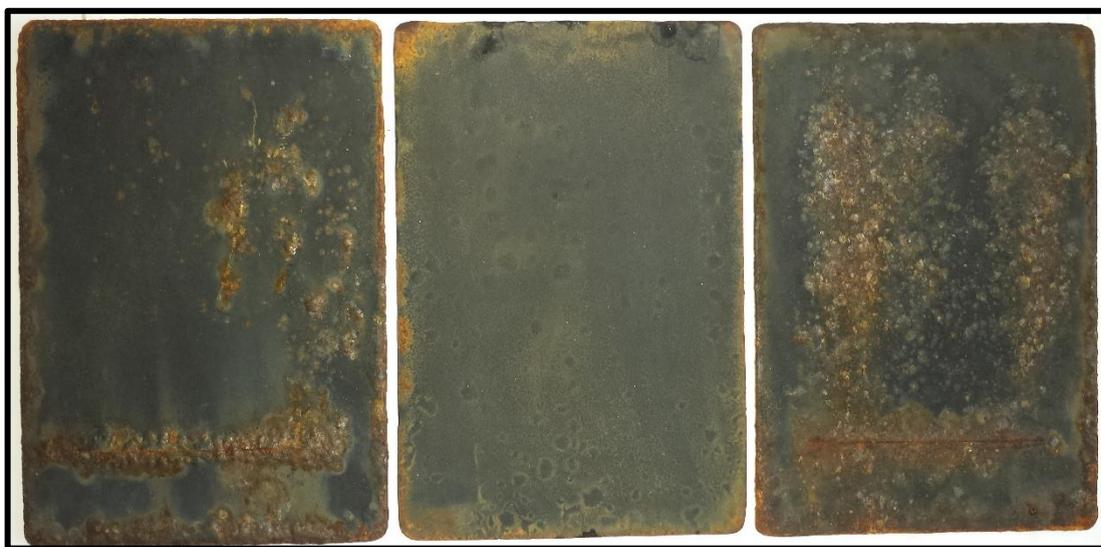


Figura 27. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A que fueron pintadas con recubrimiento epóxico de alto contenido de sólidos (Amercoat 240) el estado mostrado en la imagen corresponde al término de tres años de exposición en atmósfera marina en la bahía El Ferrol en el Puerto de Chimbote.

En la figura 28 se muestra en una vista mas cercana de la zona de incisión de la placa del lado derecho de la figura 27, placa de acero ASTM A 131-01 grado A en ella se aprecia mejor el daño causado por la corrosividad del medio ambiente sobre este tipo de recubrimiento; en esta imagen podemos ver que es el ampollamiento de la superficie pintada la manifestación mas notoria causada por la corrosividad de este medio, asimismo se aprecia que la formación de óxido en la incisión es mínima lo que hace que en esa zona no haya delaminado de importancia.



Figura 28. La foto muestra una vista mas cercana de la zona de incisión del sustrato ubicado en el lado derecho de la figura 27, se aprecia que la superficie presenta alta densidad de ampollas, pero escasa oxidación inclusive en la incisión, esta muestra no presenta delaminado alrededor de la incisión.

Tabla 14. grado de ampollamiento (ISO 4628-2: 2005) en sustratos de acero recubiertos con pintura Epóxica de alto contenido de sólidos (Amercoat 240)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE AMPOLLAMIENTO	SIGNIFICADO
UN AÑO	1E	–	Sin ampollas
	2E	–	Sin ampollas
	3E	–	Sin ampollas
DOS AÑOS	4E	3(S3)	Pocas y pequeñas ampollas
	5E	3(S3)	Pocas y pequeñas ampollas
	6E	3(S4)	Pocas y grandes ampollas
TRES AÑOS	7E	4(S4)	Numerosas y grandes ampollas
	8E	4(S4)	Numerosas y grandes ampollas
	9E	4(S4)	Numerosas y grandes ampollas

La formación de ampollas en la superficie de las placas se presentó después de dos años de exposición en cantidades y tamaños pequeños, luego fue incrementándose hasta que al cabo de los tres años la superficie de los sustratos presenta mucho ampollamiento. Las ampollas progresivamente al aumentar su tamaño y densidad se unen con las aledañas provocando el delaminado y agrietamiento en dicha zona.

Tabla 15. grado de oxidación (ISO 4628-3: 2005) en placas de acero naval recubiertas con pintura Epóxica de alto contenido de sólidos (AMERCOAT 240)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE OXIDACIÓN	AREA OXIDADA (%)
UN AÑO	1E	Ri 0	0
	2E	Ri 0	0
	3E	Ri 0	0
DOS AÑOS	4E	Ri 2	0.5
	5E	Ri 1	0.05
	6E	Ri 3	1
TRES AÑOS	7E	Ri 4	8
	8E	Ri 2	0.5
	9E	Ri 5	40

La oxidación comienza a ser visible a los dos años de exposición en atmósfera marina, la aparición es en los bordes de los sustratos y en la zona de incisión, se incrementa muy rápidamente en esta zona mas no así en el sustrato sin incisión, a los tres años de exposición se aprecia en dos de los sustratos áreas considerables con óxido, lo que también ocurre en las zonas donde se practicó la incisión. en las muestras.

Tabla 16. grado de corrosión alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8: 2005) en sustratos de acero pintados con pintura Epóxica de alto contenido de sólidos (AMERCOAT 240)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE CORROSIÓN	SIGNIFICADO
UN AÑO	1E	1	muy leve
	2E	1	muy leve
DOS AÑOS	4E	2	leve
	5E	3	moderada
TRES AÑOS	7E	5	severa
	8E	5	severa

Para este recubrimiento el grado de corrosión alrededor de una incisión se puede apreciar desde el primer año de exposición, al término del cual es muy leve luego se incrementa muy rápidamente para el periodo de dos años de exposición y al

cabo de tres años llega siendo severa de manera que deteriora mucho al recubrimiento y al sustrato en el entorno a la incisión, provocando el consecuente delaminado.

Inicialmente puede apreciarse que el grado de corrosión en las zonas próximas a la incisión se vuelve lenta, esto se debe a que la capa de óxido que inicialmente se forma actúa temporalmente como barrera entre el medio externo y la superficie del sustrato minimizando la permeabilidad.

Tabla 17. Grado de delaminación alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8: 2005) en sustratos de acero pintadas con pintura Epóxica de alto contenido de sólidos (AMERCOAT 240)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	LONGITUD (mm)	ANCHO INICIAL (mm)	ANCHO FINAL (mm)	GRADO DE DELAMINACIÓN (d) (mm)	PROMEDIO DE GRADO DE DELAMINACIÓN (mm)
UN AÑO	1E	74,60	0,50	0,90	0,200	0,2250
	2E	75,10	0,50	1,00	0,250	
DOS AÑOS	4E	73,60	0,50	8,50	4,000	4,9000
	5E	74,80	0,50	12,10	5,800	
TRES AÑOS	7E	75,20	0,50	14,20	6,850	7,2250
	8E	74,20	0,50	15,70	7,600	

En la tabla 15 se puede apreciar los resultados del grado de delaminación alrededor de la incisión en sustratos de acero, determinados conforme lo prescrito en la norma ISO 4628-8:2005, éstos muestran que el grado de delaminación alrededor de la incisión aparece desde el primer año de exposición al medio atmosférico marino pero de manera muy leve debido al similar nivel de oxidación en la zona, en el segundo año se acelera este proceso de modo muy significativo produciendo deterioro significativo, para luego ser muy moderado en el tercer año comparado con el avance que mostó para el periodo de dos años. Probablemente sean las características climáticas del medio que da origen a este comportamiento, el clima en el lugar de exposición tiene variaciones muy notorias dependiendo de las estaciones del año. Las variaciones climáticas condicionan la composición del spray marino, el contenido de los sulfatos y la polución en el medio atmosférico marino, a esto se debe que el grado de delaminado en este recubrimiento tiene un efecto creciente, pero sin un patrón definido.

4.2.4 RECUBRIMIENTO DE PINTURA DE SILOXANO

En la figura 29 se aprecia el estado de tres placas de acero de bajo carbono ASTM A 131-01 grado A, con recubrimiento de pintura Siloxano (PSX 700) que fueron expuestas a la atmósfera marina en la bahía El Ferrol en el puerto de Chimbote durante el periodo de un año. La superficie del recubrimiento de las placas no presenta ampollamiento, se puede apreciar en los bordes de las placas la presencia de zonas con coloración marrón claro que significa la tendencia a formar óxido, también podemos notar el inicio de la formación de óxido en las incisiones por el contacto directo metal medio ambiente, también en los bordes de los sustratos.



Figura 29. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A que fueron pintadas con recubrimiento Siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700) después de un año de exposición en atmósfera marina en el puerto de Chimbote, para este periodo de exposición no se han formado ampollas en la superficie de los sustratos, tampoco es significativa la formación de corrosión en las incisiones; se puede notar la aparición de óxido en los bordes de los sustratos.

La figura 30 es una fotografía del estado de tres placas **de acero ASTM A 131-01 grado A** pintadas con recubrimiento siloxano de alto contenido de sólidos que estuvieron expuestas al medio atmosférico marino de la Bahía El Ferrol en el puerto de Chimbote durante dos años; para este periodo de exposición se aprecia a simple vista la formación de ampollas pequeñas y muy pequeñas en los sustratos del lado izquierdo y del centro, el sustrato ubicado al lado derecho no presenta ampollamiento para este periodo. La superficie de las muestras presentan un ligero

cambio en el color apreciándose que aparece una coloración marrón clara este cambio en el tono de color y en el brillo de la pintura indica la tendencia a formar óxido, también se aprecia a simple vista la formación de ampollas relativamente mas grandes en las proximidades de la zona de incisión de las muestras, la aparición de óxido en los bordes se incrementó ligeramente comparado a lo que se tenía en la evaluación realizada al cabo del primer año de exposición.



Figura 30. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con recubrimiento siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700) al cabo de dos años de exposición en atmósfera marina.

Para este periodo de exposición se nota el cambio en el tono de color y en el brillo de la pintura, la aparición de pequeñas y muy pequeñas ampollas en las superficies, asimismo las zonas con óxido crecieron ligeramente. Debemos hacer notar que el sustrato del lado derecho tiene mínima afectación; solo en la parte inferior aparecen ampollas.

En la figura 31 se presenta una imagen mas focalizada de la parte inferior de la placa del lado derecho de la figura 30 se aprecia a simple vista la presencia de ampollas de distintos tamaños y densidades, también se puede apreciar la formación de óxido en partes de esta zona.

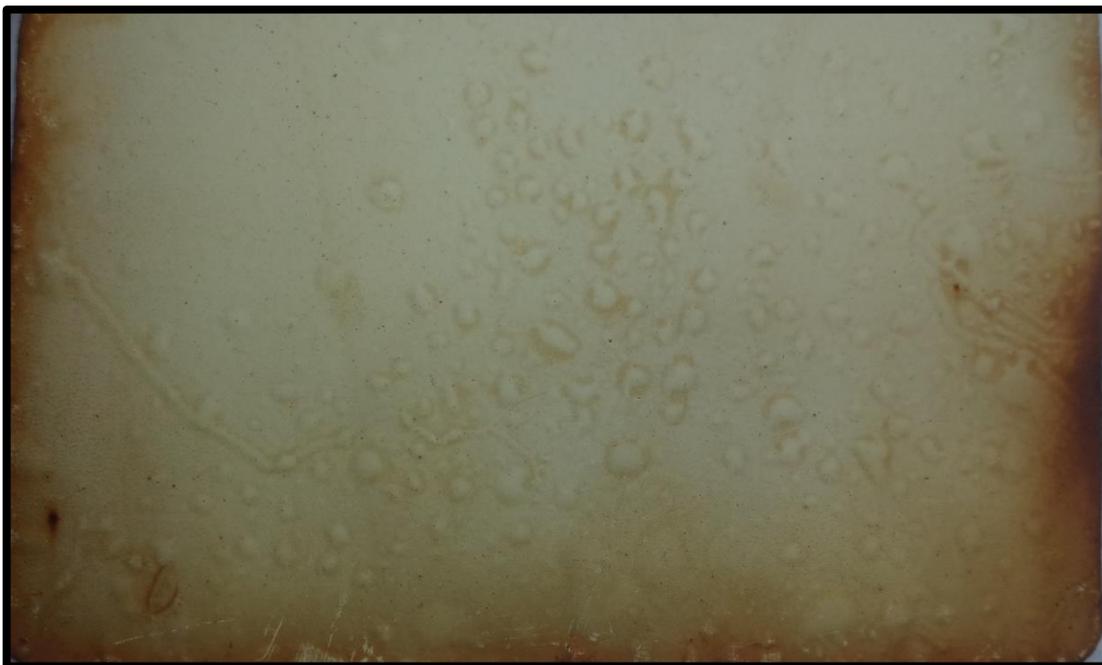


Figura 31. Muestra de placa de acero del extremo derecho de la figura 30 pintada con recubrimiento PSX 700 al cabo de dos años de exposición en atmósfera marina; en la figura se aprecian a simple vista la formación de ampollas de diferentes tamaños y densidades, también se puede notar zonas con formación de óxido.

La figura 32 nos muestra el estado de tres placas. *Placas de acero ASTM A 131-01 grado A*, pintadas con recubrimiento siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700) al cabo de tres años de exposición en atmósfera marina en la Bahía El Ferrol del puerto de Chimbote. Podemos notar a simple vista el cambio en el tono de color, la pérdida de brillo, la aparición de ampollas en gran parte de la superficie, siendo más abundantes en las zonas cercanas a la incisión, el óxido en los bordes aumentó ligeramente en comparación a la que presentaban los sustratos a los dos años de exposición; se aprecia asimismo que el grado de corrosión en la zona de incisión no es significativo, es más notoria la formación de ampollas.

Para este periodo no se aprecia presencia de ampollas grandes, no aparece fisuración ni deslaminado en esta pintura; lo que es bastante notorio es el ligero cambio del color tendiendo a un marrón claro, señal del inicio de formación de óxido. Este recubrimiento es el que mejor nivel de protección anticorrosiva mostó entre los que fueron motivo de este estudio.



Figura 32. Placas de acero ASTM A 131-01 grado A pintadas con recubrimiento Siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700) al cabo de tres años de exposición en atmósfera marina en la Bahía El Ferrol del puerto de Chimbote. Podemos notar a simple vista el cambio en el tono de color, la pérdida de brillo, la aparición de ampollas en gran parte de la superficie. siendo mas abundantes en las zonas de incisión, el óxido en los bordes aumentó ligeramente.

La figura 33 es una vista localizada de la placa ubicada en el centro en la foto de la figura 32. En la figura se aprecia la parte mas afectada entre todas las muestras pintadas con PSX 700 al cabo de tres años de exposición en atmósfera marina, se aprecia la zona de incisión con muy poca corrosión, no se observa delaminado ni agrietamiento, en este periodo solo se produjo la formación de ampollas pequeñas y medianas en la zona de incisión y zonas aledañas, la corrosión es mínima en ciertos puntos cercanos a los bordes de los sustratos.

El nivel de protección anticorrosiva proporcionado por ese recubrimiento es el mejor entre los recubrimientos que hemos estudiado para el periodo de tres años de exposición en atmósfera marina.

Los recubrimientos siloxanos son por las características de sus formulaciones y de los enlaces de sus componentes muy buenos para proteger a los aceros contra la corrosión en ambientes agresivos y se sabe que aplicados en sistemas tiene un muy buen desempeño.



Figura 33. Aquí se aprecia la parte mas afectada de las muestras pintadas con PSX 700 que mostramos en la figura 32, se aprecia la zona de incisión con muy poca corrosión, no se observa delaminado ni agrietamiento, solo se aprecia la formación de ampollas pequeñas y medianas en la zona de incisión y zonas aledañas, la corrosión es mínima en ciertos puntos cercanos a los bordes del sustrato.

Tabla 18. grado de ampollamiento (ISO 4628-2: 2005) en sustratos de acero de *bajo carbono pintadas con recubrimiento Siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700)*

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE AMPOLLAMIENTO	SIGNIFICADO
UN AÑO	1S	–	Sin ampollas
	2S	–	Sin ampollas
	3S	–	Sin ampollas
DOS AÑOS	4S	2(S2)	Muy pocas y muy pequeñas ampollas
	5S	2(S3)	Muy pocas y pequeñas ampollas
	6S	-	Sin ampollas
TRES AÑOS	7S	4(S3)	Numerosas y pequeñas ampollas
	8S	3(S4)	Pocas y grandes ampollas
	9S	3(S2)	Pocas y muy pequeñas ampollas

Este recubrimiento presenta un muy buen efecto protector contra la corrosión del acero; podemos notar que aún cuando fue aplicado sin sistema, no presenta ampollamiento durante el primer año de exposición, al cabo del segundo año es cuando recién empiezan a aparecer muy pocas y muy pequeñas ampollas en dos de los sustratos, el tercero aún permanece sin ampollamiento.

Al cabo de tres años de exposición en atmósfera marina las superficies de los sustratos presentan pocas ampollas de tamaños grandes y pequeñas que pueden apreciarse a simple vista, en general el ampollamiento no es significativo en los sustratos pintados con el recubrimiento PSX 700 al término de tres años de exposición en atmósfera marina.

Para tres años de exposición, este recubrimiento presenta un muy buen nivel de protección contra la corrosión atmosférica siendo el mejor de los ensayados en este estudio.

Tabla 19. grado de oxidación (ISO 4628-3: 2005) en sustratos de acero de bajo carbono pintadas con recubrimiento Siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE OXIDACIÓN	AREA OXIDADA (%)
UN AÑO	1S	Ri 0	0
	2S	Ri 0	0
	3S	Ri 0	0
DOS AÑOS	4S	Ri 2	0,5
	5S	Ri 1	0,05
	6S	Ri 1	0,05
TRES AÑOS	7S	Ri 2	0,5
	8S	Ri 2	0,5
	9S	Ri 1	0,05

El grado de oxidación en los sustratos pintados con este recubrimiento es mínimo al cabo de tres años de exposición en atmósfera marina; en el primer año de exposición no se presenta oxidación en las zonas de incisión de las muestras, en el segundo año empieza a aparecer óxido en pequeñas zonas en los bordes de los sustratos y apenas se manifiesta en la zona de incisión. En el periodo estudiado no se ha notado incremento acelerado de la oxidación, su presencia es mínima mostrando un buen nivel de protección frente a la corrosión.

De los tres recubrimientos que han sido motivo de este estudio, el PSX 700 es el que ha mostrado el mejor nivel de protección contra la corrosión en atmósfera marina, como se vió para el periodo de tres años de exposición el grado de oxidación es mínimo.

Tabla 20. grado de corrosión alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8: 2005) en sustratos de acero de bajo carbono pintados con recubrimiento Siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	GRADO DE CORROSIÓN	SIGNIFICADO
UN AÑO	1S	-	Sin corrosión
	2S	-	Sin corrosión
DOS AÑOS	4S	1	muy leve
	5S	1	muy leve
TRES AÑOS	7S	1	muy leve
	8S	1	muy leve

El grado de corrosión alrededor de la incisión de las muestras es nulo al término del primer año de exposición en atmósfera marina, las muestras presentan un muy leve grado de corrosión para dos y tres años de exposición; como se ha podido ver en las imágenes que presentamos, las zonas de incisión y zonas aledañas apenas presentan corrosión y muy leve, lo cual muestra que este recubrimiento tiene un buen nivel de protección anticorrosivo; es necesario remarcar que fue aplicado sin sistema.

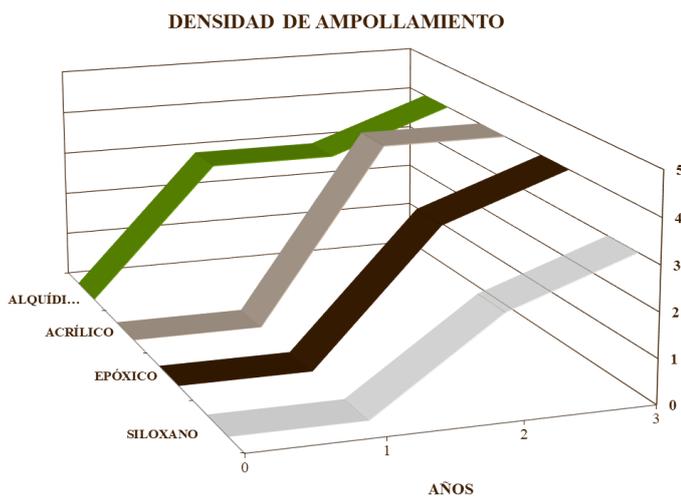
Tabla 21. grado de delaminación alrededor de una incisión (ISO 4628 - 8: 2005) en sustratos de acero de bajo carbono pintados con recubrimiento Siloxano de alto contenido de sólidos (PSX 700)

PERIODO DE EXPOSICIÓN	MUESTRA	LONGITUD (mm)	ANCHO INICIAL (mm)	ANCHO FINAL (mm)	GRADO DE DELAMINACIÓN (d) (mm)	PROMEDIO DE GRADO DE DELAMINACIÓN (mm)
UN AÑO	1S	75,30	0,50	0,50	0	0,00
	2S	75,00	0,50	0,50	0	
DOS AÑOS	4S	74,80	0,50	0,60	0,10	0,15
	5S	75,10	0,50	0,70	0,20	
TRES AÑOS	7S	74,80	0,50	0,70	0,20	0,25
	8S	74,20	0,50	0,80	0,30	

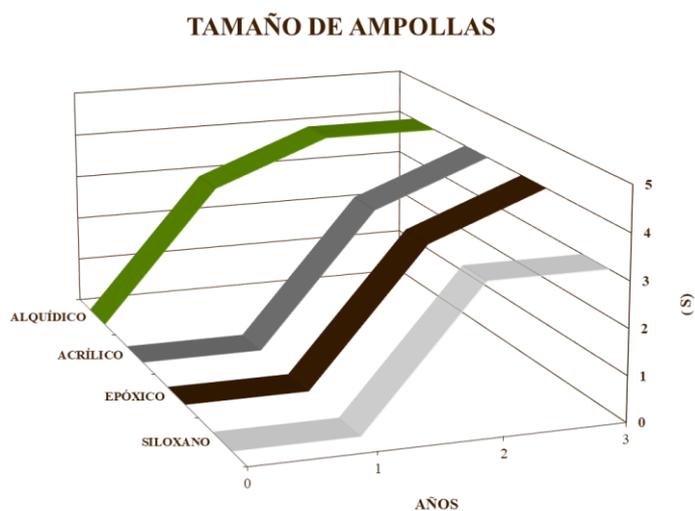
El grado de delaminación alrededor de una incisión para los sustratos pintados con este recubrimiento son mínimos, hasta se podría decir que son imperceptibles dado el buen nivel de protección anticorrosiva que brinda esta pintura. El comportamiento de este recubrimiento para proteger al acero en atmósfera marina es excelente y es el mejor de los que hemos estudiado para el periodo de tres años y aplicado sin sistema, cabe remarcar que este recubrimiento es del tipo siloxano de alto contenido de sólido

En las siguientes ilustraciones en base a los datos de las tablas anteriores se presenta el comportamiento promedio de los recubrimientos estudiados, es decir el grado de ampollamiento, grado de oxidación, grado de delaminación y grado de corrosión alrededor de una incisión a fin de comparar el comportamiento en el tiempo de los niveles de protección anticorrosiva de los recubrimientos.

AMPOLLAMIENTO (ISO 4628-2)



(a)



(b)

Figura 34. Aquí se aprecia (a) la densidad de ampollamiento y (b) el tamaño de ampollas que presentaron los recubrimientos estudiados, en función del tiempo.

OXIDACIÓN (ISO 4628-3)

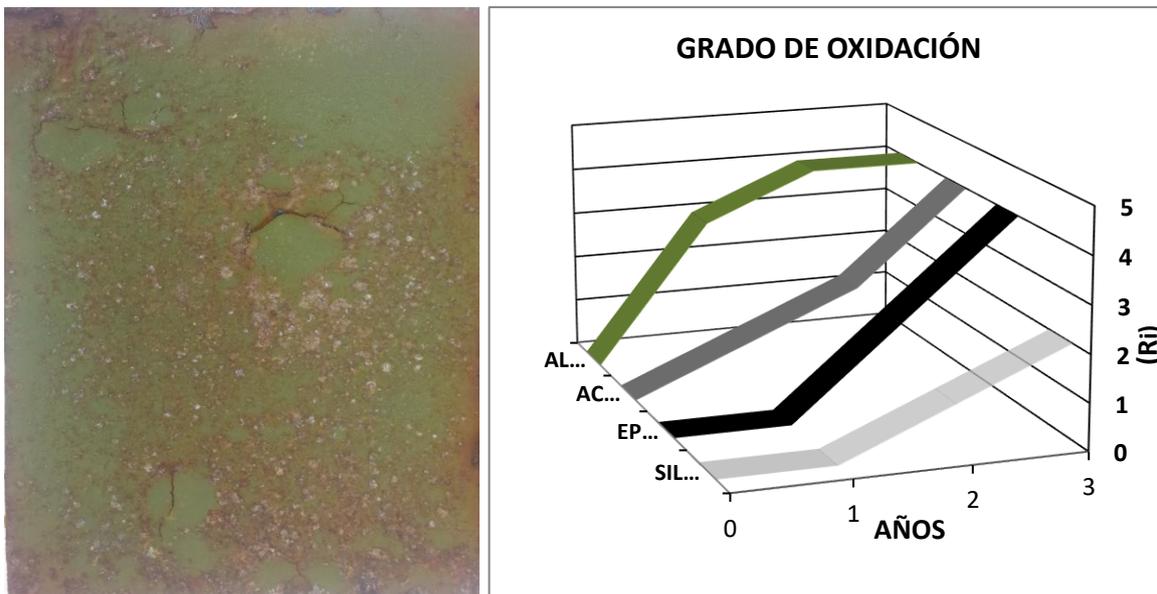


Figura 35. En esta figura se aprecia el grado de oxidación de los sustratos en función del tiempo. El sustrato pintado con recubrimiento alquídico presenta mayor grado de oxidación desde el primer año de exposición.

CORROSIÓN ALREDEDOR DE LA INCISIÓN (ISO 4628-8)

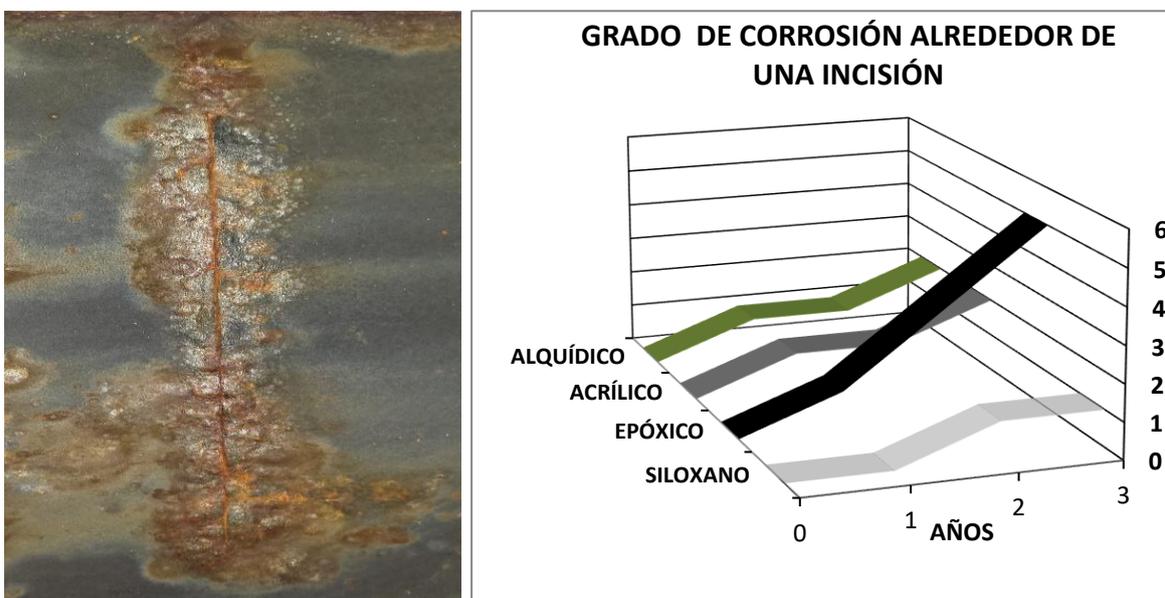


Figura 36. En esta figura podemos apreciar el grado de corrosión alrededor de la incisión en los diferentes recubrimientos, es notorio que el recubrimiento epóxico el que presenta mayor corrosión, puede también apreciarse que los recubrimientos alquídico y acrílico presentan similar comportamiento en el periodo estudiado,

DELAMINACIÓN ALREDEDOR DE UNA INCISIÓN (ISO 4628-8)

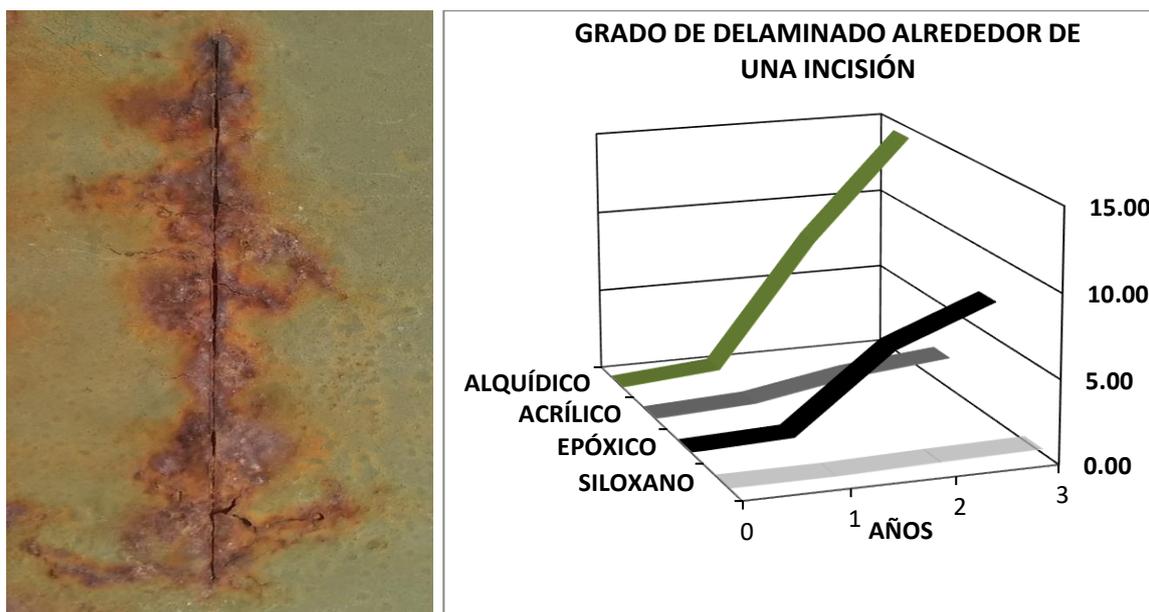


Figura 37. En esta figura se aprecia el grado de delaminación alrededor de la incisión en función del tiempo, claramente el recubrimiento alquídico es el que presenta mayor delaminación seguido del recubrimiento epóxico, también vemos que el sustrato pintado con recubrimiento siloxano presenta mínimo grado de delaminación alrededor de la incisión.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Los productos de corrosión de las placas de acero de bajo carbono, ASTM A 131-01 Grado A que fueron expuestas, sin recubrimiento, al ambiente atmosférico marino (de categoría de corrosividad C4 y C5), formaron capas en forma de costras gruesas y protuberancias de baja adherencia de diversas sustancias (óxidos hidratados, hidróxidos y diversas sustancias cristalinas y amorfas), como resultado de las reacciones entre los elementos químicos del acero y los componentes de la atmósfera. A los tres años de exposición, estas capas de corrosión evidenciaron considerable porosidad y pequeñas fisuras. Debido a la baja adherencia, las costras se desprendían con el paso del tiempo reduciendo el espesor y causando perforación de las placas. El tipo de corrosión fue mayormente *uniforme*. Los principales productos de corrosión fueron identificados como: goetita (α -FeOOH), Akaganeita (β -FeOOH), compuesto amorfo (δ -FeOOH), lepidocrocita (γ -FeOOH) y magnetita (Fe_3O_4).

El recubrimiento tradicional anticorrosivo alquídico modificado base solvente (de la marca Vencedor), utilizado en el estudio para efectos de comparación de nivel de protección anticorrosiva, ofreció aceptables niveles de protección hasta los dos años para posteriormente degradarse rápidamente debido a que estas formulaciones siguen reaccionando apreciablemente con el oxígeno del ambiente.

A los tres años de exposición, los grados de, ampollamiento (norma ISO 4628-2), oxidación del sustrato (norma ISO 4628-3), corrosión alrededor de la incisión (norma ISO 4628-8), delaminación alrededor de la incisión (norma ISO 4628-8) fueron, sucesivamente: a) para el recubrimiento alquídico, 4(S3)- 4(S4)-4(S5); Ri2-Ri3-Ri5; 1-1-2; 0.50-8.15-14.35, b) para el recubrimiento acrílico, 0-4(S3)-4(S5); Ri1-Ri3-Ri5; 1-2-2; 0.30-1.36-1.93, c) para el recubrimiento epóxico, 0-3(S4)-4(S4); Ri0-Ri3-Ri5; 1-3-5; 0.23-4.90-7.23, d) para el recubrimiento siloxano, 0-2(S3)-3(S4); Ri0-Ri2-Ri2; 0-1-1; 0.00-0.15-0.25.

El recubrimiento acrílico base agua AMERCOAT 220 (de la marca AMERON) mostró un nivel moderado de protección anticorrosiva para el periodo estudiado. Al cabo de dos años de exposición presenta grado de ampollamiento (norma ISO 4628-2) que va desde 3(S3) hasta 4(S3) incrementándose ligeramente en el tercer año de exposición para llegar a 4(S3) y 4(S5). La oxidación, así como el grado de corrosión y delaminado alrededor de la incisión son mínimos para el periodo estudiado, habiendo alcanzado respectivamente los siguientes grados (norma ISO 4628-3 e ISO 4628-8) Ri1-Ri3-Ri5; 1-2-2; 0.30-1.36-1.93; dado que en este tipo de recubrimiento en la formación de película se lleva a cabo una unión por atracción física entre moléculas de resina sin reacción química, una vez seca es resistente al agua y a los rayos UV por lo que mantuvo un buen nivel de color.

El recubrimiento epóxico AMERCOAT 240 (de la marca AMERON) ofreció alto nivel de protección anticorrosiva solo para dos años, al cabo de los cuales presentó un grado de ampollamiento 3(S3) para incrementarse rápidamente a 4(S4) en el tercer año (norma ISO 4628-2), el grado de oxidación que alcanzó en cada año sucesivamente Ri0-Ri3-Ri5 (norma ISO 4628-3) es similar al del recubrimiento acrílico para el mismo periodo, pero el grado de corrosión alrededor de la incisión progresó significativamente 1-3-5; la delaminación alcanzó grados de 0.23-4.90-7.23 sucesivamente cada año (norma ISO 4628-8) este comportamiento se debe a que este tipo de recubrimiento es muy susceptible a degradación por rayos UV, la energía de los rayos UV de la luz solar son suficientes para romper enlaces de su estructura polimérica haciéndola permeable a la humedad y al oxígeno, originando tizado, pérdida de brillo y color.

El recubrimiento siloxano PSX 700 (de la marca PPG) mostró un nivel alto de protección anticorrosiva para tres años de exposición, presentó grado de ampollamiento 3(S4) (norma ISO 4628-2), grado de oxidación Ri2 esto es, mínima oxidación de la superficie del sustrato, la corrosión y delaminado alrededor de la incisión son respectivamente 1 y 0.25 al término de tres años de exposición en atmósfera de categoría de corrosividad C5, esto es prácticamente nulos para tres años de exposición (norma ISO 4628-8). Los recubrimientos de polisiloxano forman una capa resistente contra los efectos de la naturaleza como los rayos UV, el calor, los cambios de temperatura, la humedad, la lluvia, los contaminantes atmosféricos, etc, son los únicos polímeros resistentes a la

oxidación térmica y atmosférica frente al oxígeno, al ataque químico oxidativo, a la penetración de la humedad y no presentan tendencia al agrietamiento, tizado, ni a la pérdida de espesor de película, es el tipo de recubrimiento que brindó el mejor nivel de protección anticorrosiva entre los estudiados.

Los recubrimientos acrílico base agua AMERCOAT 220, epóxico AMERCOAT 240 de 87% de sólidos en volumen y Siloxano PSX 700 de 90% de sólidos en volumen, mostraron mejor nivel de protección anticorrosiva en atmósfera marina que el recubrimiento tradicional alquídico modificado VENCEDOR base solvente, éste presenta oxidación de grado Ri2 en el primer año y grado Ri5 en el tercer año; ampollamiento de grado 4(S3) al cabo del primer año de exposición llegando a 4(S5) al cabo del tercer año, presenta el mayor grado de delaminación y corrosión alrededor de la incisión siendo su evolución anual de 1, 1, 2 y 0.50, 8.15, 14.35, o Grado 1, Grado 3 y Grado 5 respectivamente (norma ISO 4628-8).

5.2. RECOMENDACIONES

Hemos observado que para la aplicación de las pinturas amigables con el ambiente no se requiere equipamiento distinto al que se usa con recubrimientos tradicionales, el costo de ambos tipos de pintura en el mercado es similar, solo se requiere ser cuidadosos en la preparación de la superficie a pintar, para asegurar una larga duración, la única desventaja de los recubrimientos ecológicos radica en el tiempo vida útil (pot life) de la mezcla de componentes que es de solo unas pocas horas.

Para una adecuada protección anticorrosiva del acero en atmósfera marina, utilizar los recubrimientos en sistema, es decir conformado por un imprimante para adecuar la adherencia pintura-sustrato, un primer o pintura de base, un medio o pintura intermedia, un top o recubrimiento de acabado; en el caso de obra viva en embarcaciones se debe utilizar además un anti incrustante o antifouling.

Los resultados del estudio permiten recomendar la sustitución de recubrimientos anticorrosivos tradicionales los cuales contienen en su formulación elementos tóxicos como plomo, cromo hexavalente, estroncio, etc por nuevas formulaciones en base agua y base solvente de altos sólidos formulados utilizando pigmentos como el óxido de hierro, fosfato de zinc y otros que tienen mínimo impacto sobre el medio ambiente.

Los recubrimientos epóxicos deben ser utilizados de preferencia como primer o como pintura intermedia en un sistema de pintura; expuestos directamente al ambiente pierden rápidamente brillo y color, además los rayos UV adelgazan la película de pintura aumentando la permeabilidad al agua y al oxígeno, como consecuencia se producirá oxidación y posteriormente corrosión en la superficie del sustrato

Recomendamos el uso de recubrimientos del tipo acrílico como top o pintura de acabado en los sistemas de pintura, su buena resistencia mecánica y alta protección de los efectos de los rayos UV permiten mantener espesor, color y brillo.

En el uso de los recubrimientos base agua y base solvente de altos sólidos se recomienda poner especial atención a la preparación de superficie especialmente en el grado de limpieza que debe ser de preferencia un granallado al grado metal blanco; el proceso de pintado debe hacerse tan pronto se termine la preparación de superficie.

En todo sistema de protección anticorrosiva debería estar presente como top o pintura de acabado un recubrimiento siloxano, su desempeño, versatilidad, su alto nivel de protección anticorrosiva y protección contra agentes químicos lo hace adecuado para todo tipo de ambiente.

Se debe requerir a los organismos competentes en materia de protección del medio ambiente emitan normas que promuevan la sustitución de recubrimientos tradicionales por nuevas formulaciones libres de componentes tóxicos y con mínima agresión al medio ambiente, asimismo se requieren disposiciones que regulen el uso responsable y limitado de los recubrimientos tradicionales.

Recomendamos el uso de la Norma Técnica ISO 12944 en todo proyecto de protección utilizando pinturas ya sea que se trate de obra nueva o de mantenimiento, en ella se encuentra la orientación necesaria para catalogar el ambiente, elegir el sistema adecuado de protección, los protocolos para los procedimientos de pintura, la inspección y reportes necesarios, su observancia ayudará a llevar a cabo un proceso de protección eficiente contra la corrosión

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar, P. y Chavez, M. (2003) Comportamiento en Atmósfera Marina de dos Recubrimientos Epóxicos. En 24º CONBRASCORR 4º Seminario de Revestimientos e Pintura. (4º: 2003: Rio de Janeiro, Brasil).

Aguilar P. et al. (2003) Corrosión de los Metales Al, Cu, Fe y Zn en la Atmósfera de Ciudad Costera, En 5th NACE Latin-American Region Corrosion Congress, LATINCORR (5º: 2003: Santiago de Chile, Chile).

Alig, I., Tadjbachb, S., Krügerb, P., Oehler, H., Lellinger, D. (2009) Prog. Org. Coat. 64. 112–119.

Almeida, E., Morcillo, M. and Rosales. B. (2000). Atmospheric corrosion of mild steel Part II - Marine atmospheres, Materials and Corrosion 51, 865-874

Almeida, E., Santos, D., Fragata, F., Rincón, O., Morcillo, M., (2001) Mater. Corros. 52. 904–919.

Alonso, J. (2013) Pinturas, Barnices y Afines. Composición y Formulación

Allam, I.M., Arlow, J.S. and H. Saricimen, H. (1991) Corros. Sci. 32. 417-432.

Amirudin, A. Thierry, D. (1996) Prog. Org. Coat. 28 (1996) 59–75.)

Andrews, A.F. (2005) Polysiloxane topcoats A step too far? Presented at CORROSION/2005.Houston: NACE International, paper 5007

Arroyave and M. Morcillo, M. (1997) Trends in Corros. Res. 2. 1-16.

ASTM D 4541, Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Tester, 1989.

Axelsen, S.B., Johnsen, R and Knudsen, O. (2010). *CORROSION* 66, 125003, 2010.

Ayaipoma, D. (1979) Corrosión de Conductores de Aleación de aluminio en Líneas Aéreas, En CONIMERA, Lima.

Baum, H U. Rasemann, U., Rösler, Böhmer, S and Kunze, (1974) Neue Hutte 19. 423-429.

Bentley, J. (1987) Organic film formers. In *Paint and Surface Coatings Theory and Practice*, ed. R. Lambourne. Chichester: Ellis Horwood Limited.

Billmeyer, F.W. (1984) Textbook of Polymer Science 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, p. 388.

Blanco, A. (1996) Tecnología de Pinturas y Recubrimientos Orgánicos. México: 65-78 p.

Bockris, J., Drazic, D. and Despic, A.R., (1961) *Electrochim. Acta* 4. 325-361.

Brendley, W.H. (1973) *Paint Varnish Prod.* 63, 19, 1973.

Bustamante, K. y Reyes, A. (2006) Una Metodología para el Estudio del Aloe Vera agente Inhibidor de la Corrosión. Caracas, Venezuela. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. *Revista Laurus*. Año/vol 12, Nº 022. Caracas. 224-240 p.

Cadena, F., L. Irusta, L., M.J. Fernandez-Berridi. M.J. (2013). Performance evaluation of alkyd coatings for corrosion protection in urban and industrial environments, *Progress in Organic Coatings* 76, 1273– 1278.

Costa, J. y Morcillo, M. (1989) Efecto de los Parámetros Ambientales en la Corrosión Atmosférica de los Metales, *Enciclopedia of Environmental Control Technology*, Vol. 2, P.N. Cheremisinoff, Gulf Publishing, Houston.

Deflorian, F., Rossi, S., Fedrizzi, L., Zanella, C., (2007) *Prog. Org. Coat.* 59. 244–250.)

De la Cruz, A. (2018) *Recubrimientos y Control de la Corrosión*. Latin press Inc.

Deyá, G. Blustein, B. Amo, R. Romagnoli, (2010) *Prog. Org. Coat.* 69. 1–6.

Diaz, et al. (2008) Protección Anticorrosiva mediante Pinturas Híbridas de Nueva Generación Epoxi-Polisiloxano. En: X Congreso Nacional de Materiales. (10º: 2008: Madrid: España).

Echeverría, M., Abreu, C.M., Lau, K., Echeverría, C.A. (2016). Viability of epoxy-siloxane hybrid coatings for preventing steel corrosion, *Progress in Organic Coatings* 92, 29–43.)

Echevarria, C. Et al. (2003) *Corrosión Atmosférica del Acero en la Universidad de*

Matanzas "Camilo Cienfuegos". Cuba. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos".

Feliu, S. y Morcillo, M. (1982) "Corrosión y protección de los metales en la atmósfera". Barcelona España.

Flynn, R., and Watson. J. (1995) *Prot. Coat. Linings* 12, 81.

Forsgren, A., Linder, M. and Steihed, N. (1999) Substrate-polymer compatibility for various waterborne paint resins. Report 1999:1E. Stockholm: Swedish Corrosion Institute,

Gallego Fredy (2007) Las causas del ampollamiento

Gardner, G. J. (1996) *Prot. Coat. Linings* 13, 81, 1996

Giudice, C. y Pereyra, A. (2009) Influencia del tipo de Sustrato Sobre la Eficiencia de Recubrimientos Protectores. Argentina. EduTecNe.

Graversen, E. (2007) Comparison between epoxy polysiloxane and acrylic polysiloxane nishes. Presented at CORROSION/2007. Houston: NACE International, paper 7008.

Hayes, S. Et al. (2007) Corrosion Resistance Without Chromium: On Demand Release of Environmentally Safe NonChromium Corrosion Inhibitors from Electroactive Polymer Coatings. En Tri Service Corrosion Conference. USA

Heusler K.E. (1958) *Z. Elektrochem.* 62 (1958) 582.

ISO (International Standardization Organization) 960. Information References Bibliografiques. Geneve ISO, 1987.

ISO 9223, (1992) Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Classification, Switzerland.

ISO 9224, (1992) Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Guiding values for the corrosivity categories, Switzerland.

ISO 9225, (1992) Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Measurement of pollution, Switzerland.

ISO 9226, (1992) Corrosion of metals and alloys – Corrosivity of atmospheres – Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity, Switzerland.

ISO 2808, (1991) Paint and varnishes, Determination of film thickness.

ISO 4628/2, (1982) Paint and varnishes, Evaluation of degradation of paint coatings.

ISO 4628/3, (1982) Paint and varnishes, Evaluation of degradation of paint coatings.

ISO 4628/4, (1982) Paint and varnishes, Evaluation of degradation of paint coatings.

ISO 4628/5, (1982) Paint and varnishes, Evaluation of degradation of paint coatings.

ISO 4628/6, (1982) Paint and varnishes, Evaluation of degradation of paint coatings.

Keijman, J. (1999) Inorganic and Organic Coatings – The Difference. En AMERON B. V. Protective Coatings Group PCE 99 Conference: Achieving Quality in Coatings Work: The 21st Century Challenge. (3^o: 1999: Brighton, England).

Keller, P. (1969) *Werkst. Korros.* 20 (1969) 102-108.

Koehler, E.L, (1971) Corrosion under organic coatings, Proc., U.R. Evans International Conference on Localized Corrosion, NACE, Houston, 117.

Knudsen, O. (2013) Review of coating failure incidents on the Norwegian continental shelf since the introduction of NORSOK M-501. Presented at CORROSION 2013. Houston: NACE International, paper 2500.

Leygraf, C. Odnevall, I. Wallinder, J. Tidblad, & Graedel, T. (2016). Atmospheric Corrosion, Wiley, Second Edition, New Jersey.

Lyon, S.B., Bingham, R., Mills, D.J. (2016). Advances in corrosion protection by organic coatings: What we know and what we would like to know, Progress in Organic Coatings

Mills, D., and Jamali, S. (2017) *Prog. Org. Coat.* 102, Part A, 8.

Min Qian, Andrew McIntosh Soutar, Xiu Hui Tan, Xian Ting Zeng, Sudesh L. Wijesinghe. (2009). Two-part epoxy-siloxane hybrid corrosion protection coatings for carbon steel, *Thin Solid Films* 517, 5237–5242).

Morales, J., Martín-Krijer, S., Díaz, F., Hernández-Borges, J., González, S. (2005). Atmospheric corrosion in subtropical areas: influences of time of wetness and deficiency of the ISO 9223 norm, *Corrosion Science* 47.

Morales, J. (2003) Investigación del Fenómeno de la Corrosión en Zonas Marinas Tropicales. En XVIII Congreso de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo e Ingeniería Portuaria. Cuba.

Morcillo, M. (1999) *Prog. Org. Coat.* 36. 137–147.

Pérez, C. Collazo, A., Izquierdo, M., Merino, P., Nóvoa, X. R., (1999) "Characterisation of the barrier properties of different paint systems". *Prog. Org. Coat.*, 37.

Pereyra, A., Canosa, G. y Giudice, C. (2010) Pinturas Anticorrosivas basadas en Zinc Laminar para la Protección del Acero. En: VI Congreso Internacional sobre Patología y recuperación de Estructuras (6º: 2010: Córdoba, Argentina).

Philip, A. y Schweitzer, P.E. (2006). "Paint and coatings: Application and corrosion resistance". York, CRC Press – Taylor & Francis Groups.

Potter, T.A., Rosthauser, J.W. and H.G. Schmelzer.H.G. (1985) In Proceedings of the 11th International Conference on Organic Coatings Science and Technology Athens, paper 331.

Potter, T.A., and J.L. Williams. *J. Coat. Technol* 59, 63, 1987

Rašković, L., Djordjević, D. y Cakić, S. (1997) Untoxic Anticorrosión Pigments for Ground Coat in Organic Coatings. The Cientific Journal FACTA UNIVERSITATIS Series working and Living Environmental Protection. Vol 1 nº 2, pp 1-8.

Raffino M.E. (2019) La Oxidación

Revista CENIC Ciencias Químicas (2015), Vol. 46, Número Especial, pp. 152-160. Revista Digital de Ingeniería Nacional (2011) edición 02-001, CIP.

Roesler, R.R., and P.R. Hergenrother. P.R. (1996) *J. Prot. Coat. Linings* 13, 83

Sacco, E. et al. (2000) Evaluación de la Performance Protectora de Diferentes

Sistemas Duplex en Atmósfera Industrial. En: Jornadas SAM 2000-IV Coloquio Latinoamericano de Fractura y Fatiga. (4º: 2000: La Plata: Argentina) 735-742 p.

Schwarz, H. (1972) *Werkst. Korros.* 23. 648-663.

Simancas, J. (1992) Estudio de distintas Variables con Influencia en el Comportamiento en la Atmósfera de los Recubrimientos Anticorrosivos de Pinturas Aplicadas sobre Acero. Madrid España. Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Químicas. Tesis Doctoral N° 199/92.

Singh, A.K. Ericsson, T. and Häggström, L. (1985) *Corros. Sci.* 25 (1985) 931-945.

Steel Structures Painting manual. (1982) Vol.1 Good Painting Practice Vol. 2 System and Specifications SSPC. Pittsburgh, Pa, 1982.

Thomas, N.L (1989) *Proc. Symp. Advances in Corrosion Protection by Organic coatings*, Electrochem. Soc., 451.

Tzitzinou, A. et al. (1999) *Progress in Organic Coatings*. Guilford UK. Elsevier Science. 89-99 p.

Ynfantis, C., Depountis, D. y Ynfantis, D. (2008) *Proceedings of the WSEAS*. En International Conference on Materials Science. (2008: Athens: Grece).

Yuantai Ma, Ying Li, Fuhui Wang. (2009). Corrosion of low carbon steel in atmospheric environments of different chloride content, *Corrosion Science* 51, 997–1006

Wenjuan Chen, Long Hao, Junhua Dong, Wei Ke. (2014). Effect of sulphur dioxide on the corrosion of a low alloy steel in simulated coastal industrial atmosphere, *Corrosion Science* 83 (2014) 155–163

Wicks, Z.W., Jr., Wicks, D.A. and Rosthauser, J.W. (2002) *Prog. Org. Coat.* 44, 161.

Zheludkevich, M., Miranda, I. y Ferreyra, M. (2005) *Sol – Gel Coatings for Corrosion Protection of Metals*. Journal of Materials Chemistry. Lisboa, Portugal.

Zheludkevich, M. et al. (2008) *Chitosan Films for Corrosion Protection of Galvanized and Aluminium Alloys*. Portugal. University of Aveiro. Eng. 3810-19.

ANEXOS

ANEXO A

FICHA TÉCNICA DE RECUBRIMIENTOS

ANTICORROSIVO

Pintura Anticorrosiva Alquídica Modificada



DESCRIPCIÓN, VENTAJAS Y USOS

- Anticorrosivo alquídico de alta calidad.
- Buena adhesión y elasticidad.
- Con pigmentos inhibidores que aseguran excelente protección contra la corrosión.
- Resistente a ambientes marinos o industriales.
- Usado para equipos, rejas, exteriores de maquinarias y estructuras de la industria en general.

DATOS FÍSICOS

Acabado	Semi Mate	Viscosidad	
Color	Blanco, Rojo, Verde, Gris y Negro	ASTM D562	77 - 82 KU
Componentes	Uno	Espesor película seca	1.0 - 1.5 mils (25 - 37.5 micrones)
Curado	Evaporación de solventes y oxidación	Número de capas	Uno o dos
Sólidos en volumen	37% ± 1% Blanco 34% ± 2% Otros	Rendimiento teórico	51 m ² / gal a 1.0 mil de espesor seco
		Disolvente	AGUARRÁS MINERAL O THINNER STD

El rendimiento real depende de las condiciones de aplicación y del estado de la superficie.
Para mayores detalles de servicio consultar con el Departamento Técnico de CPPQ.

PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

- **Acero nuevo**
Limpiar y desengrasar, el uso de 97-014" Acondicionador para Metal" es opcional, si se desea asegurar mayor efectividad.
Arenado comercial según SSPC-SP6, preparación manual mecánica según SSPC-SP2 / SP3.
- **Acero con pintura antigua**
Si la pintura está en buen estado, se debe lijar suavemente con lija # 100 - 120, de lo contrario se debe eliminar totalmente la pintura mediante 85-004 "Removedor de Pinturas y Barnices".

La duración de la pintura depende del grado de preparación de la superficie.

MÉTODO DE APLICACIÓN

- **Equipo airless**
Similar a Graco Bulldog 30:1, boquilla 0.013" a 0.017" con filtro malla 60.
- **Equipo convencional a presión**
Similar a Devilbiss JGA-502, boquilla 704E con regulador de presión, filtros de aceite y humedad.
- **Pistola aerográfica, brocha o rodillo**

TIEMPOS SECADO a 21 °C (ASTM D1640)

Al tacto	1 - 2 horas
Al tacto duro	2 - 3 horas
Repintado mínimo	6 horas
Repintado máximo	No tiene

CONDICIONES DE APLICACIÓN

Temperatura	Mínima	Máxima
De la superficie	4 °C	50 °C
Del ambiente	4 °C	50 °C
Humedad Relativa	85%	

La temperatura de la superficie debe ser 3 °C mayor que el punto de rocío.

PROCEDIMIENTO DE APLICACIÓN

1. Verifique que se disponga de la pintura.
2. Homogenice la pintura usando un agitador neumático o eléctrico a prueba de explosión.
3. Diluir máximo hasta 1/4 por galón con el disolvente recomendado, agite la mezcla otra vez.
4. Filtre la mezcla usando una malla 30.
5. Aplique la pintura en pasadas uniformes, traslapando al 50% de cada pasada.
6. Repintar dentro del "tiempo de repintado" recomendado.

IMPRIMANTES RECOMENDADOS

- No requiere.

ACABADOS RECOMENDADOS

- No requiere.

DATOS DE ALMACENAMIENTO

- Peso por galón 4.2 ± 0.3 kg
- Punto de inflamación 40 °C
- Forma de envasado Latas de 1 galón, ¼ de galón

Se garantiza buena estabilidad en almacenamiento hasta por 12 meses si se almacena bajo techo a temperaturas entre 4 °C a 38 °C.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

- Lea la hoja de seguridad de cada componente antes del empleo.
- El uso o manipuleo inapropiado de este producto puede ser nocivo para la salud o causar explosión.
- No use este producto sin antes tomar todas las precauciones de seguridad. Estas deben incluir: adecuada ventilación, iluminación a prueba de explosión, vestimentas adecuadas, lentes, guantes, máscaras para vapores orgánicos o con alimentación de aire sobre todo en espacios limitados como interiores de tanque u otros.
- Si usted necesita mayores detalles, consultar con el Departamento Técnico de CPPQ S.A.



AMERON
INTERNATIONAL

Performance Coatings & Finishes

Amercoat® 220

Waterborne acrylic topcoat

Product Data

- Self-priming
- VOC-compliant
- Single-package convenience
- Semigloss or satin
- Brush, roll or spray
- Dries fast, minimum downtime
- Interior for OEM
- Excellent gloss retention and weathering
- Superior impact resistance and flexibility
- Washable, scrub-resistant
- Durable, chemical-resistant
- Stain resistant
- Quick, easy clean up
- Wide color range

Amercoat 220 is a high-performance waterborne acrylic enamel that may be applied direct* to metal on most exterior and interior surfaces. Also ideal for concrete and masonry, it may be used over tightly adhering old paint and rust as well as primed surfaces. Amercoat 220 provides a beautiful, flexible, cleanable gloss finish that resists cracking, peeling and impact damage. Amercoat 220 significantly out-performs conventional acrylic coatings. It retains color and gloss like a polyurethane, far better than traditional alkyds.

Amercoat 220 requires minimal surface preparation, usually only metal etching or power tool cleaning to remove loose rust. Easy to apply and clean up, Amercoat 220 is a versatile topcoat for a wide variety of new construction and maintenance application. Contact your Ameron representative for conditions outside the requirements or limitations described.

***Important – Amercoat 220 deep or dark colors made from neutral or clear tint base should always be used with a prime coat when going over metallic surfaces such as steel and aluminum.**

Typical Uses

- Walls
- Food processing plants
- Institutional maintenance and new construction
 - Schools
 - Hospitals
 - Laboratories
 - Storage areas
- Industrial maintenance and new construction
 - Tank exteriors
 - Structural steel
- Marine applications
 - Vessel topsides and interiors
 - Offshore platform topsides and interiors

Not recommended for continuous immersion

Physical Data

Finish	Semigloss	
Color	See color chart	
<i>Uniform appearance will require two coats of white or pastel colors over dark substrates. Use only light-colored primer or intermediate coat when one finish coat of white or pastel Amercoat 220 is specified.</i>		
<i>Gloss varies with color.</i>		
<i>Yellow, red and orange colors will fade faster than other colors due to the replacement of lead-based pigments with lead-free pigments in these colors.</i>		
Components	1	
Curing mechanism	Drying	
Volume solids (calculated)	35% ± 3%	
Dry film thickness per coat	2 mils (50 microns)	
direct-to-metal	2-5 mils (50-125 microns)	
<i>Coating thickness depends on severity of exposure and surface roughness.</i>		
Coats	1 to 2	
Theoretical coverage	ft ² /gal	m ² /L
1 mil (25 microns)	561	13.8
2 mils (50 microns)	280	6.9
VOC	1.5 lb/gal	180 g/L
Flash point (SETA)	°F	°C
Amercoat 220	>212	>100

Qualifications

NFPA – Class A

USDA – Incidental Food Contact

Application Data

Applied over	Prepared or primed steel and concrete, previously painted surfaces, wood, aluminum, galvanizing, dry wall		
Primer	148, 151, 385, 400, 5105, Dimetcote®21-5 or D9HS		
<i>When applying over Dimetcote 21-5, Amercoat 856 Additive must be used.</i>			
Surface preparation	See primer application instructions		
Method	Conventional or airless spray, brush, roller		
Environmental conditions			
Temperature	°F	°C	
air	40 to 110	4 to 43	
surface	40 to 120	4 to 49	
Relative humidity	°F		
(maximum)	40	50 to 100	>100
	60%	85%	95%

Surface temperatures must be at least 5°F (3°C) above dew point to prevent condensation.

Formerly Amerguard™ 220

Typical Properties

Performance**

Abrasion (ASTM D4060) CS-17, 1000 cycles, 1 kg	weight loss 110 mg
Impact (ASTM G14)	160 in/lbs
Adhesion (Elcometer) (ASTM D4541)	500 psi
Flexibility (ASTM D522)	>35%
Moisture vapor transmission (ASTM D1653) Specific permeability	1.04
Temperature resistant (dry) Continuous	°F/°C 200/93
Intermittent	250/121
Weatherability (QUV & Florida Exposure) Chalk resistant	1 yr/Excellent
Gloss retention	1 yr/Excellent
Salt Spray (ASTM B117) 1000 hrs; 1 coat Face corrosion	None (ASTM D1654)
Humidity/Condensation (ASTM D4585) 100 hrs; 1 coat Face corrosion	None (ASTM D1654)

****Note: Values are for factory manufactured material. Tint based colors will have reduced water resistance.**

Compatibility

Coated surfaces: may be applied over most existing coatings, including alkyds, epoxies, vinyls, polyurethanes, acrylic. To insure good adhesion, conduct a compatibility test over clean, intact area or roughen the surface with light abrasive blasting or sanding.

Suitable primers:

Amercoat 148	Waterborne Acrylic
Amercoat 351	100% solids multi-purpose epoxy
Amercoat 385	Epoxy
Amerlock 400	Epoxy
Amercoat 5105	Alkyd
Dimetcote 21-5	Waterbased Inorganic Zinc Silicate
Dimetcote 21-9	Inorganic Zinc Primer

Application Data Summary

See Application Instructions for complete information on surface preparation, environmental conditions, application procedures and equipment. To obtain maximum performance, apply as recommended. Adhere to all safety precautions during storage, handling, application and drying periods.

Limitation of Liability

Ameron's liability on any claim of any kind, including claims based upon Ameron's negligence or strict liability, for any loss or damage arising out of, connected with, or resulting from the use of the products, shall in no case exceed the purchase price allocable to the products or part thereof which give rise to the claim. **In no event shall Ameron be liable for consequential or incidental damages.**

Drying time (ASTM D1640) @ 2 mils DFT	°F/°C	
	90/32	70/21
touch (minutes)	15	20
through (hours)	1	3
Recoat time (hours)		
minimum	1	3
maximum	None, see surface preparation for aged coatings.	

Cracking may occur at temperatures below 50°F during initial drying.

Thinner Water

Equipment cleaner Water

Shipping Data

Packaging	1 gal	5 gal
Shipping weight (approx)	lb	kg
1-gal can	11	5
5-gal can	53	24

Shelf life when stored indoors at 40 to 100°F (4 to 38°C)
1 year from shipment date

Protect from freezing.

Numerical values are subject to normal manufacturing tolerances, color and testing variances. Allow for application losses and surface irregularities. See application instructions for complete information and safety precautions.

This product is nonphotochemically reactive as defined by the South Coast Air Quality Management District's Rule 102 or equivalent regulations.

Surface Preparation

Coating performance is, in general, proportional to the degree of surface preparation. All surfaces must be clean, dry and free of all contaminants, including salt deposits before applying coating.

Safety Precautions

Read material safety data sheet before use. Safety precautions must be strictly followed during storage, handling and use.

This product is for industrial use only. Not for residential use.

Warranty

Ameron warrants its products to be free from defects in material and workmanship. Ameron's sole obligation and Buyer's exclusive remedy in connection with the products shall be limited, at Ameron's option, to either replacement of products not conforming to this Warranty or credit to Buyer's account in the invoiced amount of the nonconforming products. Any claim under this Warranty must be made by Buyer to Ameron in writing within five (5) days of Buyer's discovery of the claimed defect, but in no event later than the expiration of the applicable shelf life, or one year from the delivery date, whichever is earlier. Buyer's failure to notify Ameron of such nonconformance as required herein shall bar Buyer from recovery under this Warranty.

Ameron makes no other warranties concerning the product. No other warranties, whether express, implied, or statutory, such as warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, shall apply. In no event shall Ameron be liable for consequential or incidental damages.

Any recommendation or suggestion relating to the use of the products made by Ameron, whether in its technical literature, or in response to specific inquiry, or otherwise, is based on data believed to be reliable; however, the products and information are intended for use by Buyers having requisite skill and know-how in the industry, and therefore it is for Buyer to satisfy itself of the suitability of the products for its own particular use and it shall be deemed that Buyer has done so, at its sole discretion and risk. Variation in environment, changes in procedures of use, or extrapolation of data may cause unsatisfactory results.



Ameron U.S.A. • 13010 Morris Rd, Suite 400, Alpharetta, GA 30004 • (678) 393-0653
Ameron B.V. • J. F. Kennedylaan 7, 4191 MZ Geldermalsen, The Netherlands • (31) 345-587-587



Amercoat® 240



Universal epoxy coating

Product Data/ Application Instructions

- Formulated for direct-to-metal application with excellent substrate wetting while retaining excellent edge coverage
- Exceptional corrosion protection in salt and fresh water immersion and corrosive chemical environments
- Surface tolerant, lowers the cost of surface preparation
- Excellent adhesion to tight rust
- Compatible with water jetted or hand power tool cleaned surfaces.
- Low temperature cure down to 0°F (-18°C) without additives or alternate curing agents
- Fast dry-to-recoat
- High-build (up to 12 mils) in one coat

Very low solvent content meets VOC requirements, reduces the chances for film pinholing and solvent entrapment at the substrate-coating interface, often a major cause of coating failure with conventional epoxies and lower solids systems.

Typical Uses

Tank Linings and Pipe Coatings

- Ballast and fuel tanks
- Bilges, wet voids and other damp areas

Ships, Offshore and Marine Structures

- Exterior hull above and below waterline
- Decks and superstructures, piping, and equipment
- Interior surfaces

Fabrication and New Construction

- Speeds up production, even at low temperatures
- A single coat multi-purpose, surface-tolerant coating

Typical Systems

1 st coat	2 nd Coat	3 rd coat
Amercoat 240	None	None
Amercoat 240	Amercoat® 229 Series, 450 Series, Amershield, PSX® 700	None
Amercoat 240	Amercoat 240	None
Amercoat 240	Amercoat 240	ABC #3, ABC #4
Dimetcote® 9 Series or Dimetcote 302H	Amercoat 240	None
Dimetcote 9 Series or Dimetcote 302H	Amercoat 240	450 Series, 229 Series, Amershield, PSX 700

Tank Coating System—Two coats of Amercoat 240 at 5 to 8 mils (150 to 200 microns) per coat, plus two stripe coats over sharp edges, cutouts and welds. Use contrasting colors for each coat and stripe coat.

Physical Data

Finish	Semigloss	
Color	Buff, Haze gray, Pastel green, Oxide red	
Components	2	
Curing mechanism	Solvent release and chemical reaction between components	
Volume solids (ISO 3233 modified)	87% ± 3%	
Dry film thickness (per coat)	4-12 mils (100-300 microns)	
Coats	1 or 2	
Theoretical coverage	ft ² /gal	m ² /L
1 mil (25 microns)	1395	33.5
6 mils (150 microns)	233	5.6
VOC (EPA 24) mixed	lb/gal	g/L
	1.2	145
Temperature resistance	dry	
	°F	°C
continuous	250	121
Flash point (SETA)	°F	°C
Amercoat 240 resin	122	50
Amercoat 240 cure	138	59
Amercoat 65	81	27
Amercoat 12	2	-17

Surface Preparation

Coating performance is, in general, proportional to the degree of surface preparation. Abrasive blasting is usually the most effective and economical method. When this is impossible or impractical, Amercoat 240 can be applied over mechanically cleaned surfaces. All surfaces must be clean, dry and free of all contaminants, including salt deposits.

Steel—Remove all loose rust, dirt, grease or other contaminants by one of the following depending on the degree of cleanliness required: SSPC-SP2, 3, 6, or 7. These minimum surface preparation standards apply to steel that has been previously abrasive blasted. The choice of surface preparation will depend on the system selected and end-use service conditions.

For more severe service and immersion, clean to SSPC-SP10. Blast to achieve an anchor profile of 2-3 mils (50-75 microns) as indicated by a Keane-Tator Surface profile Comparator or Testex Tape. Previously blasted steel may be ultra-high pressure water jetted to NACE No. 5/SSPC-SP 12 WJ-2L/SC-1. The wet surface can be dried by blowing with dry compressed air giving special attention to horizontal surfaces and recesses.

Aluminum—Remove oil, grease or soap film with neutral detergent or emulsion cleaner, treat with Alodine® 1200, Alumiprep® or equivalent, or blast lightly with fine abrasive.

Galvanizing—Remove oil or soap film with detergent or emulsion cleaner, then use zinc treatment such as Galvaprep® or equivalent, or blast lightly with fine abrasive.

Concrete—Light abrasive blast per ASTM D4259 to remove all chalk, and surface glaze or laitance. If blasting is not possible, acid etch uncoated concrete per ASTM D4260 to obtain a glaze-free surface with a slightly granular texture. Rinse with clean water and allow to dry thoroughly. After blasting or acid etching, fill all small holes or voids with material such as Nu-Klad® 114A filler compound.

Aged coatings—All surfaces must be clean, dry, tightly bonded and free of all loose paint, corrosion products or chalky residue. Abrade surface, then clean with Prep 88. Amercoat 240 is compatible over most types of properly applied and tightly adhering coatings, however, a test patch is recommended to confirm compatibility.

Repair—Prepare damaged areas to original surface preparation specifications, feathering edges of intact coating. Thoroughly remove dust or abrasive residue before touch-up.

Application Data

Applied over	Steel, concrete, aluminum, galvanizing				
Surface preparation	SSPC-SP2, 3, 6, 7, 10, or 12				
Steel	ASTM D4259 or 4260				
Concrete	Alodine®, Alumiprep® or light abrasive blast				
Aluminum	Galvaprep® or light abrasive blast				
Galvanizing					
Method	Airless or conventional spray. Brush or roller (may require additional coats).				
Mixing ratio (by volume)	4 part resin to 1 part cure				
Induction time (minutes)	70°F/21°C 15				
Environmental conditions	air and surface temperature 20° to 122°F (-7° to 50°C)				
Surface temperatures must be at least 5°F (3°C) above dew point to prevent condensation. At freezing temperatures, surface must be free of ice.					
Thinner	Amercoat 65				
Equipment cleaner	Thinner or Amercoat 12				
Pot life	70°F 3 hours				
Drying time @ 6 mils DFT (hours)	°F/°C				
	90/32	70/21	50/10	32/0	
dry to touch	3	5	10	24	
dry hard	6	8	13	30	
Cure to Immersion	°F/°C				
	120/49	90/32	70/21	50/10	32/0 20/-7
(days)	2	5	7	10	42 90
Recoat/Topcoat time (@ 5 mils DFT)	°F/°C				
	90/32	70/21	50/10	32/0	20/-7
minimum (hours)	2	5	8	14	28
Amercoat 240					
Amercoat 229T, 450H/HS, PSX 700, 1001	3	6	10	16	40
	°F/°C				
	90/32	70/21	50/10	32/0	20/-7
maximum (days)*	90	90	90	90	90
Amercoat 240,					
Amercoat 229T, 450H/HS, PSX 700, 1001					

*Surface must be clean and dry. When recoating or topcoating Amercoat 240 after extended periods, a detergent wash with Prep 88, or equivalent, is recommended to remove contaminants that may have been deposited on the surface. If the maximum recoat/topcoat time has been exceeded, roughen the surface.

Application Equipment

The following is a guide; suitable equipment from other manufacturers may be used. Changes in pressure, hose and tip size may be needed for proper spray characteristics.

Airless spray—Standard equipment with pump ratio of 45:1 or larger, with a 0.021- to 0.025-inch fluid tip, 3/8" ID hose with 50 ft. maximum length. Long hose runs or location of work at heights 20-30 feet higher than the pump location may require higher pump ratios.

Conventional spray—Industrial equipment, such as DeVilbiss MBC or JGA or Binks 18 or 62 spray gun. A moisture and oil trap in the main air supply line, a pressure material pot, and separate regulators for air and fluid pressure are recommended.

Power mixer—Jiffy Mixer powered by an air or explosion-proof electric motor.

Brush or roller—Additional coats may be required to attain proper thickness.

To obtain the maximum performance, adhere to all application instructions, precautions, conditions and limitations. For conditions outside the requirements or limitations described, contact your Ameron representative.

Application Procedure

1. Flush all equipment with thinner or Amercoat® 12 before use.
2. Stir resin using an explosion-proof power mixer to disperse pigments.
3. Add cure to resin. Mix thoroughly until uniformly blended to a workable consistency.

Induction time (minutes)	70°F/21°C
	15
4. Do not mix more material than can be used within the expected pot life, 3 hours at 70°F. Higher material temperatures will shorten the pot life considerably.
5. For optimum application, material should be between 50° to 90°F (10° to 32°C).
6. Use only Amercoat 65 thinner at 1 pint/gal, max. Below 50°F additional thinning may be needed and multiple coats required to achieve specified thickness.
7. To minimize orange peel appearance, adjust conventional spray equipment to obtain adequate atomization at lowest air pressure.
8. Apply a wet coat in even, parallel passes with 50 percent overlap to avoid holidays, bare areas and pinholes. If required, cross spray at right angles.
9. When applying directly over inorganic zincs or zinc-rich primers, a mist coat/full coat technique may be required to minimize bubbling. This will depend on the age of the Dimetcote®, surface roughness and conditions during curing.
10. Ventilate confined areas with clean air during application, between coats, and while curing the final coat. Prevent moisture condensation on the surface between coats.
11. Repair damaged areas by brush or spray.
12. Clean equipment with thinner or Amercoat 12 immediately after use.

Note: Consult Code of Federal Regulations Title 29, Labor, parts 1910 and 1915 concerning occupational safety and health standards and regulations, as well as any other applicable federal, state and local regulations on safe practices in coating operations.

Shipping Data

Packaging unit	1 gal	
Shipping weight (approx)	lbs	
1-gal unit		
240 resin	11.8	5.4
240 cure	2.0	0.9
5-gal unit		
240 resin	59.0	26.8
240 cure	9.1	4.1

Shelf life when stored indoors at 40° to 100°F (4° to 38°C)
resin and cure 1 year from shipment date.

Numerical values are subject to normal manufacturing tolerances, color and testing variances. Allow for application losses and surface irregularities.

This mixed product is photochemically reactive as defined by the South Coast Air Quality Management District's Rule 102 or equivalent regulations.

Safety Precautions

Read each component's material safety data sheet before use. Mixed material has hazards of both components. Safety precautions must be strictly followed during storage, handling, and use.

Caution – Improper use and handling of this product can be hazardous to health and cause fire or explosion.

Do not use this product without first taking all appropriate safety measures to prevent property damage and injuries. These measures may include, without limitation: implementation of proper ventilation, use of proper lamps, wearing of proper protective clothing and masks, tenting and proper separation of application areas. Consult your supervisor. Proper ventilation and protective measures must be provided during application and drying to keep solvent vapor concentrations within safe limits and to protect against toxic hazards. Necessary safety equipment must be used and ventilation requirements carefully observed, especially in confined or enclosed spaces, such as tank interiors and buildings.

This product is to be used by those knowledgeable about proper application methods. Ameron makes no recommendation about the types of safety measures that may need to be adopted because these depend on application and space, of which Ameron is unaware and over which it has no control.

If you do not fully understand the warnings and instructions or if you cannot strictly comply with them, do not use the product.

*This product is for industrial use only.
Not for residential use in California.*

Warranty

Ameron warrants its products to be free from defects in material and workmanship. Ameron's sole obligation and Buyer's exclusive remedy in connection with the products shall be limited, at Ameron's option, to either replacement of products not conforming to this Warranty or credit to Buyer's account in the invoiced amount of the nonconforming products. Any claim under this Warranty must be made by Buyer to Ameron in writing within five (5) days of Buyer's discovery of the claimed defect, but in no event later than the expiration of the applicable shelf life, or one year from the delivery date, whichever is earlier. Buyer's failure to notify Ameron of such nonconformance as required herein shall bar Buyer from recovery under this Warranty.

Ameron makes no other warranties concerning the product. No other warranties, whether express, implied, or statutory, such as warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, shall apply. In no event shall Ameron be liable for consequential or incidental damages.

Any recommendation or suggestion relating to the use of the products made by Ameron, whether in its technical literature, or in response to specific inquiry, or otherwise, is based on data believed to be reliable; however, the products and information are intended for use by Buyers having requisite skill and know-how in the industry, and therefore it is for Buyer to satisfy itself of the suitability of the products for its own particular use and it shall be deemed that Buyer has done so, at its sole discretion and risk. Variation in environment, changes in procedures of use, or extrapolation of data may cause unsatisfactory results.

Limitation of Liability

Ameron's liability on any claim of any kind, including claims based upon Ameron's negligence or strict liability, for any loss or damage arising out of, connected with, or resulting from the use of the products, shall in no case exceed the purchase price allocable to the products or part thereof which give rise to the claim. **In no event shall Ameron be liable for consequential or incidental damages.**





PSX 700

Engineered Siloxane Coating

U.S. patent nos. 5,618,860 and 5,275,645
international patents pending

Product Data/ Application Instructions

- **Unique, high-gloss, engineered siloxane**
- **Can be applied directly over inorganic zinc**
- **Gloss and appearance retention exceeding the best polyurethane**
- **Significantly lower application costs**
- **Excellent corrosion resistance**
- **High solids, VOC compliant**
- **Applied by brush, roller or spray, without thinning**

Characteristics

PSX Advantage: PSX 700 is a patented engineered siloxane coating and embodies the properties of both a high performance epoxy and a polyurethane in one coat. This general purpose coating offers "breakthrough" weather resistance and corrosion control.

Typical Uses

PSX 700 adheres strongly to coated steel and inorganic zinc silicate coated surfaces on new construction, repair and field maintenance coating projects. It provides effective long term corrosion control and weather ability. Typical areas of use include:

- Structural steel;
- Industrial plants: chemical, petrochemical;
- Power plants: conventional, nuclear;
- Offshore industry: superstructures;
- Wastewater treatment plants;
- Pulp and paper industry;
- Marine: decks, topsides and boottops on ships and barges;
- Concrete walls and floors;
- Transportation: rail car exteriors, vehicle equipment, buses, trucks;

Physical Data

Finish	gloss	
Colour	RAL and BS colours*	
Components	2	
Mixing ratio (by volume)		
PSX 700 resin	4 parts	
PSX 700 FD cure	1 part	
Curing mechanism	chemical reaction	
Volume solids	90% (ISO 3233)**	
VOC***		
EC SED 1999/13/EC	132 g/kg	(180 g/l)
EPA Method 24	84 g/l	(0.7 lbs/gal)
UK PG6/23(92) Appendix 3	120 g/l	(1.0 lbs/gal)
Dry film thickness***	75 - 175 µm per coat	
Number of coats	1 or 2 ****	
Calculated coverage	7.2 m ² /l at 125 µm	
Allow for application losses, surface irregularities, etc.		
Specific gravity	1.36 kg/l (mixed product)	
Flash points (Closed Cup).....	°C	°F
PSX 700 resin	97	207
PSX 700 FD cure	96	205
Amercoat 911	27	81
Amercoat 65	27	81
Amercoat 12	24	75

*colours with reduced hiding power (e.g. bright oranges and yellows) must be applied over a white substrate. Appearance will vary depending on substrate and application method. Use two coats of PSX 700 over bare concrete.

**Volume solids is measured in accordance with ISO 3233. Slight variations ±3% may occur due to colour and testing variances.

*** The mixed and applied coating cure reaction will produce VOC of mixed alcohols. VOC figures are quoted according to the EC directive 1999/13/EC which are theoretically calculated figures. The USA Environmental Protection Agency guidelines method 24 and the UK PG6/23(92) Appendix 3 are practically determined figures.

**** When applying more than 1 coat it is recommended that the total dry film thickness does not exceed 250 microns

PSX 700

Resistance Guide

Environment	Splash and spillage	Fumes and weather
Acidic	E	E
Alkaline	E	E
Salt solutions		
acidic	E	E
neutral	E	E
alkaline	E	E
Fresh water	E	E
Solvents	E	E
Petroleum products	E	E

E=Excellent

Approvals and Certificates

As topcoat on suitable primer (with and without tiecoat) complies to the following standards:

NORSOK M -501 (coating system 1)
ISO 12944 (class C5M)
ACQPA, France.

Class 1 – flame spread in accordance with BS 476, part 7.

“0” class fire rating in accordance with UK Building Regulations, based on testing according to BS 476 parts 6 and 7 (fire propagation).

Approved by the US Department of Agriculture for incidental food contact with meat or poultry food.

Complies with COT 46.25 and COT 47.10 (topcoats specifications).

Nuclear Testing:

Radiation tolerance test: no defects after irradiation to an integrated dose of 5000 mega rad (5 x 10⁹ rad)..

Excellent decontamination properties according to BS 4247 with Amercoat 68G as primer.

Application Data Summary

Like all high-performance coatings, PSX 700 must be applied as recommended to obtain the maximum protection for which this coating is formulated.

Surface Preparation

STEEL/CONCRETE - Prepare surface in accordance with application instructions for the specific primer used. Be sure primer is clean and dry when PSX 700 is applied.

EXISTING COATINGS - PSX 700 may be used over many types of properly cleaned, tightly adhering coatings. Consult your PPG representative for specific recommendations.

Repair

Prepare damaged areas to original surface preparation specifications, feathering edges of intact coating. Thoroughly remove dust or abrasive residue before touch up

Application Data

Substrate primed steel, concrete, non ferrous metals

Application methods conventional or airless spray, brush, roller.*

Potlife
 °C/°F 30/86 20/68 10/50
 1½ 4 6½ hours

Potlife is dependent on temperature and quantities mixed.

Environmental Conditions (during application and drying)

Air temperature: 0 - 50°C 41 - 122°F

Surface temperature: 0 - 65°C 41 - 149°F

Material temperature: 5 - 40°C 41 - 104°F

Relative humidity:

Maintain RH 40% for optimal curing, properties.

Below RH 40% curing will continue, but time will be extended.

To prevent moisture condensation during application, surface temperature must be at least 3°C/5°F above dew point. Never apply coatings under adverse environmental conditions. Ensure good ventilation when applied in confined areas to assist evaporation and eliminations of solvents.

Drying times in hours (ASTM D1640), °C/°F at RH 40% or above

	30/86	20/68	10/50	5/41
dry to touch	1	2	4½	7
dry through.....	3	4½	8½	16
dry to recoat or topcoat (minimum).....	2	3	7	12

Induction time (at 20°C/68°F) not required

Thinner Amercoat 911 or Amercoat 65

Cleaner Amercoat 12

* Brush or roller application may require additional coats. In order to achieve the specified dft.



PSX 700

Application Equipment

The following equipment is listed as a guide and suitable equipment from other manufacturers may be used. Changes in pressure, hose and tip size may be needed for proper spray characteristics.

AIRLESS SPRAY - Standard equipment with a 015 to 0.021 (mm) fluid tip or larger.

CONVENTIONAL SPRAY - Industrial equipment Having a separate air and fluid pressure regulators and a mechanical pot agitator are recommended.

A moisture and oil trap in the main air supply line is essential.

MIXER - Use power mixer powered by an air motor or an explosion-proof electric motor.

BRUSH - Natural bristle. Maintain a wet edge.

ROLLER - Use industrial roller. Level any air bubbles with bristle brush.

Heat Curing

Allow PSX 700 to dry to touch before exposing to curing temperatures above 60°C/140°F.

Application Procedure

1. Flush equipment with thinner or Amercoat 12 before use.
2. Mix to a uniform consistency.
3. Add PSX 700 FD cure to PSX 700 resin. Mix thoroughly until uniformly blended.
4. If needed for workability, thin with recommended thinner up to 10% by volume.
5. Apply a wet coat in even, parallel passes, overlap each pass 50 percent to avoid holidays, bare areas and pinholes. If required, follow with a cross spray at right angles to first pass.
6. Brush and/or roll applications may require more than one coats to achieve a 175 µm dft. There will be some surface texture, which is typical for brush and roll applications.
7. When applying PSX 700 directly over Dimetcote, a mist coat/full coat technique may be required to minimize bubbling. Thin PSX 700 with recommended thinner up to 10% by volume to assist in film thickness control and to minimize bubbling. This will depend on the age of the coating, surface roughness and conditions during curing.
8. Clean all equipment with thinner or Amercoat 12 cleaner immediately after use

Shipping Data

Packaging

PSX 700 resin 16 l in a 20 l can
 PSX 700 FD cure 4 l in a 5 l can

Shipping weight

PSX 700 resin approx. 25.5 kg
 PSX 700 FD cure approx. 4.4 kg

Shelf life 1 year from shipment date when stored indoors in unopened, original containers at 5 - 40°C (41-104°F).



PSX 700

Safety

Since improper use and handling can be hazardous to health and cause of fire or explosion, safety precautions included with Product Data/Application Instruction and Material Safety Data Sheet must be observed during all storage, handling, use and drying periods.

Warranty

PPG warrants its products to be free from defects in material and workmanship. PPG's sole obligations and Buyer's exclusive remedy in connection with the products shall be limited, at PPG's option, to either replacement of products not conforming this warranty or credit to Buyer's account in the invoiced amount of the non-conforming products. Any claim under this warranty must be made by Buyer to PPG in writing within five (5) days of Buyer's discovery of the claimed defect, but in no event later than the expiration of the applicable shelf life, or one year from the delivery date, whichever is earlier. Buyer's failure to notify PPG of such non-conformance as required herein shall bar Buyer from recovery under this warranty.

PPG makes no other warranties concerning the product. No other warranties, whether express, implied or statutory, such as warranties of merchantability or fitness particular purpose, shall apply. In no event shall PPG be liable for consequential or incidental damages.

Any recommendations or suggestion relating to the use of the products made by PPG, whether in its technical literature, or response to specific enquiry, or otherwise, is based on data believed to be reliable; however, the products and information are intended for use by Buyer's having requisite skill and know-how in the industry, and therefore it is Buyer to satisfy itself of the suitability of the products for its own particular use and it shall be deemed that Buyer has done so, as its sole discretion and risk. Variation in environment, changes in procedures of use, or extrapolation of data may cause unsatisfactory results.

Limitation of Liability

PPG's liability on any claim of any kind, including claims based upon PPG's negligence or strict liability, for any loss or damage arising out of, connected with, or resulting from the use of the products, shall in no case exceed the purchase price allocable to the products or part thereof which give rise to the claim. In no event shall PPG be liable for consequential or incidental damages.

Due to PPG's policy of continuous product improvement, the information contained in this Product Data/Application Instructions sheet is subject to change without notice. It is the Buyer's responsibility to check that this issue is current prior to using the product. For the most up-to-date Product Data/Application Instructions always refer to the PPG Protective & Marine Coatings website at www.ppgpmc.com

To avoid any confusion that may arise through translation into other languages, the English version of the Product Data/Application Instructions will be the governing literature and must be referred to in case of deviations with product literature in other languages.

Condition of Sale

All our transactions are subject to our Terms and Conditions of Sale.



ANEXO B
NORMAS TÉCNICAS

INTERNATIONAL STANDARD

ISO 4628-2

Second edition
2003-09-01

Paints and varnishes — Evaluation of degradation of coatings — Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance —

Part 2: Assessment of degree of blistering

*Peintures et vernis — Évaluation de la dégradation des revêtements —
Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de
l'intensité des changements uniformes d'aspect —*

Partie 2: Évaluation du degré de cloquage



Reference number
ISO 4628-2:2003(E)

© ISO 2003

Paints and varnishes — Evaluation of degradation of coatings — Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance —

Part 2: Assessment of degree of blistering

1 Scope

This part of ISO 4628 describes a method for assessing the degree of blistering of coatings by comparison with pictorial standards.

The pictorial standards provided in this part of ISO 4628 illustrate blisters in the sizes 2, 3, 4 and 5, and each size in the quantities (densities) 2, 3, 4 and 5.

ISO 4628-1 defines the system used for designating the quantity and size of defects and the intensity of changes in appearance of coatings and outlines the general principles of the system. This system is intended to be used, in particular, for defects caused by ageing and weathering, and for uniform changes such as colour changes, for example yellowing.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 4628-1, *Paints and varnishes — Evaluation of degradation of coatings — Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance — Part 1: General introduction and designation system*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

degree of blistering

rating characterizing blisters in a coating in terms of quantity (density) and size

4 Assessment

Assess the quantity and size of the blisters in a coating using the pictures given in Figures 1 to 4.

Where the area to be examined exhibits blisters of varying size, quote as the size rating that of the blisters which are typical of the test area.

ISO 4628-2:2003(E)

Carry out the assessment under good illumination.

If the assessment is to be done using an optical imaging system, calibrate the system using the images given in Annex A.

5 Expression of results

Express the ratings for the quantity (density) and size of the blisters as given in Figures 1 to 4, together with the approximate dimensions of the area concerned, or its proportion of the total area, expressed as a percentage.

For example, if the coating is assessed as having blisters of quantity 2, size 2, i.e. matching Figure 2 a), it shall be reported as:

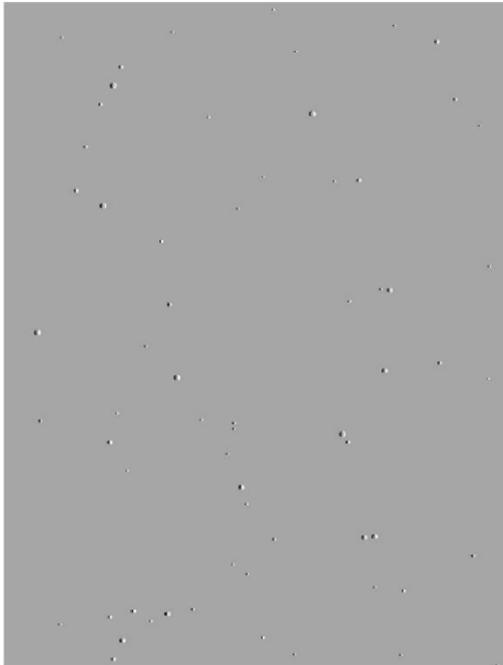
blistering; degree of blistering 2(S2).

6 Test report

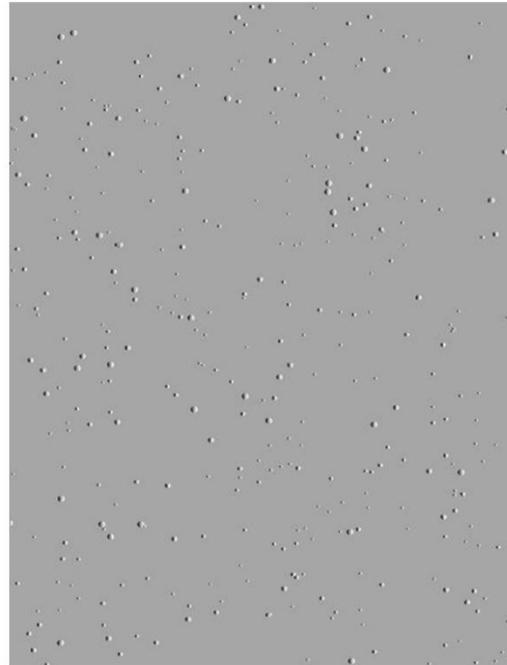
The test report shall contain at least the following information:

- a) all details necessary to identify the coating examined;
- b) a reference to this part of ISO 4628 (ISO 4628-2:2003);
- c) the type of surface examined, its size and, if appropriate, its location;
- d) the result of the assessment in accordance with Clause 5;
- e) an indication of the illumination under which the assessment was carried out;
- f) any unusual features (anomalies) noted during the assessment;
- g) the date of the examination.

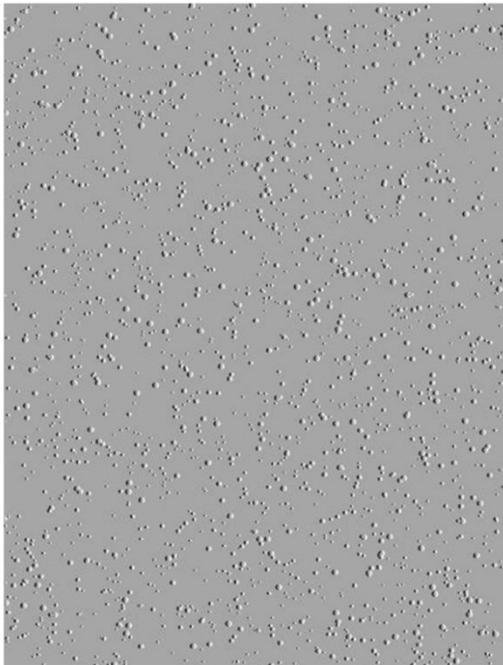
ISO 4628-2:2003(E)



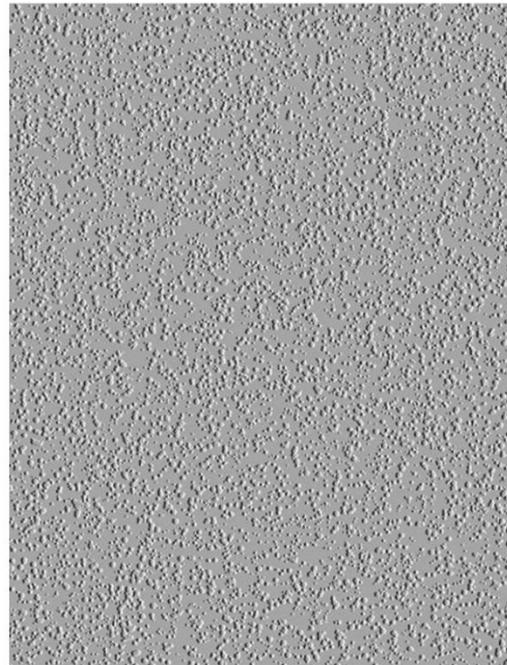
a) Quantity (density) 2 — 2(S2)



b) Quantity (density) 3 — 3(S2)



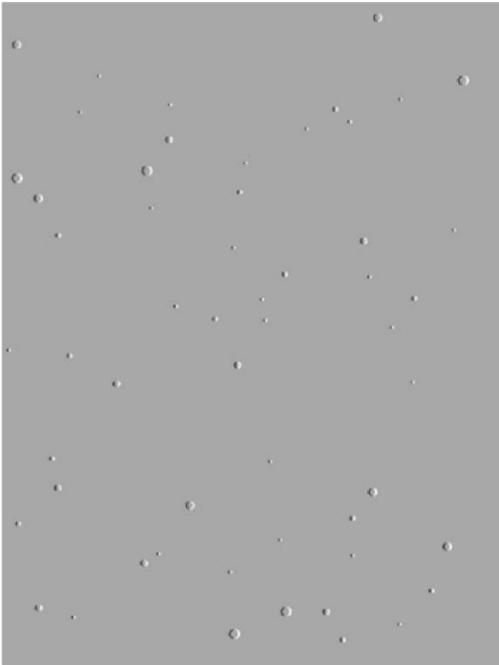
c) Quantity (density) 4 — 4(S2)



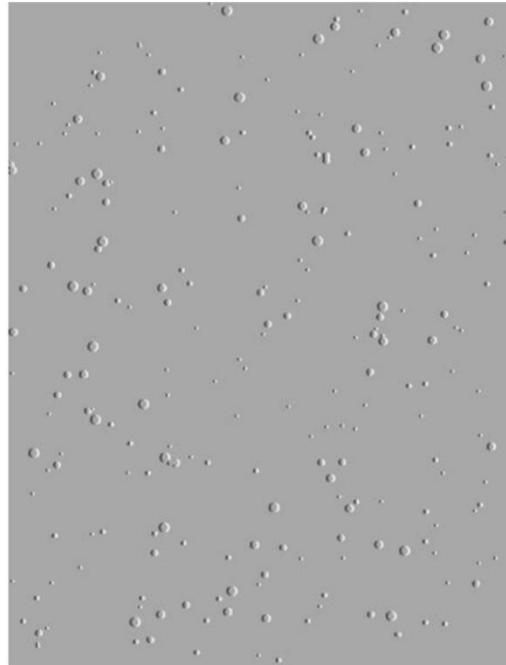
d) Quantity (density) 5 — 5(S2)

Figure 1 — Blisters of size 2

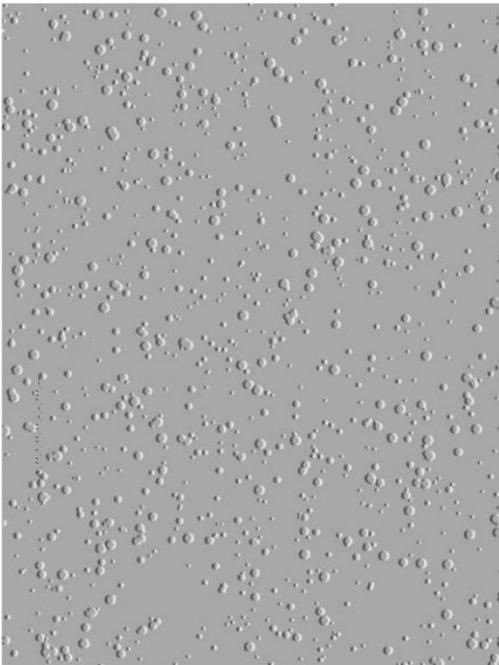
ISO 4628-2:2003(E)



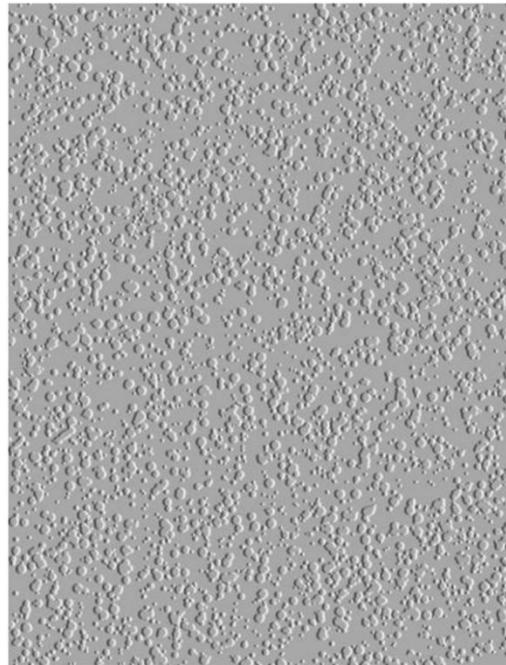
a) Quantity (density) 2 — 2(S3)



b) Quantity (density) 3 — 3(S3)



c) Quantity (density) 4 — 4(S3)

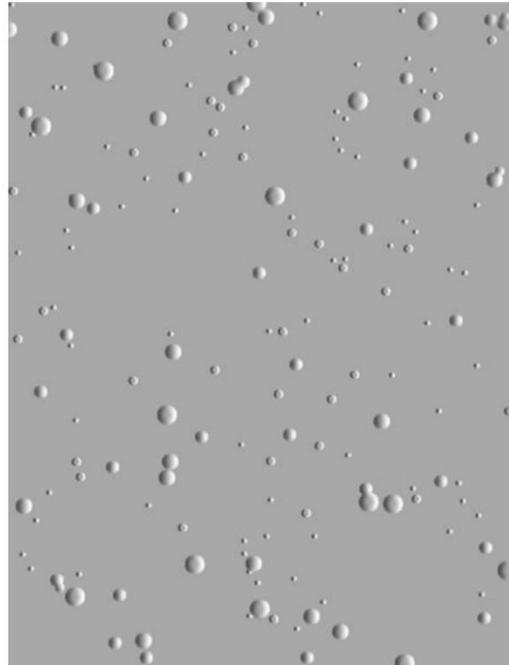


d) Quantity (density) 5 — 5(S3)

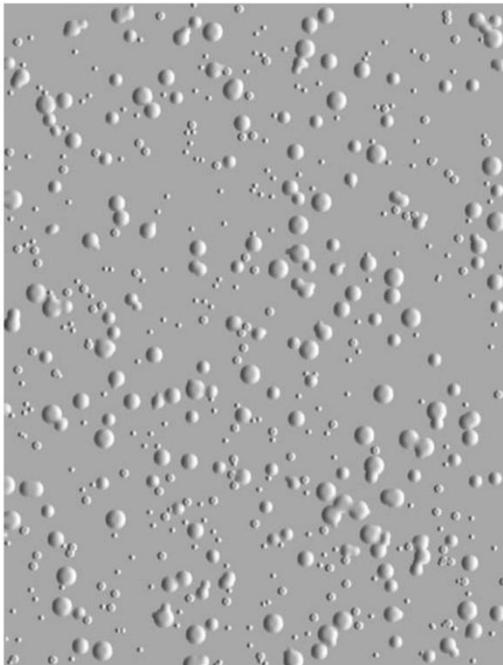
Figure 2 — Blisters of size 3



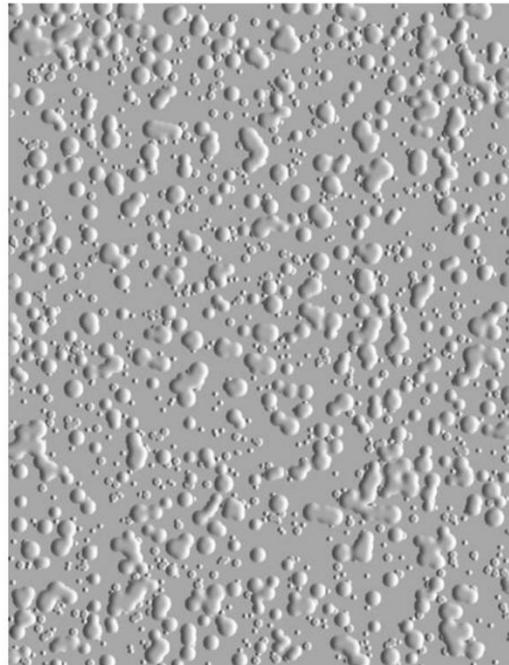
a) Quantity (density) 2 — 2(S4)



b) Quantity (density) 3 — 3(S4)



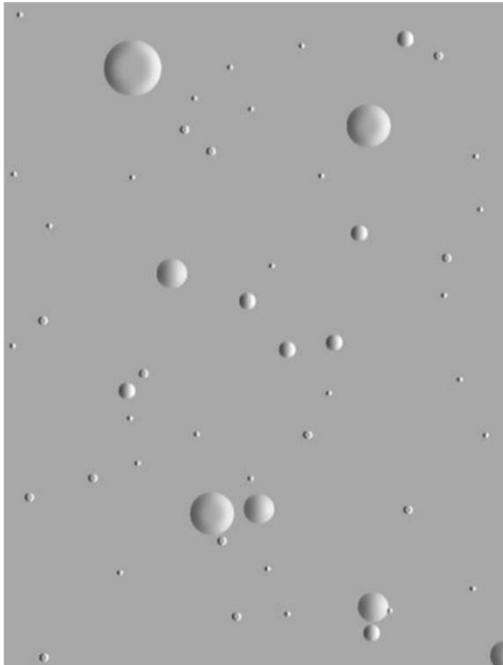
c) Quantity (density) 4 — 4(S4)



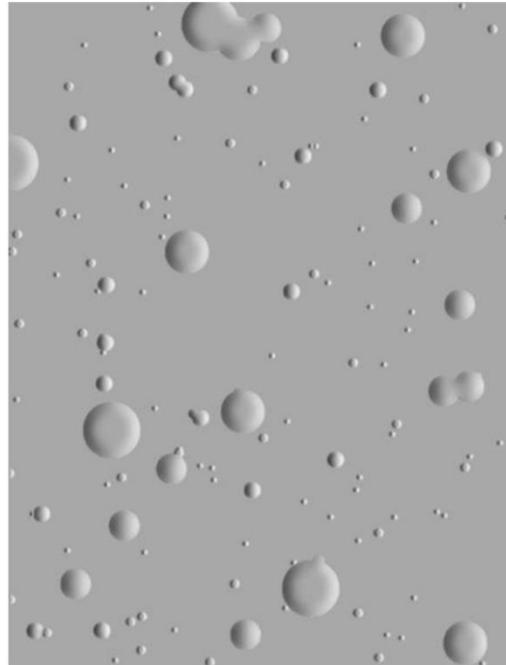
d) Quantity (density) 5 — 5(S4)

Figure 3 — Blisters of size 4

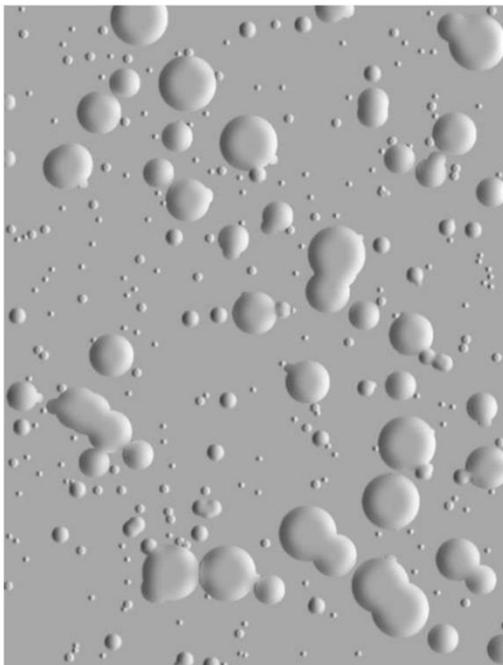
ISO 4628-2:2003(E)



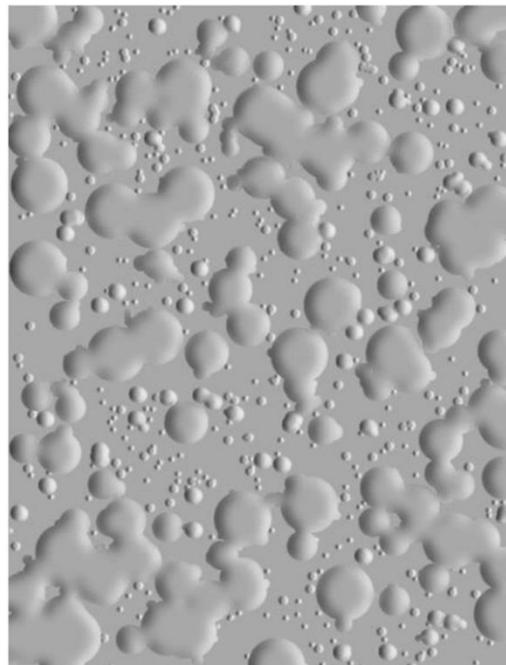
a) Quantity (density) 2 — 2(S5)



b) Quantity (density) 3 — 3(S5)



c) Quantity (density) 4 — 4(S5)



d) Quantity (density) 5 — 5(S5)

Figure 4 — Blisters of size 5

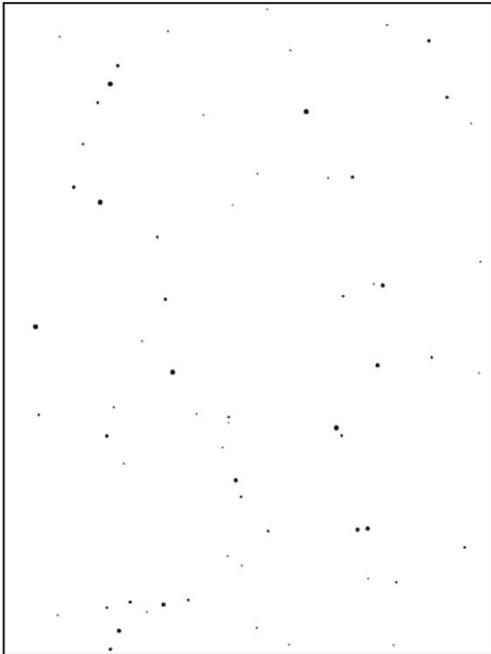
Annex A (normative)

Calibration images

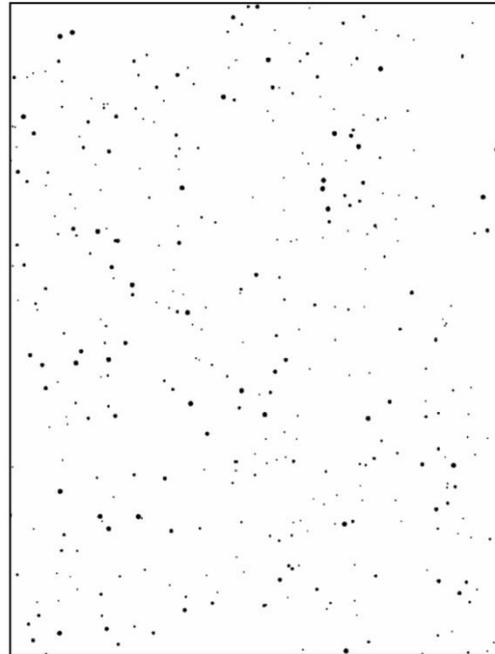
If the assessment is to be done using an optical imaging system, use the images given in Figures A.1 to A.4 to calibrate the imaging system.

www.iso.org

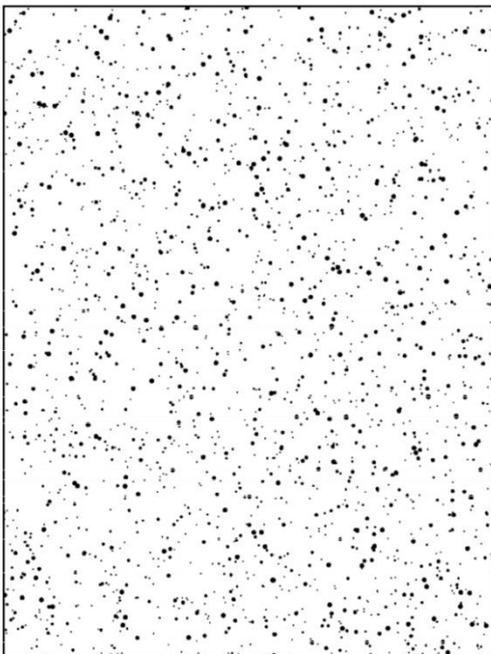
ISO 4628-2:2003(E)



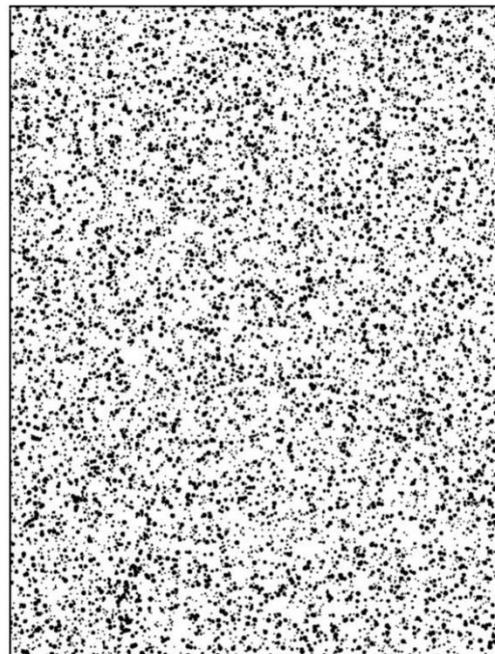
a) Quantity (density) 2 — 2(S2)



b) Quantity (density) 3 — 3(S2)

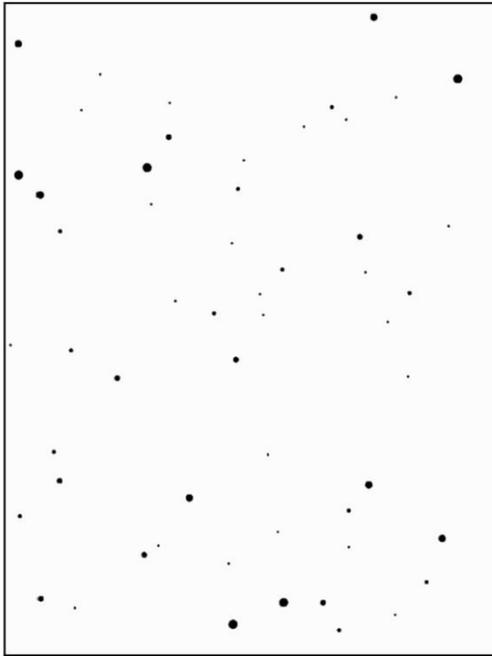


c) Quantity (density) 4 — 4(S2)

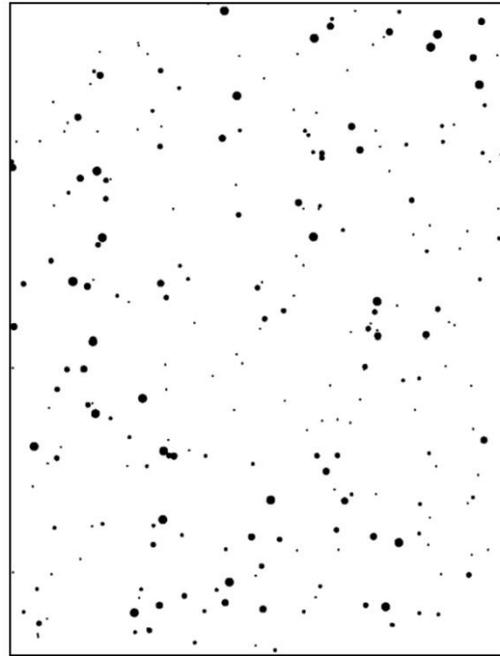


d) Quantity (density) 5 — 5(S2)

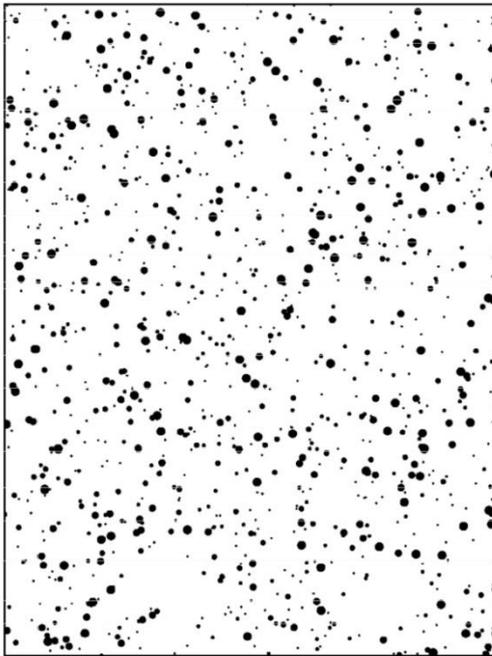
Figure A.1 — Blisters of size 2



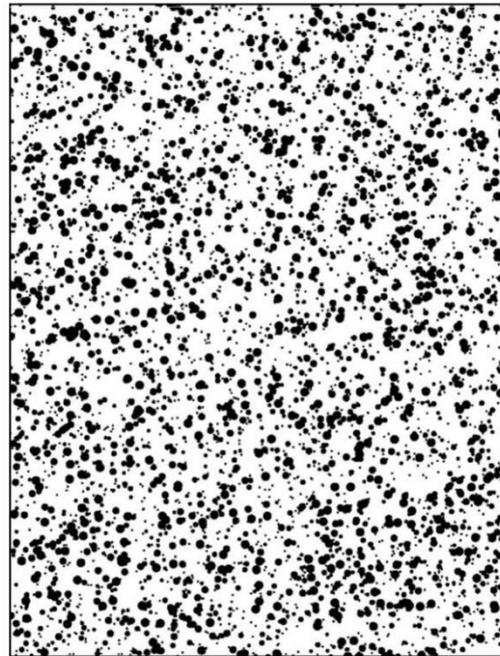
a) Quantity (density) 2 — 2(S3)



b) Quantity (density) 3 — 3(S3)



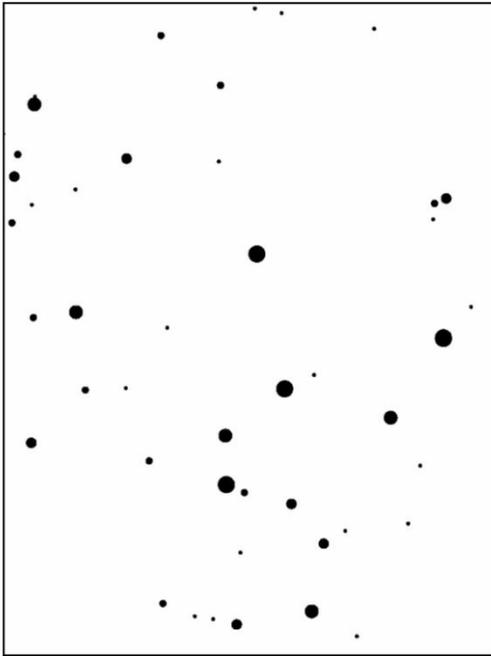
c) Quantity (density) 4 — 4(S3)



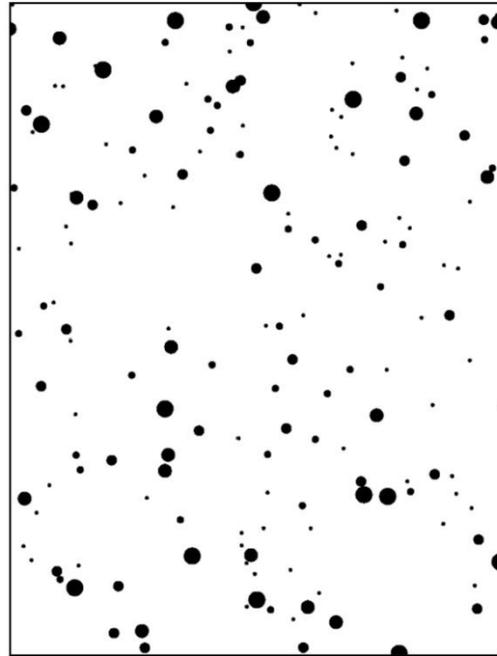
d) Quantity (density) 5 — 5(S3)

Figure A.2 — Blisters of size 3

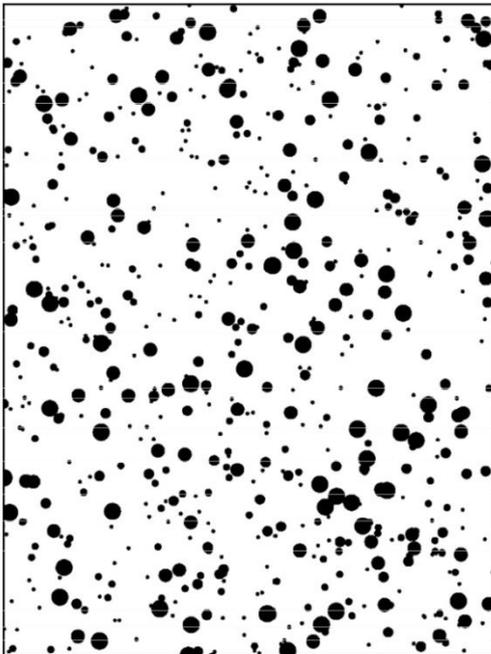
ISO 4628-2:2003(E)



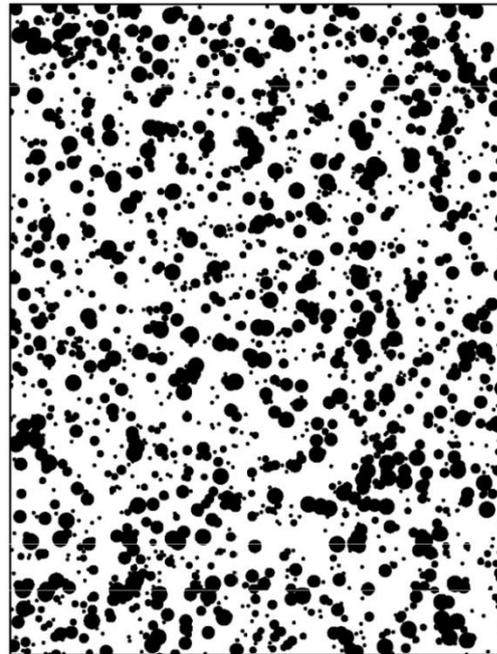
a) Quantity (density) 2 — 2(S4)



b) Quantity (density) 3 — 3(S4)

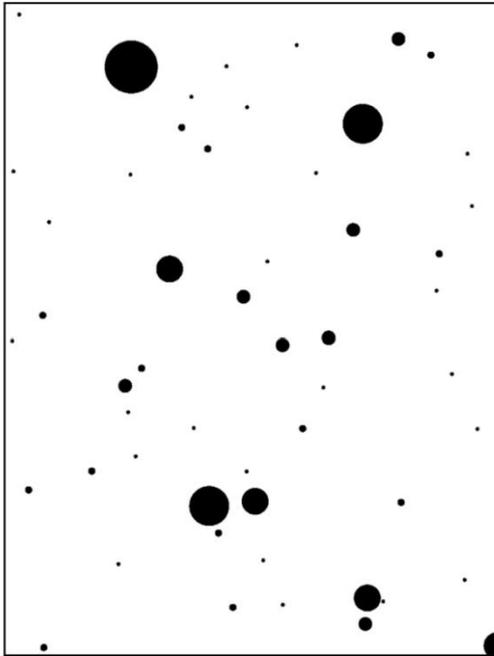


c) Quantity (density) 4 — 4(S4)

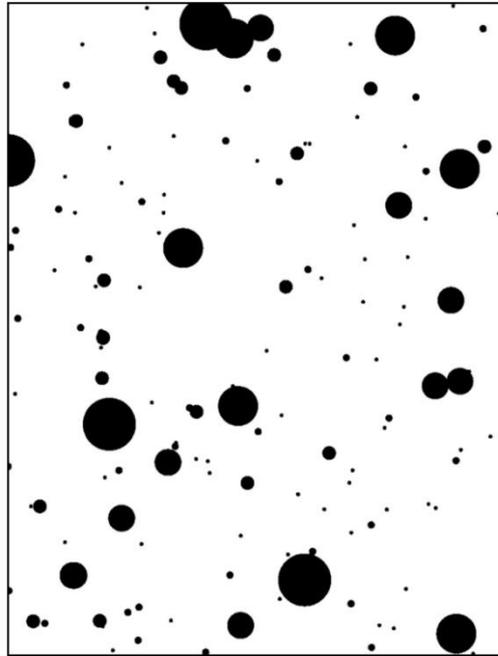


d) Quantity (density) 5 — 5(S4)

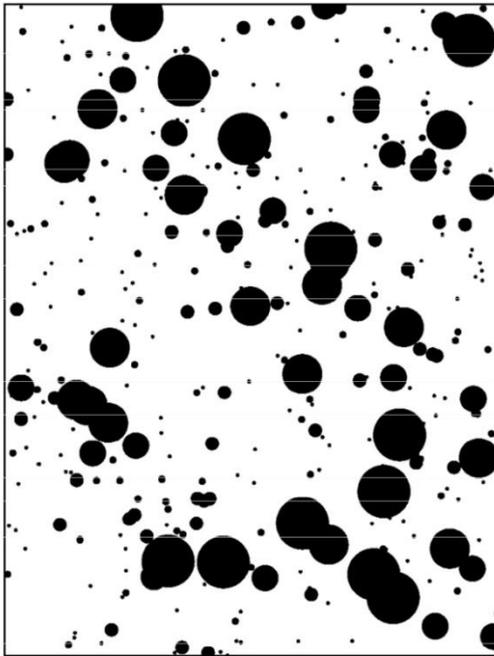
Figure A.3 — Blisters of size 4



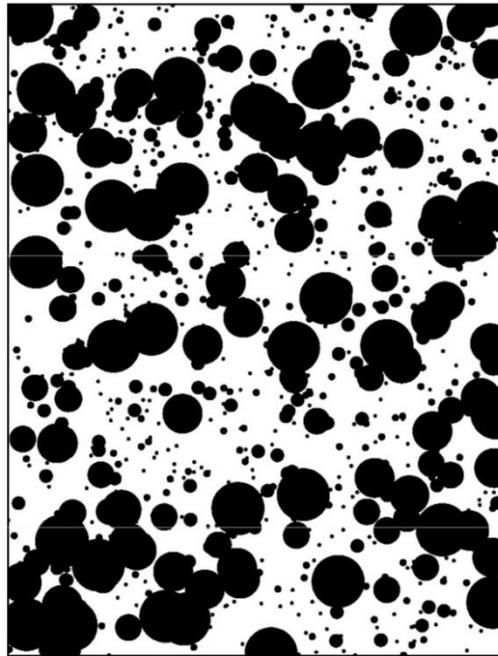
a) Quantity (density) 2 — 2(S5)



b) Quantity (density) 3 — 3(S5)



c) Quantity (density) 4 — 4(S5)



d) Quantity (density) 5 — 5(S5)

Figure A.4 — Blisters of size 5

ISO 4628-2:2003(E)

Annex B
(informative)

Correlation between ISO 4628-2 and ASTM D 714 rating systems

Quantity (density)		Size	
ASTM	ISO	ASTM	ISO
None	0		
—	1	—	1
Few	2	8	2
Medium	3	6	3
Medium-dense	4	4	4
Dense	5	2	5

INTERNATIONAL STANDARD

ISO 4628-3

Second edition
2003-09-01

Paints and varnishes — Evaluation of degradation of coatings — Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance —

Part 3: Assessment of degree of rusting

*Peintures et vernis — Évaluation de la dégradation des revêtements —
Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de
l'intensité des changements uniformes d'aspect —*

Partie 3: Évaluation du degré d'enrouillement



Reference number
ISO 4628-3:2003(E)

© ISO 2003

Paints and varnishes — Evaluation of degradation of coatings — Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance —

Part 3: Assessment of degree of rusting

1 Scope

This part of ISO 4628 describes a method for assessing the degree of rusting of coatings by comparison with pictorial standards.

The pictorial standards provided in this part of ISO 4628 show coated steel surfaces which have deteriorated to different degrees by a combination of rust broken through the coating and visible underrust.

NOTE 1 The pictorial standards have been selected from the "European rust scale" published by the European Confederation of Paint, Printing Ink and Artists' Colours Manufacturers' Associations (CEPE), Brussels. The correlation between the ISO scale and the "European rust scale" is given in Annex B, Table B.1.

NOTE 2 The correlation between the ISO scale and the rating system of ASTM D 610, *Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces*, is given in Annex B, Table B.2.

NOTE 3 The rust formation on uncoated steel surfaces is designated in accordance with ISO 8501-1, *Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Visual assessment of surface cleanliness — Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings* (rust grades A, B, C and D).

ISO 4628-1 defines the system used for designating the quantity and size of defects and the intensity of changes in appearance of coatings and outlines the general principles of the system. This system is intended to be used, in particular, for defects caused by ageing and weathering, and for uniform changes such as colour changes, for example yellowing.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 4628-1:2003, *Paints and varnishes — Evaluation of degradation of coatings — Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance — Part 1: General introduction and designation system*

ISO 4628-3:2003(E)

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

degree of rusting

Ri

rating characterizing the degree of rust formation (rust broken through and visible underrust) on a coating

4 Assessment

Assess the degree of rusting Ri on a coating by means of the pictorial standards given in Figures 1 to 5. The approximate areas rusted (rust broken through plus visible underrust) shown on these standards are as indicated in Table 1.

Procedures for assessing invisible underrust, if required, shall be agreed between the interested parties.

Where different degrees of rusting occur in different parts of the area being assessed, indicate these degrees of rusting together with the part where each occurs.

Carry out the assessment under good illumination.

If the average size of the rust spots on the test area differs considerably from those shown in the pictorial standards, an indication of their size may be given by reference to Table 2 of ISO 4628-1:2003.

NOTE The pictorial standards are basically intended for assessing the degree of rusting of coated steel. They may be used for designating the degree of corrosion of coated non-ferrous metals if the form of breakdown is comparable with that shown in the standards.

Table 1 — Degree of rusting and rusted area

Degree of rusting	Rusted area %
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40 to 50

If the assessment is to be done using an optical imaging system, calibrate the system using the images given in Annex A.

5 Expression of results

Express the degree of rusting as the Ri class as shown in Figures 1 to 5.

If applicable, indicate the different degrees of rusting obtained, together with the parts of the test area concerned.

If applicable, indicate the degree of rusting Ri together with the numerical rating of the size of the rust spots.

ISO 4628-3:2003(E)

For example, if the rusted area corresponds to Figure 3, Ri 3, and the sizes of the individual rust spots are between 0,5 mm and 5 mm, reported the result as:

rusting; degree of rusting Ri 3 (S4)

6 Test report

The test report shall contain at least the following information:

- a) all details necessary to identify the coating examined;
- b) a reference to this part of ISO 4628 (ISO 4628-3:2003);
- c) the type of surface examined, its size and, if appropriate, its location;
- d) the result of the assessment in accordance with Clause 5;
- e) an indication of the illumination under which the assessment was carried out;
- f) any unusual features (anomalies) observed during the assessment;
- g) the date of the examination.

ISO 4628-3:2003(E)



Figure 1 — Degree of rusting Ri 1



Figure 2 — Degree of rusting Ri 2

ISO 4628-3:2003(E)

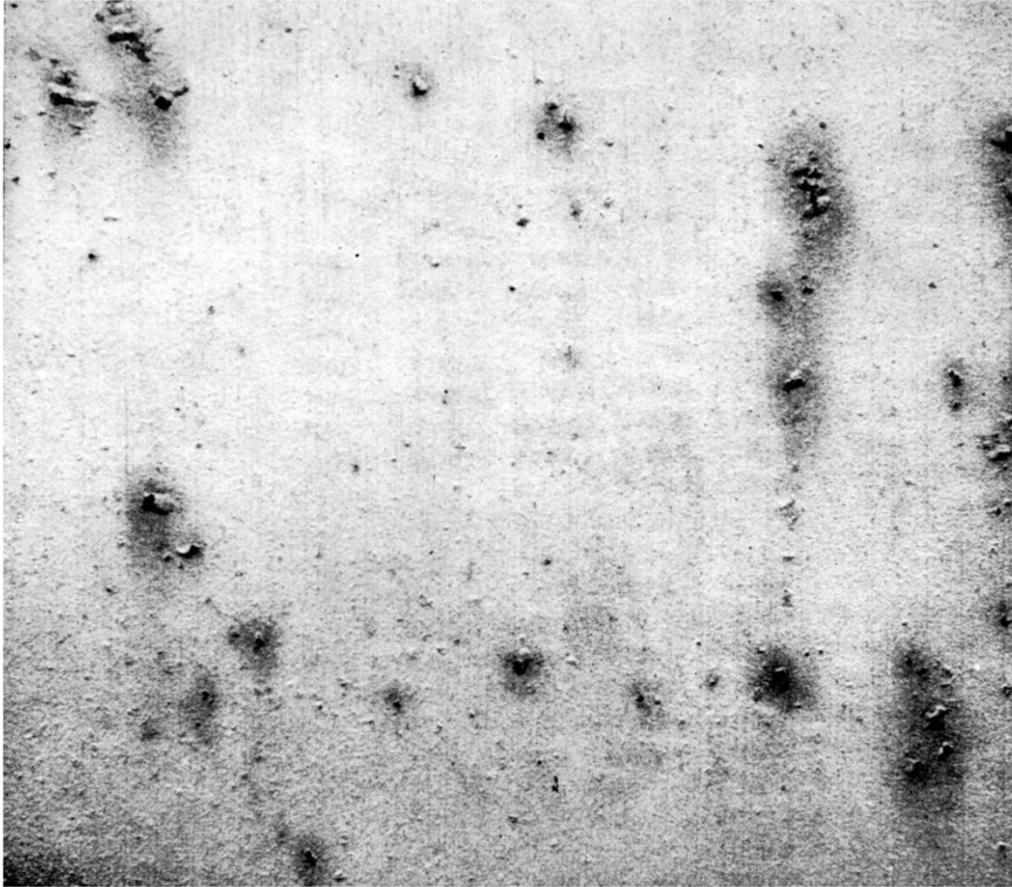


Figure 3 — Degree of rusting Ri 3

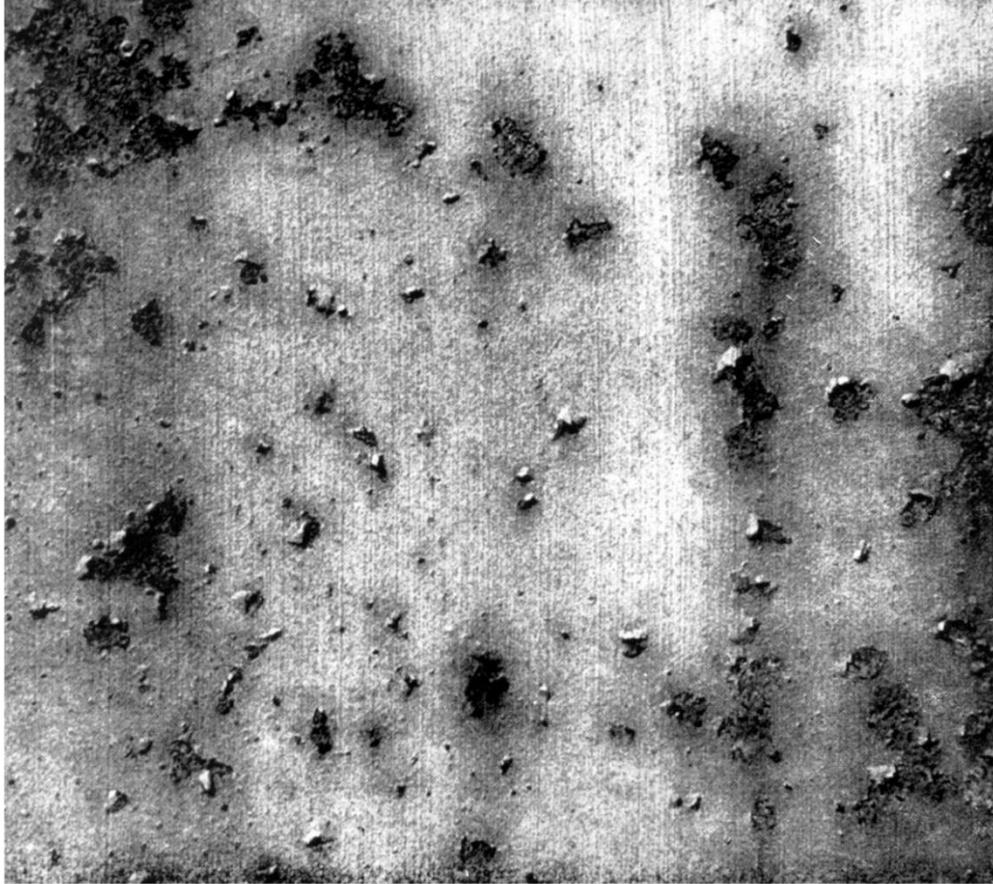


Figure 4 — Degree of rusting Ri 4

ISO 4628-3:2003(E)

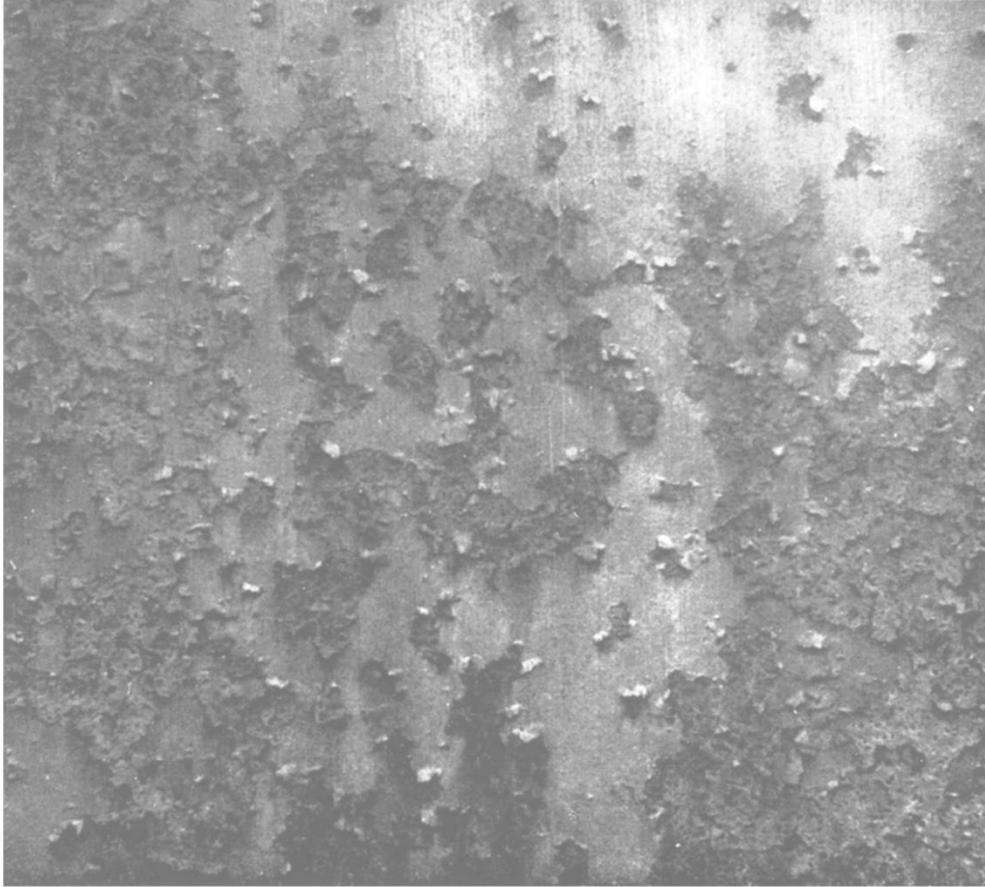


Figure 5 — Degree of rusting Ri 5

Annex A (normative)

Calibration images

If the assessment is to be done using an optical imaging system, use the images given in Figures A.1 to A.5 to calibrate the imaging system.

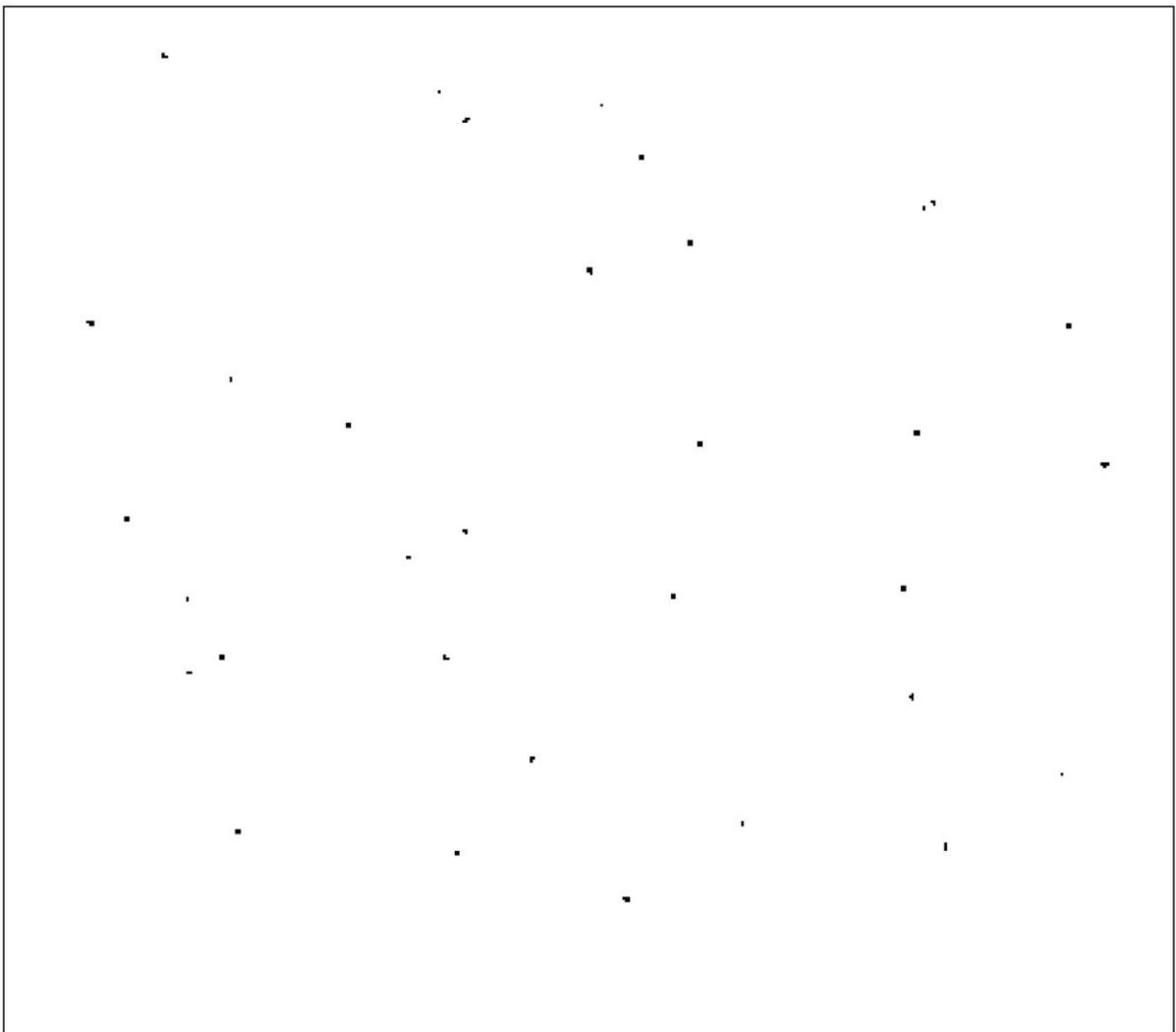


Figure A.1 — Degree of rusting Ri 1

ISO 4628-3:2003(E)



Figure A.2 — Degree of rusting Ri 2

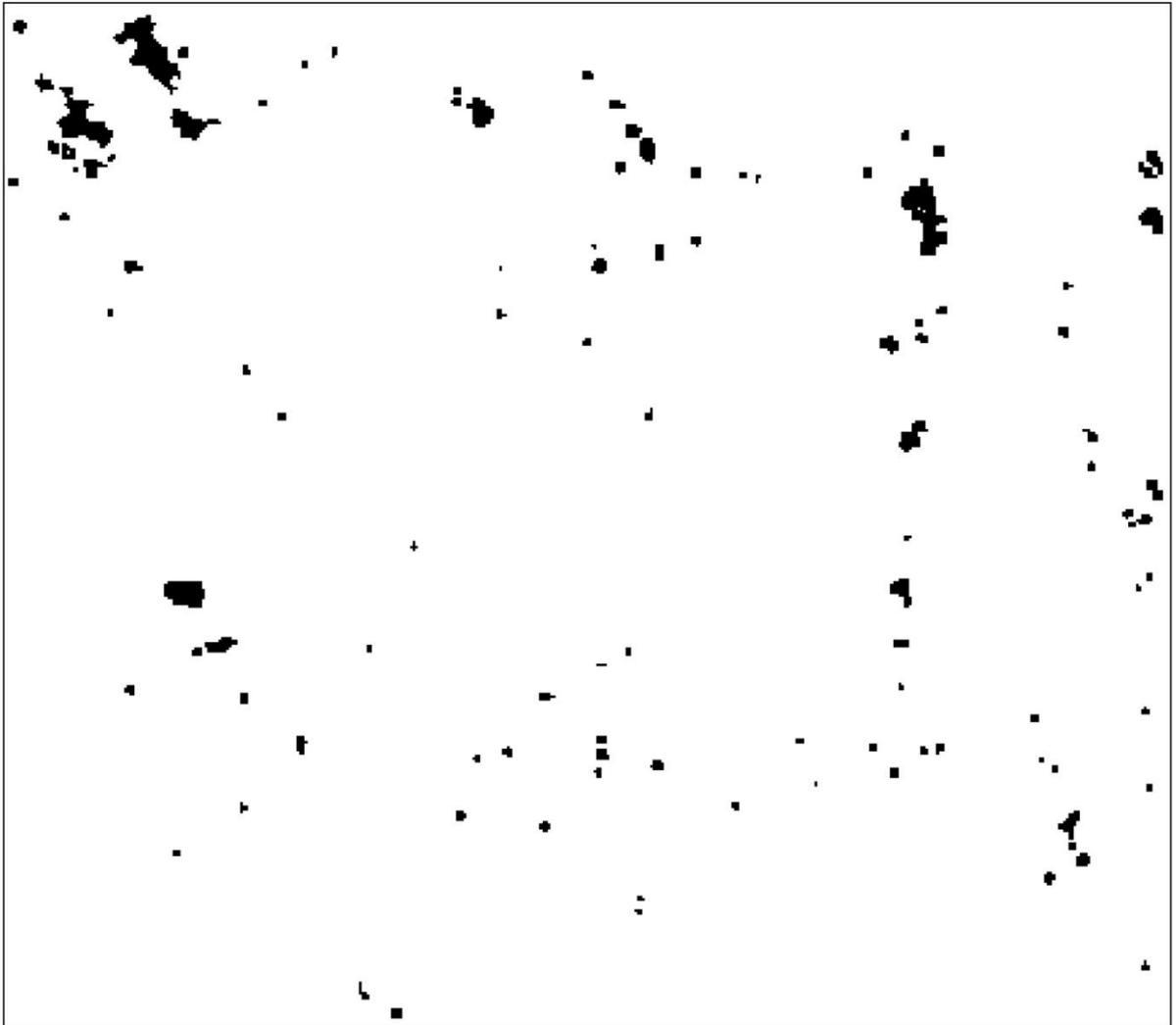


Figure A.3 — Degree of rusting Ri 3

ISO 4628-3:2003(E)

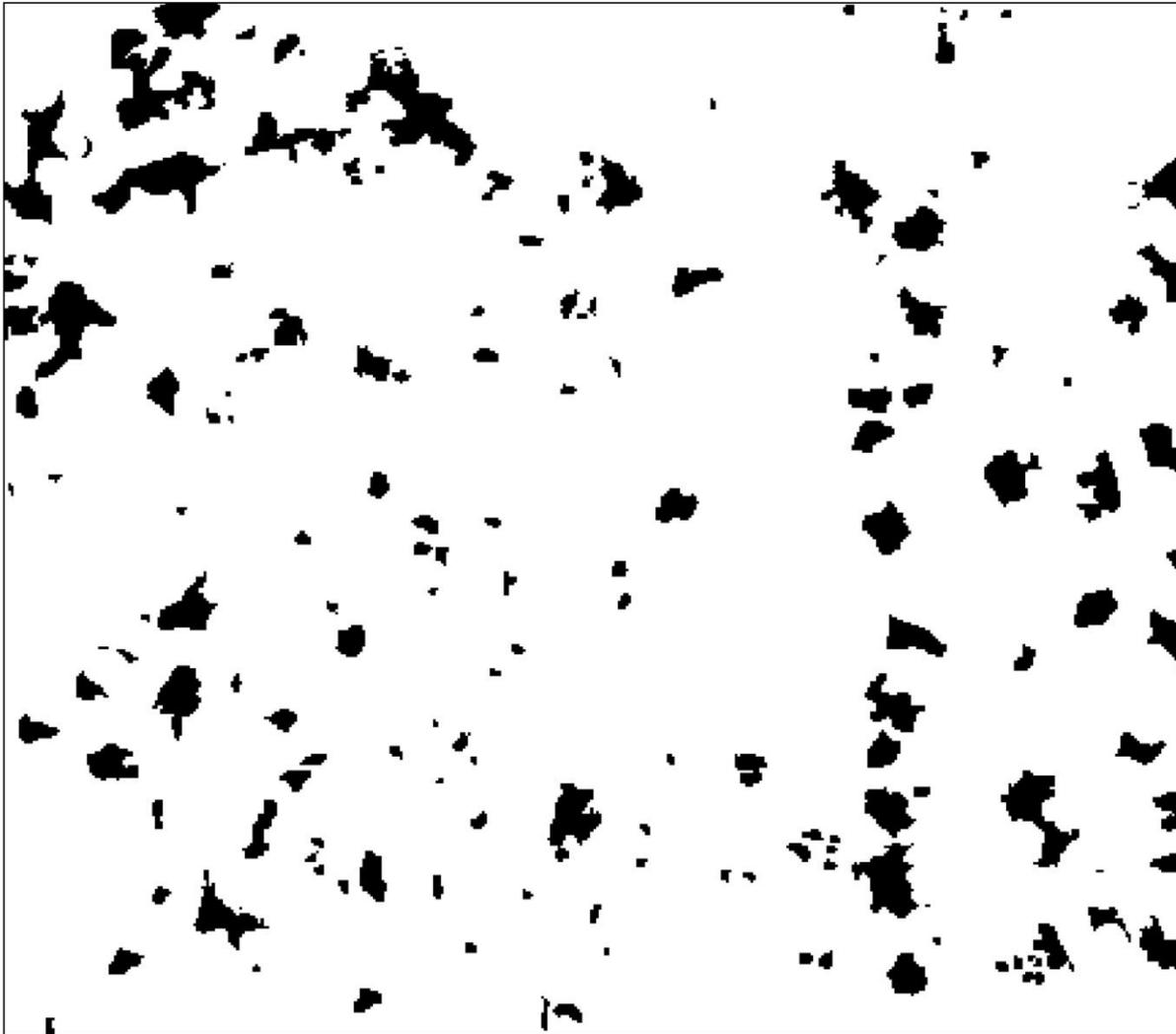


Figure A.4 — Degree of rusting Ri 4



Figure A.5 — Degree of rusting Ri 5

ISO 4628-3:2003(E)

Annex B (informative)

Correlation between the ISO rating system and other systems

Table B.1 — Correlation between the ISO rating system and the “European rust scale”

ISO scale	“European rust scale”
Ri 0	Re 0
Ri 1	Re 1
Ri 2	Re 2
Ri 3	Re 3
Ri 4	Re 5
Ri 5	Re 7

Table B.2 — Approximate correlation between the ISO rating system and the ASTM rust scale

ISO scale	ASTM rust scale (ASTM D 610)
Ri 0	10
Ri 1	9
Ri 2	7
Ri 3	6
Ri 4	4
Ri 5	1 to 2

INTERNATIONAL STANDARD

ISO 4628-8

First edition
2005-03-01

Paints and varnishes — Evaluation of degradation of coatings — Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance —

Part 8:

Assessment of degree of delamination and corrosion around a scribe

*Peintures et vernis — Évaluation de la dégradation des revêtements —
Désignation de la quantité et de la dimension des défauts, et de
l'intensité des changements uniformes d'aspect —*

*Partie 8: Évaluation du degré de décollement et de corrosion autour
d'une rayure*



Reference number
ISO 4628-8:2005(E)

© ISO 2005

Introduction

After exposure of a coated and scribed test panel in a corrosive environment, the following phenomena can occur around the scribe:

- delamination;
- corrosion.

A combination of both phenomena can also occur.

It is recommended that delamination and corrosion around the scribe be evaluated separately to obtain more detailed information about the coating system.

In addition to the procedure described in this part of ISO 4628, assessments of delamination and corrosion around the scribe can be carried out using optical image processing.

Rating of other defects is described in other parts of ISO 4628.

Paints and varnishes — Evaluation of degradation of coatings — Designation of quantity and size of defects, and of intensity of uniform changes in appearance —

Part 8:

Assessment of degree of delamination and corrosion around a scribe

1 Scope

This part of ISO 4628 specifies a method for assessing delamination and corrosion, caused by a corrosive environment, around a scribe in a coating on a test panel or other test specimen.

NOTE An example of a corrosive environment is salt spray (fog) as used in the method of exposure described in ISO 7253 or ISO 9227 (see the Bibliography).

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 3270, *Paints and varnishes and their raw materials — Temperatures and humidities for conditioning and testing*

ISO 21227-1, *Paints and varnishes — Evaluation of defects on coated surfaces using optical imaging — Part 1: General guidance*

ISO 21227-3, *Paints and varnishes — Evaluation of defects on coated surfaces using optical imaging — Part 3: Assessment of delamination and corrosion around a scribe*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

corrosion

area of visible corrosion products

3.2

delamination

loss of adhesion of a coating

ISO 4628-8:2005(E)

4 Principle

The degree of delamination around a scribe is assessed either directly after the end of the exposure period immediately after removal of the test panel from the exposure environment or after conditioning for a specified period.

The degree of corrosion around the scribe is assessed either immediately after removal of the test panel from the exposure environment or after removal of the coating.

Both the area of delamination and the area of corrosion are determined either by measurement and calculation or by using pictorial standards.

NOTE The extent of other defects may also be determined at the same time as the degree of delamination and degree of corrosion. The methods used are as follows:

- blistering in accordance with ISO 4628-2^[2];
- rusting in accordance with ISO 4628-3^[3];
- cracking in accordance with ISO 4628-4^[4];
- flaking in accordance with ISO 4628-5^[5];
- filiform corrosion in accordance with ISO 4628-10^[6].

5 Procedure

5.1 General

The degree of delamination and degree of corrosion are determined either by measurement and calculation or by comparing the scribes with the pictorial examples given in Figure 1. The measurement and calculation procedures given in 5.2 and 5.3 are generally preferred to the assessment described in 5.4 using pictorial standards.

The assessment of the degree of delamination may be made immediately after removal of the panels from the conditioning environment (see 5.2.1), but can also be carried out after a further conditioning period to determine whether coating adhesion can regenerate itself (see 5.2.2).

The assessment of the degree of corrosion may be made using the coated panel (see 5.3.1) or after stripping off the coating (see 5.3.2).

5.2 Assessment of delamination

5.2.1 Directly after the end of the exposure period

Rinse the test panel with fresh tap water immediately after exposure, blowing off residues of water from the surface using compressed air if necessary, and inspect for visible changes. Carefully remove any loose coating using a knife blade held at an angle, positioning the blade at the coating/substrate interface and lifting the coating away from the substrate.

Depending upon the coating type and degree of delamination, some force may be necessary to remove the coating, but a boundary should be found where the coating becomes tightly adhered to the substrate, this being the limit of delamination.

If desired, compressed air or adhesive tape may be used instead of a knife blade. It is important to remove the loose coating completely.

If necessary, rinse the test panel again with fresh tap water.

Measure, in millimetres, the total width of the zone of delamination at a minimum of six points uniformly distributed along the scribe. Ignore delamination beyond the beginning and end of the original scribe.

Determine the arithmetic mean and record this as the mean overall width of the zone of delamination, d_1 .

5.2.2 After conditioning

The extent to which adhesion can regenerate itself after drying is determined as follows.

Rinse and condition the test panel after exposure. Assess the degree of delamination as described in 5.2.1 after conditioning for 1 h and again after conditioning for 24 h at a temperature of (23 ± 2) °C and a relative humidity of (50 ± 5) %, as specified in ISO 3270.

5.3 Assessment of corrosion

5.3.1 Directly after the end of the exposure period

Rinse the test panel with fresh tap water immediately after exposure, blowing off residues of water from the surface using compressed air if necessary, and inspect for visible changes. Carefully remove any loose coating using a knife blade held at an angle, positioning the blade at the coating/substrate interface and lifting the coating away from the substrate.

A suitable paint remover or other means, e.g. compressed air or adhesive tape, may be used instead of a knife blade. It is important to remove the loose coating completely.

If necessary, rinse the test panel again with fresh tap water.

Measure, in millimetres, the width of the zone of corrosion at a minimum of six points uniformly distributed along the scribe. Ignore corrosion beyond the beginning and end of the original scribe.

Determine the arithmetic mean and record this as the mean overall width of the zone of corrosion, w_c .

5.3.2 Evaluation of corrosion on stripped test panels

Remove the coating carefully from the test panel with a suitable paint remover that will not exacerbate the corrosion. Rinse the test panel rapidly with clean tap water, blow dry with compressed air and immediately coat completely with a suitable, non-hygroscopic, clear coating material such as an aerosol lacquer.

Rate the zone of corrosion according to the pictorial standards given in Figure 1 or, if possible, measure the area, in square millimetres, using optical imaging as described in ISO 21227-1 and ISO 21227-3. Note any etched areas, which appear bright.

5.4 Assessment using pictorial standards

If required, assess the area of delamination and corrosion using the pictorial standards given in Figure 1.

NOTE These pictorial standards are based on the rating system defined in ISO 4628-1.

ISO 4628-8:2005(E)

6 Calculation and expression of results

6.1 Degree of delamination

Calculate the degree of delamination d , in millimetres, using the equation:

$$d = \frac{d_1 - w}{2} \quad (1)$$

where

d_1 is the mean overall width of the zone of delamination, in millimetres;

w is the width of the original scribe, in millimetres.

If the delamination is non-uniform, increase the number of measurement points so that they are more closely spaced, or calculate the degree of delamination d , in millimetres, using Equation (2). Ignore delamination beyond the beginning and end of the original scribe. Determine the size of the area by, for example, laying transparent millimetre-grid paper over the area and counting the number of squares corresponding to the area.

$$d = \frac{A_d - A_l}{2} \times \frac{1}{l} \quad (2)$$

where

A_d is the area of delamination, including the scribe area, in square millimetres;

A_l is the area of the scribe in the area evaluated, in square millimetres;

l is the length of the scribe in the area evaluated, in millimetres.

Express the results as:

- either the degree of delamination d , to the nearest millimetre, determined directly after the end of the exposure period, plus the degree of delamination after further conditioning, if determined;
- or the numerical rating obtained from the pictorial standards as described in 5.4.

6.2 Degree of corrosion

Calculate the degree of corrosion c , in millimetres, using the equation:

$$c = \frac{w_c - w}{2} \quad (3)$$

where

w_c is the the mean overall width of the zone of corrosion, in millimetres;

w is the width of the original scribe, in millimetres.

If the corrosion is non-uniform, increase the number of measurement points so that they are more closely spaced, or calculate the degree of corrosion c , in millimetres, using Equation (4). Ignore corrosion beyond the beginning and end of the original scribe. Determine the size of the area by, for example, laying transparent millimetre-grid paper over the area and counting the number of squares corresponding to the area.

$$c = \frac{A_c - A_l}{2} \times \frac{1}{l} \quad (4)$$

where

A_c is the area of corrosion, including the scribe area, in square millimetres;

A_l is the scribe area in the area evaluated, in square millimetres;

l is the scribe length in the area evaluated, in millimetres.

Express the results as:

- either the degree of corrosion c , to the nearest millimetre, determined directly after the end of the exposure period, plus the degree of corrosion found on stripped test panels, if determined;
- or the numerical rating obtained from the pictorial standards as described in 5.4.

6.3 Assessment using pictorial standards

The numerical rating shall be given as indicated in the following example:

Delamination and corrosion around a scribe: corrosion grade 2; delamination grade 3.

7 Test report

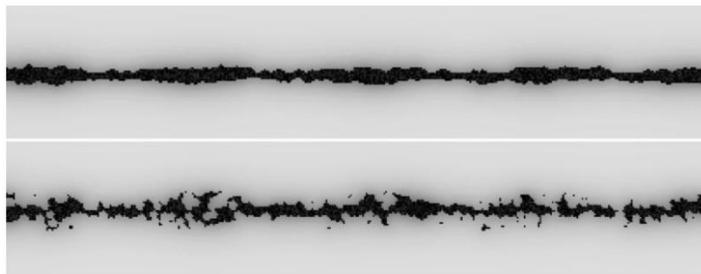
The test report shall contain at least the following information:

- a) all information necessary for identification of the coating examined, including film thickness and number of coats;
- b) a reference to this part of ISO 4628 (ISO 4628-8:2005);
- c) details of the exposure of the coating, including:
 - a description of the corrosive environment,
 - the duration of the exposure in the corrosive environment;
- d) details of the assessment procedure, including:
 - the type of scribe tool used,
 - the shape, width and length of the scribe,
 - whether the coating was removed or not;
- e) the results of the assessment, including the results of the individual determinations and their means, calculated in accordance with Clause 6;
- f) any deviations from the procedure specified;
- g) any unusual features (anomalies) observed during the assessment;
- h) the date of the assessment.

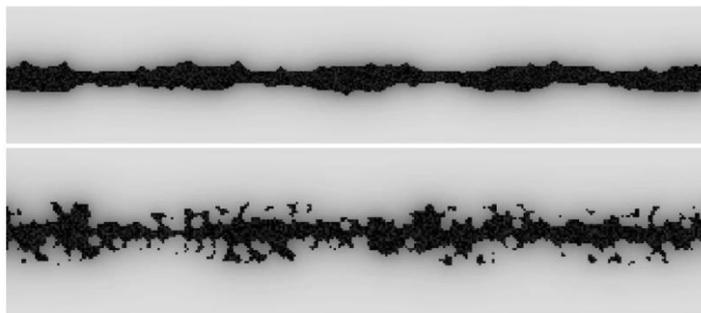
ISO 4628-8:2005(E)



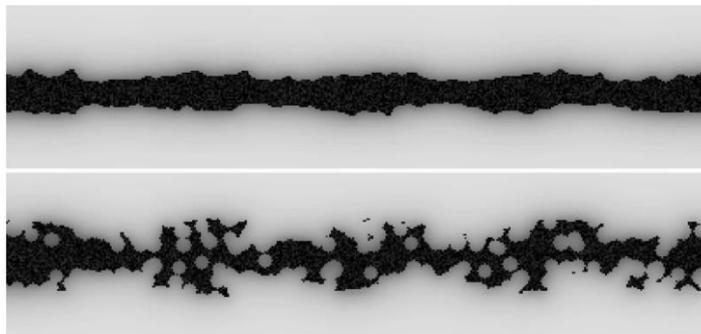
Grade 1 — Very slight



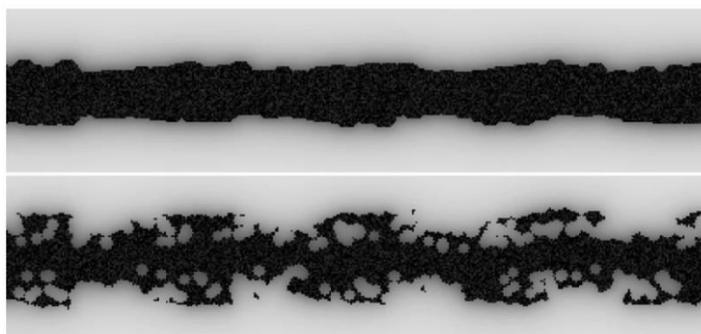
Grade 2 — Slight



Grade 3 — Moderate



Grade 4 — Considerable



Grade 5 — Severe

Figure 1 — Pictorial standards for assessment of degree of delamination and corrosion around a scribe (approximate scale 1:1)

ANEXO C
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

EQUIPOS DE MEDICIÓN RUGOSÍMTRÓ PCE-RT 2200



ELCOMETER 456 MEDIDOR DE ESPESOR DE PELÍCULA SECA DE PINTURA



ELCOMETER 510 MEDIDOR DE ADHERENCIA DE PINTURAS



ANEXO D

MEDIDAS DE ESPESOR DE PELÍCULA SECA

ESPEJOR DE PELÍCULA SECA: RECUBRIMIENTO ALQUÍDICO: SSPC-PA-2
(ELCOMETER 456)

MUESTRA	MEDICIÓN	LECTURAS (mils)			PROMEDIO DE LECTURAS (mils)
	N°	A	B	D	
AI 1	1	3.1	2.8	3.0	3.0
AI 2	2	2.7	2.4	3.2	2.8
AI 3	3	3.0	2.7	2.1	2.6
AI 4	4	3.3	2.8	2.7	2.9
AI 5	5	2.5	2.9	2.7	2.7
AI 6	6	2.8	2.7	2.1	2.5
AI 7	7	2.9	2.3	2.5	2.6
AI 8	8	3.0	3.4	2.7	3.0
AI 9	9	2.7	3.2	2.8	2.9

PROMEDIO DE MEDICIONES	2.8
------------------------	-----

ESPEJOR RECOMENDADO (DOS CAPAS)	2 a 3
---------------------------------	-------

ESPEJOR DE PELÍCULA SECA: RECUBRIMIENTO ACRÍLICO: SSPC-PA-2
(ELCOMETER 456)

MUESTRA	MEDICIÓN	LECTURAS (mils)			PROMEDIO DE LECTURAS (mils)
	N°	A	B	D	
A 1	1	4.4	4.7	4.4	4.5
A 2	2	4.8	5.0	4.6	4.8
A 3	3	5.3	4.7	5.0	5.0
A 4	4	5.1	4.8	4.9	4.9
A 5	5	4.5	4.7	5.0	4.7
A 6	6	4.4	5.1	4.8	4.8
A 7	7	4.8	4.5	4.5	4.6
A 8	8	4.9	4.1	4.6	4.5
A 9	9	4.6	4.7	4.4	4.6

PROMEDIO DE MEDICIONES	4.7
------------------------	-----

ESPEJOR RECOMENDADO (DOS CAPAS)	4 a 5
---------------------------------	-------

ESPEJOR DE PELÍCULA SECA: RECUBRIMIENTO EPÓXICO: SSPC-PA-2
(ELCOMETER 456)

MUESTRA	MEDICIÓN	LECTURAS (mils)			PROMEDIO DE LECTURAS (mils)
	N°	A	B	D	
E 1	1	18.9	20.7	19.0	19.5
E 2	2	13.9	14.0	13.5	13.8
E 3	3	13.2	13.2	13.9	13.4
E 4	4	13.8	14.2	14.0	14.0
E 5	5	18.3	18.6	17.9	18.3
E 6	6	18.6	19.1	19.0	18.9
E 7	7	20.4	22.0	21.0	21.1
E 8	8	19.8	20.3	20.7	20.3
E 9	9	22.4	21.0	22.1	21.8

PROMEDIO DE MEDICIONES	17.9
------------------------	------

ESPEJOR RECOMENDADO (DOS CAPAS)	8 a 24
---------------------------------	--------

ESPEJOR DE PELÍCULA SECA: RECUBRIMIENTO SILOXANO: SSPC-PA-2
(ELCOMETER 456)

MUESTRA	MEDICIÓN	LECTURAS (mils)			PROMEDIO DE LECTURAS (mils)
	N°	A	B	D	
S 1	1	12.8	12.5	12.4	12.6
S 2	2	12.5	12.7	12.2	12.5
S 3	3	12.8	12.6	12.6	12.7
S 4	4	12.6	12.9	12.9	12.8
S 5	5	12.8	12.4	12.0	12.4
S 6	6	12.7	13.2	13.6	13.2
S 7	7	12.8	12.4	12.7	12.6
S 8	8	12.9	12.4	12.8	12.7
S 9	9	13.3	13.8	13.2	13.4

PROMEDIO DE MEDICIONES	12.8
------------------------	------

ESPEJOR RECOMENDADO (DOS CAPAS)	6 a 14
---------------------------------	--------

NIVELES DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVA EN ATMÓSFERA MARINA PROPORCIONADA POR RECUBRIMIENTOS DE BAJO IMPACTO AMBIENTAL

por Joel Herradda Villanueva

Fecha de entrega: 20-feb-2020 01:24p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1260952459

Nombre del archivo: 2020_JOEL_TESIS_OK.docx (24.28M)

Total de palabras: 32198

Total de caracteres: 170341