

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**Programa de Doctorado en Física**



**UNS**  
**ESCUELA DE**  
**POSGRADO**

---

**Estudio comparativo de la resistencia a la corrosión  
atmosférica marina frente a la variación del número  
de capas de un sistema de protección anticorrosivo**

---

**Tesis para optar el grado de Doctor en Física**

**Autor:**

**Ms. Castillo Ventura, José Luis**  
**Código ORCID: 0000-0002-0905-3024**  
**DNI. N° 32781530**

**Asesor:**

**Dr. Aguilar Marín, Pablo**  
**DNI. N° 18071385**  
**Código ORCID: 0000-0001-6096-4010**

**Línea de investigación**

**Efectos del medio ambiente sobre los materiales**

**Nuevo Chimbote - PERÚ**  
**2025**



## CERTIFICACIÓN DE ASESORAMIENTO DE LA TESIS

Yo, **Pablo Aguilar Marín**, mediante la presente certifico mi asesoramiento de la tesis de doctorado titulada: **Estudio comparativo de la resistencia a la corrosión atmosférica marina frente a la variación del número de capas de un sistema de protección anticorrosivo**, elaborado por el **doctorando Castillo Ventura, José Luis** para obtener el Grado de **Doctor en Física** en la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa.

Nuevo Chimbote, octubre de 2025

---

**PhD Aguilar Marín, Pablo**  
ASESOR

Código ORCID: 0000-0001-6096-4010  
DNI N° 18071385



## AVAL DEL JURADO EVALUADOR

Tesis de doctorado titulada: **Estudio comparativo de la resistencia a la corrosión atmosférica marina frente a la variación del número de capas de un sistema de protección anticorrosivo**, elaborado por el doctorando **José Luis Castillo Ventura**.

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador:

**Dr. Mariños Castillo, Gualberto Antenor**  
Presidente

DNI: 17890841

Código ORCID: 0000-0001-7514-9908

**Dr. López Carranza, Atilio Rubén**  
Secretario

DNI: 32965940

Código ORCID: 0000-0002-3631-2001

**Dr. Aguilar Marín, Pablo**

Integrante

DNI. 18071385

Código ORCID: 0000-0001-6096-4010



**UNS**  
ESCUELA DE  
POSGRADO

### ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

A los veinticinco días del mes de octubre del año 2025, siendo las 11:30 horas, en el aula P-06 de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional del Santa, se reunieron los miembros del Jurado Evaluador, designados mediante Resolución Directoral N° 195-2023-EPG-UNS de fecha 19.08.2023, conformado por los docentes: Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo (Presidente), Dr. Atilio Rubén López Carranza (Secretario) y Dr. Pablo Aguilar Marín (Vocal); con la finalidad de evaluar la tesis titulada: "**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN ATMOSFÉRICA MARINA FRENTE A LA VARIACIÓN DEL NÚMERO DE CAPAS DE UN SISTEMA DE PROTECCIÓN ANTICORROSIVO**"; presentado por el tesista **José Luis Castillo Ventura**, egresado del programa de **Doctorado en Física**.

Sustentación autorizada mediante Resolución Directoral N° 865-2025-EPG-UNS de fecha 21 de octubre de 2025.

El presidente del jurado autorizó el inicio del acto académico; producido y concluido el acto de sustentación de tesis, los miembros del jurado procedieron a la evaluación respectiva, haciendo una serie de preguntas y recomendaciones al tesista, quien dio respuestas a las interrogantes y observaciones.

El jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como EXCELENTE, asignándole la calificación de 19 (DIECINUEVE).

Siendo las 13:20 horas del mismo día se da por finalizado el acto académico, firmando la presente acta en señal de conformidad.

  
Dr. Gualberto Antenor Mariños Castillo  
Presidente

  
Dr. Atilio Rubén López Carranza  
Secretario

  
Dr. Pablo Aguilar Marín  
Vocal/Asesor



## 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: Jose Castillo  
Título del ejercicio: Tesis Doctoral  
Título de la entrega: Tesis doctoral Turnitin.docx  
Nombre del archivo: Tesis\_doctoral\_Turnitin.docx  
Tamaño del archivo: 34.1M  
Total páginas: 149  
Total de palabras: 20,909  
Total de caracteres: 110,475  
Fecha de entrega: 25-nov-2025 05:01p. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2827693037



# Jose Castillo

## Tesis doctoral Turnitin.docx

 Tesis Doctoral

 Investigación

 Docentes UNS

---

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3424797233

Fecha de entrega

25 nov 2025, 5:00 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

25 nov 2025, 5:16 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

Tesis\_doctoral\_Turnitin.docx

Tamaño del archivo

34.1 MB

149 páginas

20.909 palabras

110.475 caracteres




# 14% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Filtrado desde el informe



- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

## Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
24 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**  
102 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

## FICHA CATALOGRÁFICA

AUTOR:

CASTILLO VENTURA JOSÉ LUIS

TITULO:

“Estudio comparativo de la resistencia a la corrosión atmosférica marina frente a la variación del número de capas de pintura de un sistema de protección anticorrosivo”.

ASESOR:

PhD. PABLO AGUILAR MARÍN

- 1.-Corrosión atmosférica marina
- 2.-Sistema de protección anticorrosivo
- 3.-Acero estructural



# Dedicatoria

Dedico la presente tesis doctoral a toda mi familia, por su constante apoyo, en los momentos que se tuvo que sacrificar el tiempo dedicados a ellos y que gracias a su comprensión se pudo establecer este logro, como profesional es uno de los anhelos que se ven plasmados, y para ello intervinieron todos aquellos que orientaron las diferentes enseñanzas en mi vida y que fueron moldeando en la educación superior el camino que como profesional se me concedió, muchos de ellos no están aquí, pero a pesar de su ausencia física mi más profundo reconocimiento por su invaluable dedicación.

# AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios, sin cuya presencia no se obtendría resultado alguno, seguidamente a mis padres, Ramón y Regina, que a pesar de no encontrarse físicamente conmigo supieron orientar mi vida por un sendero que permita alcanzar los más altos logros, a mi esposa, Cecilia, é hijos, Ana, José y Jimena, por su apoyo incondicional para la culminación de esta tesis, igualmente el reconocimiento a mi hermano Ramón por todo su categórico apoyo del aspecto previo al desarrollo experimental.

En forma muy especial a mi asesor el Dr. Pablo Aguilar Marín quien con mucha paciencia y tesón supo orientar los estudios que se ven plasmados en esta tesis, así como por su destacada y desinteresada labor dentro del pregrado, porque con su imagen siempre nos contagió la perseverancia, y la humildad del logro.

# INDICE GENERAL

CERTIFICACIÓN DEL ASESOR .....	ii
AVAL APROBACIÓN DEL JURADO EVALUADOR.....	iii
FICHA CATALOGRÁFICA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
INDICE GENERAL.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	xix
CAPITULO I.....	20
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	20
1.1. PLANTEAMIENTO Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA....	20
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
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: General y Específicos....	27
CAPITULO II.....	28
MARCO TEÓRICO.....	28
2.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	28

2.2 CORROSIÓN .....	30
2.2.1 CORROSIÓN ATMOSFÉRICA.....	30
2.2.2 ATMÓSFERAS CORROSIVAS.....	31
2.3. PROCESO DE CORROSIÓN ATMOSFÉRICO DE ACEROS AL CARBONO.....	34
2.3.1. NATURALEZA DE LA CORROSIÓN.....	35
2.3.2. NATURALEZA DE LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN DEL Fe.....	40
2.3.3. MANIFESTACIONES DE LA CORROSIÓN.....	42
2.4. PINTURAS.....	47
2.4.1. RECUBRIMIENTOS MULTICAPA.....	52
2.5. MARCO CONCEPTUAL: .....	53
2.5.1. SISTEMA DE RECUBRIMIENTO-SUSTRATO.....	55
2.5.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUSTRATO.....	55
2.6. DISEÑO DEL SISTEMA DE RECUBRIMIENTO.....	57
2.6.1. IMPRIMACIÓN.....	57
2.6.2. CAPA DE FONDO (INTERMEDIO).....	58
2.6.3. ACABADO.....	58
2.7. TIPOS DE SECADO.....	59
2.7.1. CONCENTRACIÓN DE PIGMENTO EN VOLUMEN (CPV)	59
2.7.2. CONCENTRACIÓN CRÍTICA DE PIGMENTO EN VOLUMEN (CCPV) .....	59
2.7.3. ESPESOR DEL SISTEMA DE RECUBRIMIENTO.....	62

CAPITULO III .....	65
3.1. HIPÓTESIS CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
3.2. VARIABLES É INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN.....	65
3.3. MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	66
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	66
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	68
3.6. ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO.....	68
3.7. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	69
3.7.1. TÉCNICAS Y PROCEDIMIENTOS.....	69
3.7.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS.....	74
3.7.3. UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL.....	74
3.7.4. ESTACIÓN DE ENSAYO DE CORROSIÓN ATMOSFÉRICA CONTENIENDO LAS PALCAS DE ACERO SIN Y CON RECUBIMIENTO DE PINTURA EPÓXICA.....	75
3.7.5. RECOLECCIÓN DE DATOS: REGISTRO FOTOGRAFICO.....	76
3.7.6. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS.....	77
CAPITULO IV.....	78
4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	78
4.1.1. PLACAS DE ACERO SIN PROTECCIÓN ANTICORROSIVA	78
4.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL SUSTRATO CON DOS Y TRES CAPAS DE RECUBRIMIENTO.....	80
4.2. PLACAS DE ACERO CON DOS CAPAS DE RECUBRIMIENTO...	82

4.2.1. PLACAS DE ACERO CON CAPA BASE É INTERMEDIA.....	82
4.2.2. DETALLE DE LA INCISIÓN EN PLACAS DE ACERO CON CAPA BASE É INTERMEDIA .....	85
4.2.3. ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE LAS INCISIONES EN PLACAS DE ACERO CON CAPA BASE É INTERMEDIA.....	88
4.3. PLACAS DE ACERO CON TES CAPAS DE RECUBRIMIENTO...	90
4.3.1. PLACAS DE ACERO CON CAPA BASE, INTERMEDIA Y ACABADO.....	90
4.3.2. DETALLE DE LA INCISIÓN EN PLACAS DE ACERO CON CAPA BASE, INTERMEDIA Y ACABADO.....	93
4.3.3. ANÁLISIS MICROSCÓPICO DE LAS INCISIONES EN PLACAS DE ACERO CON CAPA BASE, INTERMEDIA Y ACABADO.....	95
CAPITULO V.....	100
5.1. CONCLUSIONES.....	100
5.2. RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
ANEXOS.....	107
ANEXO A. Normas técnicas .....	108
A.1- Preparación de superficies. Normas SSPA.....	109
A.2- Normas técnicas empleadas en la evaluación de los recubrimientos Protectores.....	115

## Lista de TABLAS

Tabla 01.	Tipos de atmósferas corrosivas .....	31
Tabla 02.	Categorías de corrosividad atmosférica.....	32
Tabla 03.	Factores que afectan el comportamiento de las atmósferas corrosivas.....	33
Tabla 04.	Humedad relativa (%) promedio mínima y máxima en Chimbote .....	38
Tabla 05.	Entornos típicos atmosféricos y los climas en el Perú.....	39
Tabla 06.	Productos de corrosión del hierro hallados comúnmente en la corrosión atmosférica del acero .....	41
Tabla 07.	Relación de tratamientos superficiales estandarizados.....	56
Tabla 08.	Composición química del acero ASTM 131-01 grado A.....	65
Tabla 09.	Sistema de protección anticorrosivo.....	74
Tabla 10	Ubicación de la estación de exposición.....	75
Tabla 11	Caracterización de sustrato con dos y tres capas de protección	79
Tabla 12.	Grado de oxidación para placas con sistema de protección.....	80
Tabla 13.	Análisis del efecto corrosivo de la atmósfera marina de la bahía de Chimbote-Perú sobre acero ASTM-131-01 grado A como función del tiempo de exposición y el número de capas de recubrimiento epóxico.....	97
Tabla14.	Análisis microscópico de la incisión en Placas con dos y tres capas de recubrimiento epóxico, según su tiempo de exposición	9

## Lista de figuras

Figura N°01. Aceros al carbono.....	29
Figura N°02. Celda de corrosión.....	35
Figura N°03. Flujo de corriente en una celda de corrosión.....	37
Figura N°04. Productos de la corrosión en función al tiempo en ambientes marinos.....	42
Figura N°05. Ataque producido por una gota de agua salada.....	43
Figura N°06. Sentido del flujo de electrones y del flujo convencional de la corriente eléctrica en una celda de corrosión.....	45
Figura N°07. Velocidad de corrosión vs espesor de película de Humedad.....	46
Figura N°08. Comportamiento de una pintura al variar el CPV.....	60
Figura N°09. Efecto del CPV en distintos tipos de pintura.....	60
Figura N°10. Cambio en las propiedades de un recubrimiento al cambiar la concentración del pigmento.....	61
Figura N°11. Ilustración del porcentaje del volumen en sólido de una pintura.....	63
Figura N°12. Efectos de los pigmentos en las propiedades de las Pinturas .....	64
Figura N°13. a) Placa de acero con pintura base.....	67
Figura N°13. b) Placa de acero con pintura base y capa intermedia.....	67
Figura N°14. Estructura de madera (bastidor) para exposición.....	70
Figura N°15 a) Plancha de acero sin cortar, previo al arenado.....	70





meses de exposición.....	80
Figura N°27 Grupo de Placas con capa base é intermedia ubicadas, según el tiempo de exposición de 3, 6 y 9 meses, respectivamente.....	82
Figura N°28 a) Placa de acero con dos capas de protección retirada a los 3 meses de exposición.....	83
Figura N°28 b) Placa de acero con dos capas de protección retirada a los 6 meses de exposición.....	83
Figura N°29 a) Placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 9 meses de exposición .....	84
Figura N°29 b) Detalle de la zona con corrosión de la Placa de acero con capa base e intermedia retirada a los 12 meses de exposición.....	84
Figura N°30 a) Detalle de la zona con corrosión de la Placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 15 meses de exposición.....	84
Figura N°30 b) Detalle de la zona de incisión, 15 meses de exposición.....	84
Figura N°31 Incisión sobre una placa de acero con capa base é intermedia y 3 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina.....	86
Figura N°32 Incisión sobre una placa de acero con capa base é intermedia y 6 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina.....	86
Figura N°33 Incisión sobre una placa de acero con capa base é intermedia y 9 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina.....	87
Figura N°34 Incisión sobre una placa de acero con capa base é intermedia y 6 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina.....	87
Figura N°33 a) Placa de acero con capa base, intermedia y acabado	

Figura N°35 Incisión sobre una placa de acero con capa base é intermedia y 15 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina.....	88
Figura N°36 a) Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 6 meses de exposición .....	89
Figura N°36 b) Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 6 meses de exposición .....	89
Figura N°37 a) Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 15 meses de exposición (corrosión filiforme).....	89
Figura N°37 b) Imagen de acercamiento con microscopio digital Placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 15 meses de exposición (delaminación).....	89
Figura N°38 Imagen de acercamiento con microscopio digital Placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 15 meses de exposición (ampollamiento... ..	90
Figura N°39 Grupo de placas de acero con capa base, intermedia y acabado, ubicadas según el tiempo de exposición.....	91
Figura N°40 a) Placa de acero con capa base, intermedia y acabado retirada a los 3 meses de exposición.....	91
Figura N°40 b) Placa de acero con capa base, intermedia y acabado retirada a los 6 meses de exposición.....	91
Figura N°41 Incisión sobre placa de acero con capa base, intermedia y acabado con 9 meses de exposición .....	92
Figura N°41 a) Placa de acero con capa base, intermedia y acabado retirada a los 12 meses de exposición.....	92

Figura N°42 Incisión sobre placa de acero con capa base, intermedia y acabado con 15 meses de exposición .....	92
Figura N°43. Incisión sobre una placa de acero con capa base, intermedia y acabado, y 3 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina.....	93
Figura N°44 Incisión sobre una placa de acero con capa base, intermedia y acabado, y 6 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina.....	93
Figura N°45 Incisión sobre una placa de acero con capa base, intermedia y acabado, y 9 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina.....	94
Figura N°46 Incisión sobre una placa de acero con capa base, intermedia y acabado, y 12 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina.....	94
Figura N°47 Incisión sobre una placa de acero con capa base, intermedia y acabado, y 15 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina.....	95
Figura N°48 Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con capa base, intermedia y acabado, retirada a los 15 meses de exposición, (corrosión filiforme).....	96
Figura N°49 a) Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con capa base, intermedia y acabado, retirada a los 15 meses de exposición (socavamiento).....	96
Figura N°49 b) Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con capa base, intermedia y acabado, retirada a los 15 meses de exposición, (corrosión filiforme).....	96

## RESUMEN

La corrosión de la atmosférica marina representa un factor de deterioro crítico para estructuras metálicas expuestas a la intemperie en zonas costeras. El presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar el comportamiento de un sistema de protección anticorrosiva compuesto de recubrimientos epóxicos de alto contenido de sólidos en volumen (50-82%), como protección del acero estructural ASTM-131-01 grado A, que se utiliza en el sector naval. Se expuso a la atmósfera marina de la bahía de Chimbote, Perú, a 197 metros del mar y durante 15 meses, 48 placas de acero ASTM-131-01 grado A, de dimensiones 150x100x1,5 mm, recubiertas con pinturas epóxicas. Las placas de acero fueron preparadas siguiendo las indicaciones de la norma internacional ISO 9226. A un grupo de placas se les aplicó dos capas de pintura (base + acabado) con un espesor total de 226  $\mu\text{m}$ . A otro grupo se les aplicó tres capas de pintura (base+ intermedia + acabado) alcanzando un espesor total de 487  $\mu\text{m}$ . En la parte inferior de las placas recubiertas se practicó una incisión horizontal de 0.5 mm de ancho removiendo la pintura y dejando descubierto la placa de acero. La acción corrosiva de la atmósfera marina fue monitoreada cada tres meses retirando grupos de placas para su análisis en el laboratorio. Se evaluó visualmente y con microscopía óptica la evolución del fenómeno corrosivo y el comportamiento de la pintura epóxica, tanto en la superficie de las placas como en las incisiones. Los resultados demostraron que el sistema de protección anticorrosiva constituido por tres capas ofreció la mejor preservación del sustrato. En contraste, el grupo de dos capas mostró corrosión y agrietamiento con pérdida de la capa protectora. El análisis final, respaldado por la aplicación de diversas normativas ISO 4628-3, 4628-4, y 4628-8:2005, confirmaron que el sistema de tres capas de recubrimiento presentó el mejor comportamiento frente a los efectos de la corrosión atmosférica marina en la Bahía de Chimbote, Perú.

Palabras clave: Corrosión atmosférica marina, recubrimientos epóxicos, acero estructural, corrosión filiforme,

## ABSTRACT

Marine atmospheric corrosion represents a critical deterioration factor for metallic structures exposed to the elements in coastal areas. The main objective of this study was to evaluate the performance of an anticorrosive protection system composed of high-solids epoxy coatings (50–82% solids by volume) for the protection of ASTM-131-01 Grade A structural steel used in the naval sector. Forty-eight ASTM-131-01 Grade A steel plates, measuring 150 × 100 × 1.5 mm and coated with epoxy paints, were exposed to the marine atmosphere of Chimbote Bay, Peru, at 197 meters from the sea for 15 months. The steel plates were prepared according to the international standard ISO 9226. Two coats of paint (primer + topcoat) were applied to a group of plates, resulting in a total thickness of 226 µm. Another group was given three coats of paint (primer + intermediate + topcoat), achieving a total thickness of 487 µm. At the bottom of the coated plates, a 0.5 mm-wide horizontal incision was made, removing the paint and exposing the steel substrate. The corrosive action of the marine atmosphere was monitored every three months by removing groups of plates for laboratory analysis. The evolution of the corrosive phenomenon and the behavior of the epoxy paint were evaluated visually and by optical microscopy, both on the surface of the plates and at the incisions. The results demonstrated that the three-layer anticorrosive protection system provided the best substrate preservation. In contrast, the two-layer group exhibited corrosion and cracking with loss of the protective layer. The final analysis, supported by the application of various ISO 4628-3, 4628-4, and 4628-8:2005 standards, confirmed that the three-layer coating system exhibited the best performance against the effects of marine atmospheric corrosion in Chimbote Bay, Peru.

**Keywords:** Marine atmospheric corrosion, epoxy coatings, structural steel, filiform corrosion,

## INTRODUCCIÓN

La corrosión es un proceso natural, que se puede definir como la degradación de un material a causa de la acción del ambiente en el que está inmerso, transformándose en un compuesto más estable, el cual es un óxido. Esta degradación se debe al resultado de las interacciones del material y el ambiente bajo condiciones de exposición determinadas.

Pueden distinguirse dos tipos de corrosión: Corrosión seca, es cuando el ataque es producido por reacción química, en ausencia de corriente eléctrica, es sensible a la temperatura, en presencia del oxígeno, y corrosión húmeda, la cual es un proceso electroquímico, donde el metal reacciona con su medio ambiente, siendo para ello necesario tres elementos, un ánodo, un cátodo y un medio conductor, que permite el transporte de electrones, en esa medida la zona que emite electrones corresponde a la zona anódica, la cual se oxida rápidamente, provocando el deterioro del material. Es elemental en estos casos la presencia del oxígeno.

La corrosión del acero es extremadamente complicada, con más de una docena de variables que influyen en la velocidad de corrosión. Desde soluciones diluidas hasta potentes ácidos y soluciones salinas, el agua es el disolvente corrosivo más frecuente. La corrosión atmosférica del acero depende del lugar. En los lugares costeros hay ácido sulfúrico, y en el aire cerca del agua hay algo de sal.

Según Schweitzer (2003), la corrosión es más rápida en las zonas industriales debido a la presencia del ácido, y es mayor tanto cerca de las ciudades como del océano debido a la mayor conductividad eléctrica de la lluvia y la tendencia a formar cloruros o sulfatos.

Vázquez (2018), desde una perspectiva globalizada, indica que el costo de la corrosión de los metales se estima en torno al 6% del PBI mundial (un 3% de costos directos y otro 3% de costos indirectos).

La corrosión atmosférica, que será investigada en esta tesis, es el deterioro de los metales causado por la acción de su entorno. En este sentido, incluye como

factores intervinientes la humedad relativa, la temperatura y, en nuestra situación concreta, en la que interactúa con una atmósfera marina, la presencia del viento marino con su alto contenido en cloruros en el aire, que, al depositarse sobre la superficie metálica, facilita la corrosión.

Existe la necesidad de proteger a las superficies metálicas de la acción de la corrosión. En la medida que, para ese proceso son necesarios tres elementos básicos: un metal capaz de ceder electrones a fin de tornarse más estable, una sustancia capaz de atrapar los electrones liberados (oxígeno), y el agua, como medio capaz de transportar los iones producidos.

Dentro de los medios sugeridos para establecer la protección están aquellos que impiden el contacto entre el sustrato metálico y el medio agresivo, es allí donde podemos ubicar a los recubrimientos orgánicos y dentro de ellos a las pinturas.

Schweitzer (2006), menciona que las imprimaciones y las capas de acabado son dos tipos de pintura. Las imprimaciones se aplican directamente sobre la superficie metálica. Incluyen pigmentos de zinc y sirven principalmente para proteger contra la corrosión. Sobre la imprimación se aplican capas de acabado para mejorar el aspecto de la superficie metálica.

El objetivo del presente trabajo fue estudiar la performance de un sistema de protección anticorrosivo, constituido por pinturas epóxicas, aplicadas sobre acero ASTM 131-01 grado A, bajo la acción de una atmósfera marina, dentro de la bahía de Chimbote-Perú. La zona de exposición estuvo caracterizada por su alto porcentaje de humedad relativa (>70%), variaciones de temperatura, proximidad de industrias de la rama pesquera, etc.

El estudio establecido consistió en la variación del número de capas de protección del sistema anticorrosivo, contándose con 12 placas sin protección alguna, 18 con dos capas de protección y finalmente 18 con un sistema constituido por tres capas de protección.



## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 PLANTEAMIENTO Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

##### Fenómeno de la corrosión y medidas de protección

Chimbote, es una ciudad ubicada en el litoral peruano, dentro de la sub región Pacífico, perteneciente a la Región Chavín, es conocida también como la Bahía del Ferrol, tiene como límite por el Oeste al Océano Pacífico, presenta una temperatura que varía entre 32°C en el mes de Febrero y 14°C en el mes de Julio, contando con un promedio de 23°C. Es la capital de la provincia del Santa, constituyendo la mayor extensión dentro la subregión Pacífico, es característica su humedad relativa que varía entre 92% como máximo y 72% como mínimo, durante el invierno presenta neblinas de hasta 400 m, y las velocidades del viento son constantes durante todo el año y varían entre 24 y 30 km/h presentando una garúa persistente en invierno y precipitaciones pluviales en verano.

Según la ONG Natura (2013), dentro de las actividades económicas prioritarias en Chimbote está la industria pesquera, con la producción de conservas, harina y aceite de pescado, también cuenta con la industria metal mecánica (SIMA), y la industria siderúrgica (SIDERPERÚ). En el primer caso los deshechos son vertidos al mar, provocando la contaminación del medio ambiente, el cual, con la variación de la temperatura, y la alta humedad relativa, provocan el proceso de corrosión atmosférica en forma de pequeñas gotas de agua que se impregnan de las superficies metálicas, igualmente dentro de la industria metalúrgica y metal mecánica. De todos los agentes contaminantes del aire de Chimbote el parque automotor ocupa el primer lugar con un 52% de emisiones de dióxido de azufre. Se estima que más de 5 mil unidades de transporte público circulan en la provincia.

De acuerdo a la revista Conecta Industria (2019), la corrosión se define como el proceso natural por el cual los metales se degradan y regresan a su forma original, es decir, se convierten en minerales (óxidos). Este proceso está influenciado por muchos **factores como pueden ser la temperatura, humedad, radiación solar,**

**partículas contaminantes, pH**, etc. y otros como la homogeneidad de la microestructura del material, la presencia de óxidos e inclusiones, grietas o defectos superficiales, etc.

Chico, et al (1998) menciona que es conocido el importante papel de los contaminantes presentes en la atmósfera en la corrosión de los metales expuestos a ella. De particular interés, por su presencia muy común, son el  $\text{SO}_2$  y el  $\text{NaCl}$  (Chico, et al; 1998).

Según Santana (1999), se puede definir la *corrosión* como un proceso mediante el cual el metal vuelve a su estado natural y que corresponde a una oxidación y representa la conversión paulatina del metal en sus formas combinadas.

De acuerdo a Gil (1982), dentro de los diversos tipos de corrosión, la *corrosión atmosférica* es la más importante en cuanto a las pérdidas económicas que ésta genera, y uno de los procesos más estudiados ya que alrededor de un 80% de las instalaciones industriales se explotan bajo la acción directa de la atmósfera.

La característica atmosférica más importante que se relaciona directamente con el proceso de corrosión es la humedad (Avila, 2005), pues al formarse una delgada capa sobre el metal, acelera la velocidad de corrosión (Santana, 1999), sin embargo de acuerdo a Paredes (2018), también ejerce influencia la contaminación atmosférica, dentro de los que encontramos como principales contaminantes a las partículas suspendidas, dióxido de nitrógeno y dióxido de azufre, éste último en Chimbote, se encontró una concentración de  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La revista Físicanet (2008), sostiene que ante el ataque que el fenómeno de corrosión provoca en los metales se han diseñado un conjunto de sistemas de protección dentro de los que destacan:

- 1.- Uso de materiales de gran pureza
- 2.- Presencia de elementos de adición en aleaciones, ejemplo aceros inoxidables.
- 3.-Tratamientos térmicos especiales para homogeneizar soluciones sólidas, como el alivio de tensiones.
- 4.- Inhibidores que se adicionan a soluciones corrosivas para disminuir sus efectos, ejemplo los anticoagulantes usados en radiadores de los automóviles.
- 5.- Recubrimiento superficial: pinturas, capas de óxido, recubrimientos metálicos.

En el trabajo desarrollado, se optó por la última alternativa de las antes mencionadas, haciendo uso de pinturas epóxicas.

En la Revista Construmática (2020), cuando trata acerca de recubrimientos protectores, denomina Pintura Epóxica a aquella de alta resistencia a diferentes ataques, son utilizadas como sistemas de protección de larga duración sobre acero estructural, y hormigón. La Pintura Epoxi se presenta en dos envases: está compuesta por una parte que contiene la resina Epoxi y en otra parte el endurecedor. Su secado se produce posteriormente a la reacción química entre los 2 compuestos, al evaporarse el disolvente.

Para nuestro caso se emplearon 48 placas de acero recubiertas de pintura de secado por reacción química, específicamente epóxicas, en número de dos y tres capas de recubrimiento respectivamente, las cuales fueron expuestas al medio ambiente durante quince meses.

## **1.2 Antecedentes de investigación**

Chico (1998), indica que el tiempo de humectación de la superficie del metal fluctúa con la temperatura en el caso de corrosión atmosférica, por lo tanto, el resultado final dependerá no solo de la cinética de los procesos electroquímicos, sino también de la duración del contacto electrolito-metal.

Morcillo (2015), afirma sobre la necesidad de conocer el comportamiento de la corrosión atmosférica marina, centraliza su estudio en los mecanismos de corrosión de los aceros al carbono en ambientes marinos.

Alcántara (2018), también sugiere que se han dedicado importantes esfuerzos para investigar la corrosión de los metales en entornos naturales. En consecuencia, se conoce bien la importancia de numerosos factores climáticos (como la temperatura, la humedad relativa, las precipitaciones, etc) y de las variables contaminantes del aire en la corrosión atmosférica. No obstante, dado el gran aumento de la velocidad de corrosión del acero en emplazamientos marítimos en comparación con una atmósfera libre de contaminación, no es de extrañar que la acción de los cloruros marinos haya recibido poca atención por parte de los investigadores hasta hace relativamente poco.

Guerra (2014), en su trabajo sobre corrosión atmosférica en el norte del Perú, en instalaciones petroleras, evaluó el comportamiento de los aceros ASTM A36, y AISI/SAE 1020, concluyendo que la corrosión atmosférica es causada por la acción del oxígeno atmosférico e influenciado por la humedad, salinidad ambiental, por la capacidad del viento para transportar la brisa del mar al continente y polución sólida, así también indicó que la corrosión es influenciada por los cloruros de una manera polinómicas para los tipos de metal evaluados. Asimismo, se concluye que los gases contaminantes como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_2$ , no influyen en los fenómenos de corrosión. Las áreas próximas al mar y de libre circulación del viento favorecen la corrosión atmosférica y son categorizadas como ambientes de corrosión alta, categoría C4, para acero AISI/SAE 1020 y corrosión media, categoría C3, para acero ASTM A36.

Alcántara (2019), sostiene que, debido a la relevancia para la civilización, la corrosión atmosférica en las zonas costeras es un tema particularmente apremiante. Las regiones albergan a casi la mitad de la población mundial, y la industrialización en los países industrializados tiende a concentrar los sitios de fabricación a lo largo de la costa.

Gnuyen & Martin (2004), hicieron un estudio para una mejor comprensión de los modos y mecanismos del fenómeno de corrosión del acero recubierto con epoxi, y sometido a un entorno de hormigón marino, resultando que aquellas muestras sometidas a una solución de hidróxido de calcio saturado, sin incisión presentaron una pérdida de adherencia inducida por el agua, pero aquellas muestras que presentaron incisión tuvieron ampollas anódicas cerca de la incisión y delaminación alrededor de las ampollas anódicas. Estas últimas fueron atribuidas a la reacción catódica alcalina, siendo que *su pérdida de adherencia se debió a la presencia de una capa de agua en la interfaz recubrimiento/acero.*

Carrero (2018), en su trabajo sobre recubrimientos orgánicos aplicados a aceros tipo ASTM A131, luego de 1000 horas de exposición en una cámara de niebla salina, presentaron un comportamiento excelente, evitándose el ampollamiento y la

degradación del material, tal que los recubrimientos cumplieron con su función protectora, fortaleciendo el control contra la corrosión.

Guzmán (2010), realizó ensayos acelerados de corrosión atmosférica, haciendo uso de recubrimientos epóxicos con alto contenido de sólidos en volumen.

Ayllón (1986), obtuvo información sobre placas de acero tipo SAE 1010 expuestas a la corrosión atmosférica, en comparación con las placas control sin dicha protección, encontrando una mayor diferencia, acentuada con el tiempo, provocada por el aumento de espesor de las muestras sin protección en el reverso y cantos, que se acompañó de una fragilidad inesperada.

Santos, et al. (2005), realizaron estudio con cuatro sistemas de pinturas, sobre acero. Los sistemas investigados usaron imprimaciones ricas en zinc, dos usaron intermedios de epoxi/poliamida, uno usó epoxi/poliamida sin intermedios ni solvente, y dos usaron combinaciones de capas finales de acrílico y poliuretano. Sus hallazgos para una exposición natural en un sistema de corrosión marina muy alta (>C5), demostró que el rico en zinc se desempeñó mejor de los sistemas probados.

Bringas (2015), en su estudio para evaluar los recubrimientos orgánicos aplicados en acero estructural A36 las variables que influyen en la protección de sustratos de aceros al carbono.

Según Guerra (2014) en una investigación sobre corrosión atmosférica en instalaciones petroleras del norte de Perú, un ambiente marino está cargado de partículas de niebla que contienen sales disueltas. Estas pequeñas partículas de humedad son transportadas por el viento y se depositan en las superficies expuestas. Las sales cristalizan a temperaturas específicas. La cantidad de sal depositada varía con la velocidad del viento, la velocidad puede producir una costra de sal muy cáustica en condiciones climáticas. Si nos alejamos del mar, la cantidad de contaminación disminuye y está fuertemente influenciada por las corrientes de viento, la temperatura ambiente y la humedad.

López (2020), en su trabajo de investigación presenta el diseño de un sistema de protección con pintura contra la corrosión de estructuras metálicas en la ciudad de

Piura, caracterizado por usar epóxicos de alta resistencia y pigmentos en base de zinc con el fin de evitar la corrosión. Dado que la corrosión puede ser definida como la tendencia general de un material a buscar su forma con una energía interna más estable o más baja, se constituye en un efecto secundario producido por la oxidación. La tasa de corrosión que se forma dependerá en cierta medida de la temperatura, así como de la salinidad, el fluido en contacto con el metal y las propiedades de los metales en cuestión. Asegura que se debe tener en cuenta los factores ambientales a los que estará expuesta la estructura, para poder plantear un sistema óptimo para dicho ambiente.

Igualmente, a nivel nacional contamos con algunos estudios dentro del que se destaca Efecto de la corrosividad de la atmósfera de la costa norte media peruana sobre metales y recubrimientos orgánicos (Aguilar, 2005), donde se describe los resultados de estudios para la determinación de la corrosividad atmosférica de la ciudad de Trujillo y de la costa norte media peruana y sobre la evaluación de la performance de dos recubrimientos epóxicos.

### **1.3 Formulación del problema de investigación**

¿Cuál es el comportamiento anticorrosivo de un sistema de pintura epóxica como función del número de capas?

### **1.4 Delimitación del estudio**

En el presente estudio se utilizó un sistema de pintura epóxica como recubrimiento de placas de acero estructural ASTM 131-01 grado A empleado en la construcción de embarcaciones pesqueras y producido por la empresa SIDERPERU. Las muestras fueron expuestas en la Urbanización La Libertad, una estación ubicada a 150m del mar, en la ciudad de Chimbote, Perú.

El sistema de pintura epóxica empleado estuvo constituido por una primera capa base (primer) con alto contenido en sólidos (60%), generando una capa de 190  $\mu\text{m}$ , una capa intermedia con un 82% de concentración en sólidos, que genera una capa de 127  $\mu\text{m}$  y una tercera capa de acabado con 50% de concentración en sólidos, que genera una capa de 63  $\mu\text{m}$ .

Teniendo en cuenta la norma ISO 12944-5, sobre el uso de sistemas de pinturas, y donde se clasifican las corrosividades atmosféricas, siendo que la corrosividad estudiada es del orden C5M muy alta (marina), es que para el sistema de protección anticorrosivo se hizo uso de la pintura de la marca Zodiac, pinturas del tipo epóxico poliamida, con dos componentes, la decisión asumida fue por ser consideradas las de mayor aceptación dentro del ambiente laboral marino de la ciudad de Chimbote.

Las muestras estudiadas fueron en un total de 48, placas de dimensiones 15 cm x 10 cm x 0,03 cm, tal cual lo indicado en la norma ISO 9226:2012. Estuvieron divididas en 3 grupos.

### **1.5 Justificación é importancia de la investigación**

Según Cayuela (1999), cuando los buques entran en dique seco, para llevar a cabo operaciones diversas de mantenimiento en casco y fondos, se observan a menudo un gran número de ampollas en diferentes zonas de la pintura. Aunque varias pueden ser las causas responsables de este tipo de deterioro, la ósmosis es una de las más frecuentes. Las pinturas marinas 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 la formación de ampollas por procesos osmóticos.

El puerto de Chimbote, tradicionalmente pesquero, no escapa al fenómeno de la corrosión, y particularmente a la de tipo atmosférica, esto puede verificarse en la gran cantidad de embarcaciones pesqueras que requieren de un constante y costoso mantenimiento para encontrarse en condiciones de operatividad, en forma similar sucede con aquellas estructuras metálicas que por su cercanía al mar se ven rápidamente afectadas por el fenómeno de la corrosión, el cual en el tipo marino, básicamente es atribuido a la concentración de cloruro de sodio en el agua de mar a 835 000 mg/l, lo cual los sitúa en el máximo nivel corrosivo. En este contexto, el presente análisis busca contrastar el comportamiento frente a la corrosión atmosférica marina de los sistemas de protección con tres capas de

pinturas en comparación con aquellos sistemas de protección que utilizan únicamente dos capas de pintura, o aquellos que no tienen ninguna.

Teniendo en cuenta que las repercusiones de la corrosión son diversas, que van desde instalaciones portuarias, embarcaciones pesqueras, estructuras metálicas en fábricas, protectores de metal, calderos, entre otros, todo esto genera grandes pérdidas no solo en la degradación de las estructuras, sino también en el alto costo de su mantenimiento. Por esta razón, el objetivo de este estudio es reducir la influencia de la atmósfera marina predominante en la ciudad de Chimbote.

## **1.6 Objetivos de la investigación: General y específicos**

### **a) OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el comportamiento anticorrosivo de recubrimientos epóxicos aplicados al acero ASTM 131-01 grado A, en la atmósfera marina de Chimbote-Perú.

### **b) OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

-Analizar el comportamiento de 48 muestras de acero al carbono, expuestas dentro de una atmósfera marina, divididas en tres grupos:

- 12 muestras sin protección anticorrosiva
- 18 muestras con un sistema de protección de dos capas de pintura anticorrosiva.
- 18 muestras con un sistema de protección de tres capas de pintura anticorrosiva.

- Comprobar el impacto de la corrosión atmosférica según el período de exposición.

-Evaluar el sistema de protección anticorrosivo constituido por tres capas de recubrimiento de pintura epóxica, en función al tiempo de exposición.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.-Fundamentos teóricos de la investigación**

##### **Aceros**

El acero se compone de hierro, un porcentaje de carbono y pequeñas cantidades de otros elementos como silicio, manganeso y cromo. Por sus diversas cualidades, esta sustancia es una de las más utilizadas en el mundo para diversos usos.

Los aceros según su composición, poseen dentro de sus elementos constitutivos al hierro y carbono, de allí que pueden ser clasificados, de acuerdo a este criterio, en tres grandes grupos:

Al carbono (no aleado)

De bajo carbono ( $<0,2\%C$ )

De medio carbono ( $0,2-0,5\%C$ )

De alto carbono ( $>0,5\%C$ )

En la figura 1 se presenta la clasificación de los aceros, atendiendo a su concentración de carbono, composición y microestructura.

Situación que podemos verificar en la figura 01

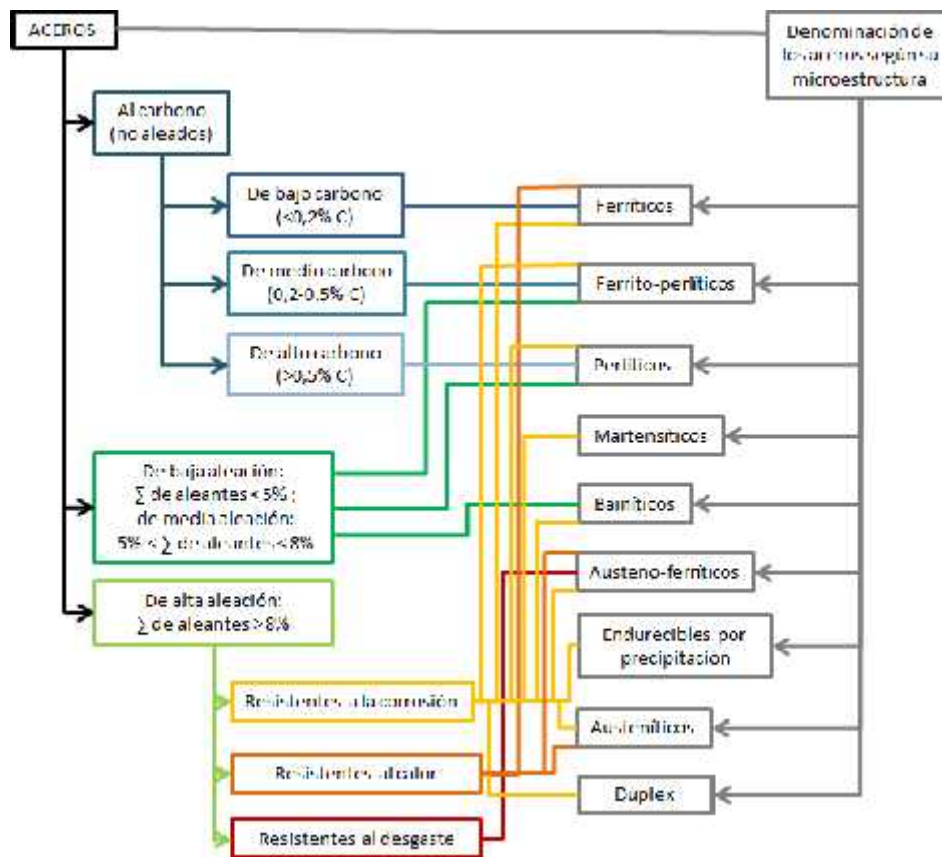


Figura 1. Aceros al carbono. Se muestran la clasificación de los aceros al carbono según su composición y estructura (Molina Pérez, 2011).

*Aceros de bajo porcentaje de carbono.*- Los aceros con menos del 0,25% de carbono se denominan "dulces" o "ferrosos". Son dúctiles, maleables, manipulables y soldables en general, y no responden al tratamiento térmico de temple. Se calientan ligeramente a bajas temperaturas o tienen un espesor superior a 25 mm. Se emplean en la fabricación de perfiles estructurales, alambres, clavos, tornillos y barras, entre otros.

*Aceros de porcentaje medio de carbono.*- En este caso el carbono está presente en concentraciones significativamente mayores en los aceros con un porcentaje de carbono medio: exactamente, entre el 0,25% y el 0,55%. Pueden endurecerse hasta cierto punto, son más resistentes y duros, pero también más difíciles de soldar. Se utilizan para fabricar ejes de automóviles de alta calidad, máquinas, muelles, engranajes, equipos agrícolas, cables y alambres, y vías férreas.

*Aceros de alto porcentaje de carbono.*- Los aceros que tienen un contenido de carbono superior al 51%, son más duros y resistentes que los anteriores, y tienen una composición endurecedora superior. Su soldabilidad, sin embargo, es tan deficiente que ya no se sueldan.

Se utilizan para fabricar brocas, cintas de sierra, muelles, discos de arado, cuchillas de torno, limas y otros equipos de corte y mecanizado.

## **2.2.-CORROSIÓN**

La corrosión puede clasificarse según su forma (uniforme y localizada) y según el medio (química y electroquímica). Es de nuestro interés la primera clasificación, uniforme o general, donde la corrosión provoca el adelgazamiento del objeto, por pérdida del metal superficial, es la más perjudicial, en la medida que induce el deterioro de casi todo el metal. Esta a su vez comprende: la corrosión atmosférica, galvánica, metales líquidos y de alta temperatura. Dentro de esta clasificación se hará hincapié en aquella corrosión que depende de los agentes corrosivos presentes en la atmósfera, el oxígeno, dióxido de carbono, agua, cloro, azufre, etc. Me refiero a la corrosión atmosférica.

### **2.2.1.-CORROSIÓN ATMOSFÉRICA**

Es un proceso de naturaleza electroquímica, su principal característica es la existencia de un proceso anódico y catódico con un electrolito de resistencia óhmica especificada. El electrolito lo constituye una película de humedad sumamente delgada o una película acuosa, tal que el metal aparece mojado. Este tipo de corrosión se divide según el tipo de atmósfera corrosiva al que se ve sometido un metal, en ese sentido tenemos el tipo de corrosión atmosférica en un ambiente industrial, marino, rural o interior, como se muestra en la tabla 1.

### 2.2.2.- ATMÓSFERAS CORROSIVAS

Podemos ubicar hasta cuatro tipos de atmósferas corrosivas:

Tabla 1 Tipos de atmósferas corrosivas

TIPO DE ATMÓSFERA	CARACTERÍSTICAS	OBSERVACIONES
Industrial	Presencia de óxidos de nitrógeno, sulfuros, dióxido de azufre.	El ácido sulfúrico es depositado sobre superficies expuestas. Al combinarse el rocío y la niebla junto con contaminantes industriales, se tornan corrosivos
Marina	Presencia de sal marina, la cual es transportada por el viento hasta las superficies expuestas	Decrece su concentración conforme la zona de exposición se aleja del océano. Influencia las corrientes de viento.
Rural	Presenta polvos orgánicos é inorgánicos	Se activa debido a la alta temperatura promedio, humedad relativa alta, radiación solar y largos períodos de condensación.
Interior	Posible existencia de humos, combinada con la condensación o alta húmeda, se torna altamente corrosivo	Si no existe ventilación, debe considerarse que los materiales alcalinos también pueden ser corrosivos.

Esta descripción conlleva a la formulación de categorías de corrosividad atmosférica, las cuales según la norma ISO 9223-2012, se pueden clasificar de la siguiente manera, como se aprecia en la tabla N°2

**Tabla 2** Categorías de corrosividad atmosférica (ISO 9223-2012)

Categoría de corrosividad	Agresividad
C <sub>1</sub>	Muy baja
C <sub>2</sub>	Baja
C <sub>3</sub>	Media
C <sub>4</sub>	Alta
C <sub>5</sub>	Muy alta
C <sub>x</sub>	Extrema

Debe considerarse, que, de acuerdo a los estudios realizados para las diferentes categorías de corrosividad, esta norma, puntualiza los resultados obtenidos para comportamientos de corrosividad mayores a la categoría C<sub>5</sub>.

Como ha sido descrito líneas arriba, el proceso de corrosión atmosférica se desarrolla en la presencia de tres elementos que le son básicos, dentro de ellos se encuentran los factores medio ambientales. Estos influyen en gran medida dentro de la formación de la capa húmeda que finalmente favorece la corrosión, así tenemos la influencia de la lluvia, rocío, la humedad relativa, la variación de la temperatura, la salinidad atmosférica, la predominante dirección del viento, el aerosol marino, muy ligado con la salinidad y los contaminantes del medio ambiente. Esta descripción se presenta en la tabla 3, dando a conocer la influencia de estos factores descritos.

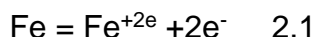
**Tabla 3** Factores que afectan el comportamiento de las atmósferas corrosivas

FACTORES	CARACTERÍSTICAS
Lluvia	Tiene un efecto doble, por un lado lava los contaminantes, pero si se deposita en las imperfecciones de la superficie, acelera el proceso de corrosión
Rocío y condensación	Si se combina con sal marina, ácidos de azufre, y ácido clorhídrico provocan la presencia de un electrolito que favorece la corrosión.  La condensación, para zonas tropicales, atrapa el dióxido de carbono, siendo similar al comportamiento de un ácido
Humedad relativa	Es uno de los factores más importantes, dependerá de la frecuencia y duración de la lluvia, rocío y niebla, para los cuales las superficies metálicas aparecen expuestas favoreciéndose la corrosión.
Temperatura	Al incrementarse, aumenta la velocidad de las reacciones electroquímicas, tal que entre 0 a 25°C, ocurre la mayor oxidación, acelerándose la evaporación de la humedad, descendiendo la concentración de oxígeno.
Salinidad atmosférica	Se establece una relación directa entre la concentración de mg Cl/m <sup>2</sup> día y la velocidad de corrosión, esto influenciado por el viento que transporta la brisa marina.
Viento	De acuerdo a la dirección y velocidad, afectan a la superficie metálica, dispersando los contaminantes en el aire y si se encuentran cerca del mar suele ser más agresivo, combinado con SO <sub>2</sub> como contaminante industrial.

### 2.3.- PROCESO DE CORROSIÓN ATMOSFÉRICA DE ACEROS AL CARBONO

Las superficies metálicas expuestas a condiciones ambientales cercanas al mar, tienden a formar una capa de agua sobre la superficie del metal, producto de la alta humedad relativa (>70%) y su cercanía al mar provoca la influencia del aerosol marino, el que debido al incremento de la temperatura desencadena la evaporación del agua, dejando una alta concentración de sal sobre la superficie metálica, esto trae como consecuencia la formación de *zonas anódicas*, resultando posteriormente en un estado de corrosión, es en estas zonas donde el Fe libera  $2e^-$ . En la medida que los metales tienden a volver a su estado original, buscan alcanzar un estado de menor potencial energético. El proceso antes descrito viene a ser la formación de *celdas de corrosión*.

Así tenemos el caso del Fe disuelto en iones provoca que se incremente su estado de oxidación de 0 a +2, perdiendo electrones tal como una carga en exceso en el metal, produciéndose la siguiente reacción:



Al analizar el otro electrodo, se puede apreciar que los electrones producidos son absorbidos por una reacción complementaria generada en la misma superficie, así tenemos:



Esta situación provoca que el estado de oxidación del oxígeno se reduzca de 0 a -2, en el ión hidróxilo.

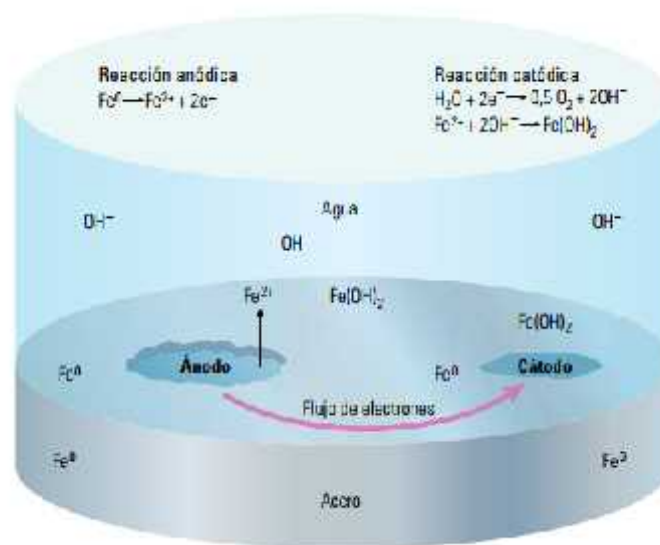
Al establecer el balance de las ecuaciones 2.1 y 2.2, se observa la producción de iones  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{OH}^-$ , lo cual provoca una precipitación de hidróxido ferroso  $\text{Fe}(\text{OH})_2$



Sumando las tres ecuaciones, tenemos:



Situación que puede ser apreciada en la figura N°02.



**Figura 2.** Celda de corrosión. Se aprecia cómo el Fe pierde 2e, los cuales a través del electrolito se desplazan hacia el cátodo, y al reaccionar con el agua forman iones hidroxilo. (Asrar & Mc Kay, 2016)

Es importante resaltar que durante el todo el día la superficie del metal experimenta la acción de la variación de la temperatura, lo cual implica la variación de la capa de agua, entonces el proceso de corrosión dependerá del tiempo en que dicha capa se encuentre en contacto con la superficie metálica.

La cercanía al mar provoca la influencia de las sales marinas (cloruro de sodio), y siendo Chimbote una zona industrial metal-mecánica, no está exenta de la presencia de sulfuros, ambos elementos aceleran el proceso de corrosión.

### 2.3.1.-NATURALEZA DE LA CORROSIÓN

El mecanismo de corrosión es electroquímico, la característica importante es la ocurrencia de un proceso anódico y catódico con un electrolito de determinada resistencia óhmica. El proceso de corrosión se estimula en presencia de un medio acuoso, y en nuestra situación, las muestras fueron expuestas en un ambiente extremadamente cercano al mar, por lo que se convirtió en un proceso electroquímico. Para que ocurra este tipo de corrosión debe existir la presencia de tres elementos: una zona anódica (que se corroe), una zona catódica y un electrolito. Deben estar presentes los tres componentes, así como un enlace eléctrico entre las dos zonas.



El **ánodo**, se constituyó en aquella porción de superficie metálica en la que tuvo lugar la corrosión (disolución) y donde se liberaron electrones como consecuencia del paso del metal en forma de iones, al electrolito. La reacción que sucede en el ánodo, por ejemplo, para el caso del cinc, es:



o sea, una reacción de oxidación.

En un conductor metálico, los electrones se mueven en sentido opuesto al convencional, en el ánodo la corriente eléctrica sale del metal para entrar a la solución (figura 1).

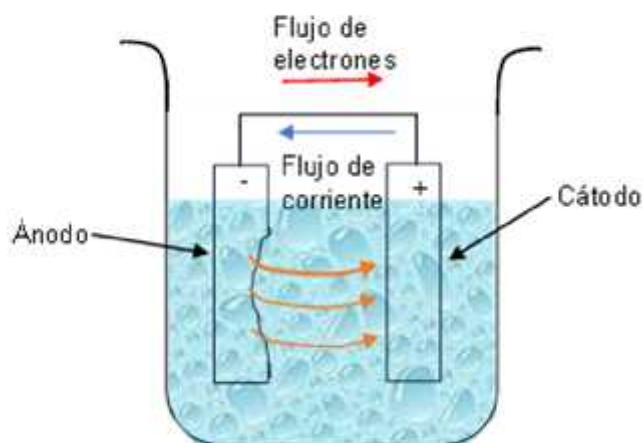
El **cátodo** es parte de una superficie metálica en donde los electrones producidos en el ánodo se combinan con los iones presentes en el electrolito.

Las reacciones catódicas más comunes en presencia de agua son:



o sea, reacciones de reducción.

En el cátodo, la corriente eléctrica sale del electrolito para entrar al metal (figura 3), cerrándose el circuito eléctrico a través de un conductor metálico externo.



**Figura 3.** Representación esquemática del flujo de corriente en una celda de corrosión. Dirección del flujo de corriente entre un ánodo y un cátodo en una celda de corrosión.

Los componentes esenciales se presentan en la figura 3. Las flechas representan corrientes eléctricas (no electrones) fluyendo a la solución desde el ánodo (—) al cátodo (+) y regresando desde el cátodo al ánodo a través de un hilo metálico conductor (pudiendo ser cobre, por ejemplo).

El tipo más común de corrosión es de origen electroquímico y proviene de la producción de una gran cantidad de zonas anódicas y catódicas en la superficie del metal. El electrolito lo constituyó el agua de condensación de la atmósfera, y para ello es necesario que la humedad relativa del aire sea del orden del 70% o superior, condición que se cumple en el caso del ambiente marino de la Bahía del Ferrol, en el cual tenemos la presencia del aerosol marino, combinado con la presencia de fuertes vientos, como se muestra en la tabla N°04.

**Tabla 4** Humedad relativa (%) promedio mínima y máxima en Chimbote

Chimbote (INEI, 2018)			
Año	Prom	Mín	Máx
2010	85	78	92
2011	86	82	89
2012	83	80	87
2013	84	81	86
2014	83	79	89
2015	83	80	87
2016	85	82	92
2017	83	81	85

Existen estudios sobre la corrosión atmosférica dentro del ambiente de la bahía del Ferrol, los cuales hacen ver la influencia de los agentes contaminantes en relación a materiales ferrosos (aceros) de diferente concentración de carbono, en ese sentido afirman que dentro de los factores influyentes se encuentran:

Aire y humedad: causantes de la oxidación y posterior corrosión del acero.

Presencia de ácidos diluidos y soluciones salinas: aumentan la velocidad de oxidación.

Compuestos sulfurados de los humos procedentes de la combustión: intensifican la oxidación.

Por la diferencia de potencial en áreas de un mismo metal, debido a la capa de óxido remanente propia del proceso de laminación del acero o por las diferencias en el oxígeno disuelto en el agua u otro electrolito (Eusebio, 2012).

Chico et al (2005) indican que los niveles de salinidad hasta 50 mg Cl-/m<sup>2</sup>día tienen poca influencia en la velocidad de corrosión del acero, sin embargo, el efecto es ya considerable a salinidades superiores a 100 mg Cl-/m<sup>2</sup>día.

La experiencia ha mostrado ya el importante efecto del SO<sub>2</sub> en la corrosión atmosférica del acero; pasar de 0 a 2 mg SO<sub>3</sub>/dm<sup>2</sup> día, suponía multiplicar por 5 la corrosión del acero

Murga (2018), menciona que la presencia de niebla marina, que está cargada de sales disueltas, es característica de un ambiente marino, ya que estas partículas

finas y cargadas de humedad son transportadas por el viento y depositadas en las superficies expuestas, lo que hace que se forme una capa cristalizada de sales bajo ciertas condiciones de temperatura, facilitando el proceso de corrosión atmosférica marina.

Lo indicado se sustenta mediante la aplicación de la norma ISO 9223:2012, según la cual se tiene una relación entre la corrosividad atmosférica y los entornos climáticos en el Perú. Tal como se aprecia en la tabla 5

**Tabla 5** Entornos típicos atmosféricos y los climas en el Perú (ISO 9223-2012)

Categoría de Corrosividad	Corrosividad	AMBIENTES TÍPICOS	CLIMA DEL PERÚ
		EJEMPLOS AL AIRE LIBRE	
C1	Muy bajo	Zona seca o fría, medio ambiente atmosférico: muy poca intensidad y tiempo de humectación, ejemplo, desiertos, Ártico central / Antártida *Ambiente gélido o de nieve: andes, desde los 5000 a 6768 m.s.n.m.	Ambiente gélido o de nieve: andes, desde los 5000 a 6768 m.s.n.m.
C2	Bajo	zona templada, medio ambiente atmosférico: baja contaminación, ejemplo, zonas rurales, ciudades pequeñas zona seca o frío, con corto tiempo de humectación, por ejemplo, desiertos, zonas subárticas.	Ambiente frío y de tundra: andes, desde los 4000 a 5000 m.s.n.m.
C3	Medio	Zona templada, medio ambiente atmosférico con la contaminación del medio ( $\text{SO}_2$ : $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) o algún efecto de cloruros, por ejemplo, áreas urbanas, las zonas costeras con baja deposición de cloruros zona subtropicales y tropicales, atmósfera con baja contaminación.	Ambiente tropical húmedo: selva baja, desde los 80 a 600 m.s.n.m. *Ambiente tropical húmedo: selva baja, desde los 80 a 600 m.s.n.m.
C4	Alto	Se producen	Ambiente templado subhúmedo: andes, desde los 1000 a 3000 m.s.n.m.

C5	Muy altas	Templado y subtropical zona, ambiente atmosférico: muy alta contaminación ( $\text{SO}_2$ : $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y / o de efecto significativo de cloruros, por ejemplo, zonas industriales, zonas costeras, posiciones protegidas en la costa.	Ambiente subtropical muy húmedo: costa centro-sur, desde los 600 a 1000 m.s.n.m
CX	Extremo	Zona subtropicales y tropicales (muy alto tiempo de humectación), medio ambiente atmosférico con muy alta $\text{SO}_2$ contaminación (mayor que $250 \mu\text{g} / \text{m}^3$ ) incluyendo acompañamiento y factores de producción y / o fuerte efecto de cloruros, áreas industriales, por ejemplo, extremo, las zonas costeras y en alta mar, contacto ocasional con niebla salina.	Ambiente semitropical: costa norte peruana, hasta los 1000 m.s.n.m.

La disolución de un metal en un ácido (por ejemplo, zinc en ácido clorhídrico) es igualmente un proceso electroquímico. La producción de un número infinito de burbujas en la superficie del metal corresponde a la generación de hidrógeno gaseoso,  $\text{H}_2$ , gaseoso, lo que indica la existencia de un número infinito de cátodos, mientras el metal se disuelve en ánodos.

### 2.3.2.- NATURALEZA DE LOS PRODUCTOS DE CORROSIÓN DEL Fe

En el proceso de corrosión del Fe, se producen una serie de productos, según Alcántara (2019), está constituido por un grupo de óxidos, óxidos hidratados, oxihidróxidos, productos que son resultados de la interacción del hierro y el medio ambiente.

Dentro de los oxihidróxidos se encuentran la goethita ( $\text{FeOOH}$ ), lepidocrecita ( $\text{FeOOH}$ ), akaganeita ( $\text{FeOOH}$ ), el óxido ferroso-férrico, magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), y el hidróxido ferroso  $\text{Fe(OH)}_2$ , como se señalan en la tabla N°6.

**Tabla 6** Productos de corrosión del hierro hallados comúnmente en la corrosión atmosférica del acero

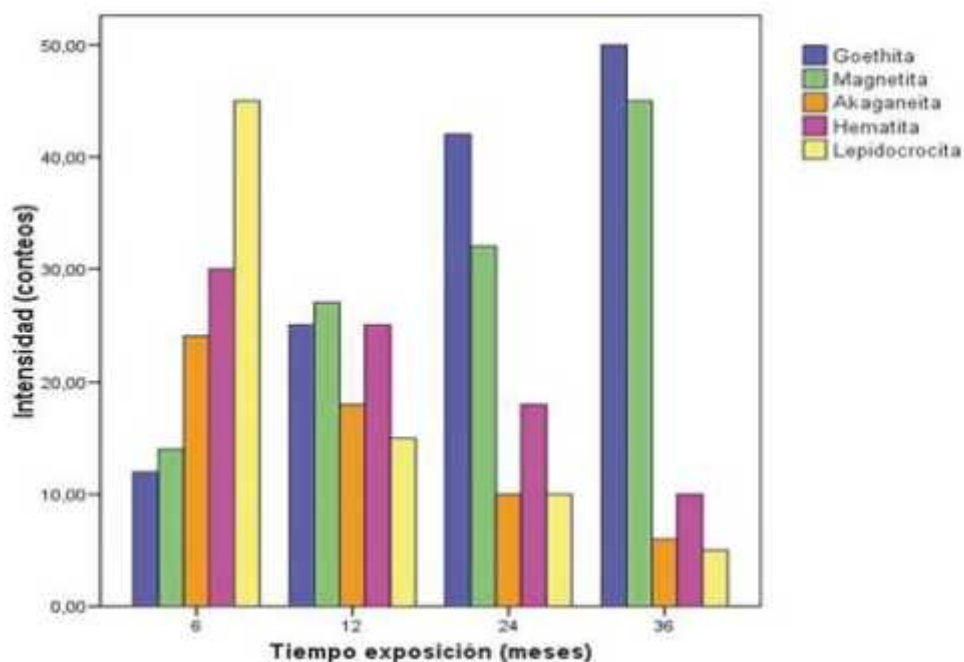
Óxido	Fórmula	Sistema Cristalino	Color
Lepidocrecita	$\text{FeOOH}$	Ortorómbico	Rojo
Goethita	$\text{FeOOH}$	Ortorómbico	Marrón
Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	Cúbico	Negro
Akaganeita	$\text{FeOOH}$	Tetragonal	Naranja
Productos amorfos	$\text{FeOOH}$	Tetragonal	Marrón-rojizo

En la tabla 6 se describen los productos de corrosión del hierro que se van formando, así como sus características morfológicas, conforme las placas de acero se encuentran en contacto con la corrosión atmosférica a través del transcurso del tiempo de exposición.

Si procuramos describir la formación de las películas de corrosión en aceros al carbono, se torna una situación algo compleja, sin embargo, se aprecia que externamente son un tanto porosas, lo cual facilita la penetración de  $\text{O}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  de la atmósfera, favoreciendo la corrosión.

Se puede verificar la presencia de dos capas, una interna, de mayor densidad, cercana a la interfase acero/herrumbre compuesta por  $\text{FeOOH}$  y  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  y una capa externa y porosa constituida por oxihidróxidos cristalinos como la goethita ( $\text{FeOOH}$ ) y lepidocrecita ( $\text{FeOOH}$ ), sin embargo, en atmósferas marinas es común la formación de akaganeita y magnetita.

En la figura 4 se muestran los productos de corrosión a través del tiempo en el caso de una estación sometida al ambiente marino, claramente se observa el incremento de la goethita a través del tiempo, así como la magnetita típica de los ambientes marinos.



**Figura 4.** Productos de la corrosión en función al tiempo en ambientes marinos. En la figura se aprecia el incremento sostenido en el tiempo de la magnetita, típica en ambientes marinos (Lorenzo & Gómez, 2016).

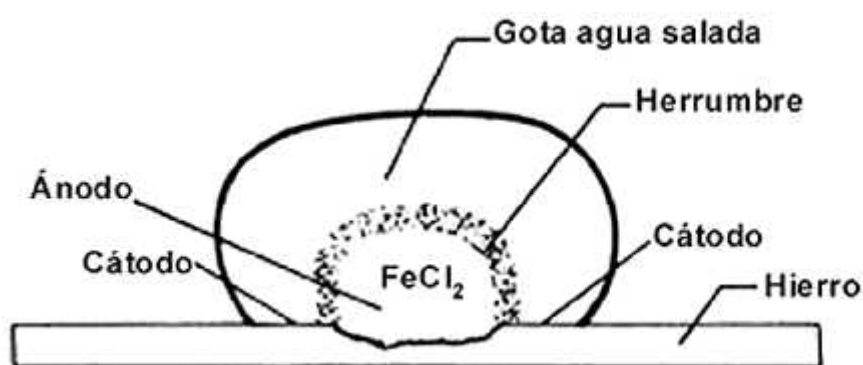
### 2.3.3.- MANIFESTACIONES DE LA CORROSIÓN

El producto primario de la oxidación del hierro es el hidróxido ferroso blanco, **Fe (OH)<sub>2</sub>**, que a su vez se oxida a hidróxido férrico de color rojizo, **Fe(OH)<sub>3</sub>**.

Considerando que, en una corrosión atmosférica, el sustrato se encuentra en contacto con la agresividad del medio ambiente, en forma particular, marino, ambiente cargado de salinidad, es que se pretende explicar el fenómeno en cuestión, puesto que en la fase experimental se pudo verificar en aquellas muestras sin protección la aparición de los óxidos antes mencionados de acuerdo a una secuencia de tiempo en exposición.

Vamos a ofrecer un ejemplo para explicar mejor los fenómenos. Considere la agresión provocada por una gota de agua salada. Esta experiencia es gracias a Evans, uno de los investigadores que ha hecho las contribuciones más significativas a la investigación de la corrosión. En el caso de una gota de agua

salada, las diferencias en la cantidad de oxígeno disuelto en el líquido en contacto con la superficie del metal, lo que se conoce como aireación diferencial, crean pilas de corrosión en las que el metal ataca las zonas menos oxigenadas, provocando una rápida e intensa corrosión. Se pone una gota de agua salada (agua y cloruro de sodio) sobre la superficie horizontal de una lámina de acero completamente limpia y desengrasada, como se muestra en la Figura 5, se puede ver un precipitado en el centro de la gota después de unos 30 minutos, por ejemplo:



**Figura 5.** Ataque producido por una gota de agua salada. (Bibliotecadigitalilce.edu.mx)

En comparación con el centro, que forma el ánodo, la región periférica o más externa de la gota, que está más aireada (con más fácil acceso al oxígeno), desempeña la función de cátodo. Entre dos zonas se forma una membrana de hidróxido de hierro (óxido). La membrana se puede penetrar utilizando un tubo capilar, y se puede ver la creación de una sal ferrosa ( $\text{FeCl}_2$ , cloruro ferroso) en el centro de la gota. La presencia de óxido en el hierro y sus aleaciones (aceros) es una manifestación visual de la existencia de corrosión. El mecanismo de ataque en soluciones acuosas o ambientes húmedos involucra varias características electroquímicas. Es capaz de viajar de una parte de la superficie metálica a otra a través de una solución (electrolito) capaz de conducir electricidad, como agua salada o agua dura (agua con una alta concentración de sal).

Una solución que conduce la electricidad es un **electrolito**. Su cualidad para conducir la electricidad es debida a la presencia de iones, los cuales son átomos cargados positiva o negativamente o bien agrupaciones de átomos con una cierta carga eléctrica, en solución.



El agua pura está ionizada en proporción muy pequeña. Sólo una mínima fracción de las moléculas de agua se disocia en iones hidrógeno,  $\text{H}^+$  (protones), y iones hidroxilo,  $\text{OH}^-$ . El ión hidrógeno se une a una molécula de agua,  $\text{H}_2\text{O}$ , para formar un ión hidronio,  $\text{H}_3\text{O}^+$ , aunque por facilidad lo representaremos por  $\text{H}^+$ .

La disociación del agua,  $\text{H}_2\text{O}$ , puede representarse así:



El agua es un casi perfecto aislante en la práctica. Entonces, ¿por qué se forman iones cuando un material iónico se disuelve en agua? La solución reside en las características dieléctricas, más específicamente, en las propiedades polares de las moléculas de agua. Cada molécula de agua es un pequeño dipolo, con cargas positivas y negativas opuestas.

El ion positivo estará rodeado por un grupo de moléculas de agua con sus extremos negativos cerca del catión. Extremos positivos de ciertas moléculas de agua se congregarán hacia el ion cargado negativamente. De acuerdo con esta explicación, los iones de las sustancias disueltas deben estar libres en cualquier disolvente polar, como lo es el agua, como así ocurre en realidad.

El electrolito capaz de generar un ambiente corrosivo puede ser cualquier solución, lluvia o incluso humedad condensada del aire. Incluyen todo, desde agua dura o salada hasta ácidos y álcalis poderosos.

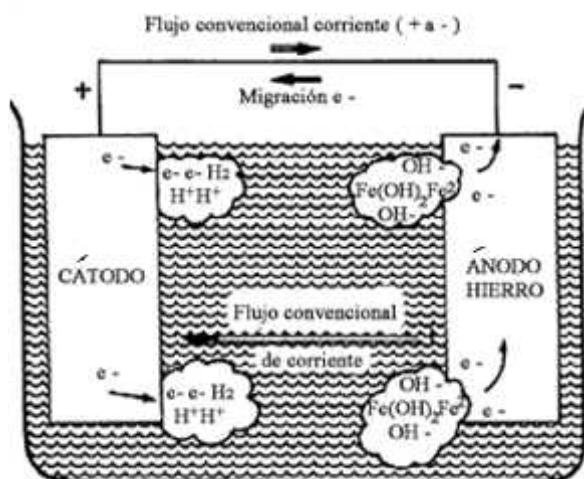
Los electrodos son los ánodos y cátodos involucrados en un proceso de corrosión. Los electrodos pueden estar hecho de dos metales diferentes. La corrosión ocurre en el electrodo negativo (ánodo). Se puede resumir lo expuesto diciendo que para que exista corrosión deben cumplirse unas ciertas **condiciones mínimas**. Éstas son:

1. Debe haber un ánodo y un cátodo.
2. Debe existir un potencial eléctrico entre los dos electrodos (ánodo y cátodo).
3. Debe haber un conductor metálico que conecte eléctricamente el ánodo y el cátodo.

#### 4. Ánodo y cátodo introducidos en un electrolito conductor ionizado

Cumplidas estas condiciones, puede circular una corriente eléctrica dando lugar a un consumo de metal (corrosión) en el ánodo.

La diferencia de potencial creada entre el ánodo y el cátodo provoca una migración de electrones desde el *ánodo al cátodo* a lo largo del conductor metálico externo, un alambre de cobre, por ejemplo, como se indica en la figura 6.



**Figura 6.** Sentido del flujo de electrones y del flujo convencional de la corriente eléctrica en una celda de corrosión (Bibliotecadigitalilce.edu.mx)

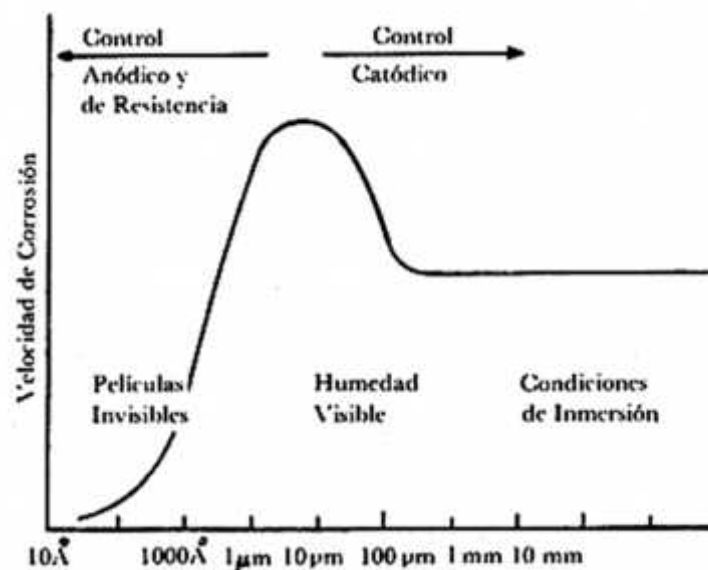
Cuando se pierden electrones en el ánodo, los iones de hierro cargados positivamente,  $Fe^{2+}$ , permanecen y pueden mezclarse con iones cargados negativamente,  $OH^-$ , situados cerca, generando ocasionalmente hidróxido ferroso,  $Fe(OH)_2$ , que puede reaccionar para generar hidróxido férrico,  $Fe(OH)_3$ , la conocida y familiar herrumbre.

Los electrones van del ánodo al cátodo a través del conductor metálico exterior. Estos electrones cargados negativamente se mezclan con iones de hidrógeno cargados positivamente,  $H^+$ , en el contacto cátodo-solución para generar gas hidrógeno,  $H_2$ . A medida que los iones de hidrógeno se transforman en hidrógeno gaseoso, se combinan con los electrones del ánodo, dando lugar a una abundancia de iones  $OH^-$  en el cátodo. La afluencia de iones  $OH^-$  eleva la alcalinidad y, en consecuencia, el pH del electrolito cerca del cátodo.

Hay que tener en cuenta que el electrolito en el proceso de corrosión atmosférica está formado por una capa de humedad instalada en la superficie del metal, cuyo espesor varía desde capas muy finas hasta aquellas que humedecen significativamente el metal; la duración del proceso viene determinada por el tiempo que esta capa de humedad permanece en la superficie. Pueden observarse dos procesos: uno anódico, en el que el metal se disuelve en la capa de electrolito, aumentando la concentración y provocando la precipitación de un compuesto poco soluble, y otro catódico, en el que se crea un electrolito de una resistencia óhmica determinada bajo la capa de humedad.

Debe destacarse el hecho de que la resistencia óhmica generada entre las zonas anódica y catódica de las pequeñas pilas de corrosión, crece en la medida que el espesor de la capa de humedad disminuye.

En la figura 7 se presenta la velocidad de corrosión en función al espesor de la película de humedad.



**Figura 7.** Velocidad de corrosión vs espesor de película de humedad. Tomado de Corrosión Atmosférica (Bibliotecadigital.ilce.edu.mx).

## 2.4.- PINTURAS

Philip y Schweitzer (2006), indican que las pinturas son los recubrimientos orgánicos más extendidos y significativos. Las pinturas pueden proporcionar una protección anticorrosiva de bajo coste para las estructuras. La calidad de todo el sistema pintado, incluidos el revestimiento de pintura, el sustrato metálico y el pretratamiento, determina el grado de protección.

Los revestimientos o pinturas orgánicas se presentan como una alternativa adecuada debido a su sencillez de aplicación y su gran rendimiento en condiciones duras. Las pinturas epoxídicas, en particular, presentan importantes ventajas (estabilidad, durabilidad, adherencia, entre otras) sobre las pinturas que contienen otros tipos de resinas.

Según Torres (2010), hay que tener en cuenta que estas propiedades positivas pueden potenciarse mediante la adición de pigmentos como la barita y los silicatos, entre otros, que mejoran considerablemente la eficacia de la pintura. Por estas razones, las pinturas epoxídicas se utilizan para la conservación de edificios deteriorados por la intemperie.

CIDETEC (2005), sostiene que el recubrimiento de superficies, que puede conseguirse mediante pinturas, es un método de prevención de la corrosión. Una pintura es una dispersión homogénea de un sólido finamente dividido (pigmento) en un medio fluido conocido como vehículo fijo o aglutinante. A su vez, el vehículo se compone de un ingrediente formador de película conocido como vehículo fijo o aglutinante y un disolvente conocido como vehículo volátil.

El vehículo fijo empleado en la creación de los distintos tipos de pinturas determina sus cualidades y categorización. Mientras que el pigmento aporta cualidades de relleno, color y opacidad a toda la pintura, es el vehículo fijo o aglutinante de las partículas de pigmento el que determina las propiedades de resistencia de la pintura una vez seca.

En esa medida tenemos tres grupos:

A.- Pinturas de secado por reacción con el oxígeno del aire, su secado consiste en la evaporación del vehículo volátil y absorción del oxígeno, dentro de ellas están las pinturas:

- Alquídicas
- Vinil-alquídicas
- Epoxi-ester
- Silicona-alquídicas
- Uralquídicas.

B.- Pinturas de secado por evaporación del solvente.

Se caracterizan por presentar las mismas propiedades antes y después del secado.

Dentro de ellas, tenemos:

- Resinas vinílicas
- Resinas acrílicas
- Resinas clorocaucho
- Bituminosas

C.- Pinturas de secado por reacción química, el proceso de reticulación es importante para su secado, dentro de ellas tenemos:

- Epoxi y poliuretano.

Las resinas epoxi son polímeros termoestables formados por dos componentes, una resina base y un endurecedor, cuya combinación da como resultado un material con una gran resistencia química, así como una gran resistencia a la tracción y al impacto, lo que no impide que el material tenga también una gran flexibilidad y buenas propiedades eléctricas.

Otra propiedad muy apreciada de este material es su alta adherencia prácticamente sobre cualquier tipo de material (Askelan & Phulé, 2003). Las resinas epoxi son polímeros que se crean conectando cadenas con un anillo C-O-C de tres miembros conocido como "anillo epoxi". Durante la polimerización, se utilizan reacciones de

condensación en las que intervienen la epiclorhidrina (1-cloro-2,3-epoxipropano) y el bisfenol A [2,2- bis(4'-hidroxifenil) propano] (en presencia de hidróxido de sodio) para combinarlos. Esta reacción produce un polímero de cadena larga que contiene anillos epóxidos en sus extremos. Hay algunas resinas que presentan al proceso de curado, esto es, permiten un proceso de polimerización, lo cual implica la formación de una película, dentro de estos *agentes de curado*, tenemos entre los más conocidos:

**Aminas.-** Las resinas más utilizadas para revestimientos con fines de mantenimiento son las resinas epoxídicas, que comprenden especies de amidas y amidoaminas para la reticulación.

Todas las reacciones de curado de resinas epoxi con aminas se basan en la apertura del anillo de oxirano con los hidrógenos activos de la amina; sin embargo, la estructura molecular del agente de curado y el tipo de hidrógeno de la amina influyen en la velocidad de reacción. Estos sistemas son bicomponentes y curan a temperatura ambiente.

**Poliaminas alquídicas.-** Otros sistemas de curado emplean poliaminas alifáticas no modificadas, alquídicas, como la dietileno triamina, la trietileno tetramina y la tetraetileno pentamina, cada una de las cuales tiene dos hidrógenos primarios y tres, cuatro y cinco hidrógenos secundarios cuando el hidrógeno primario reacciona con el grupo oxirano, respectivamente.

Se forman aminas primarias. Cuando las aminas secundarias reaccionan, se obtienen aminas terciarias. Las películas que se forman poseen un entrecruzamiento muy unido y por ende, presentan alta resistencia química. Este tipo de aminas se volatiliza, reacciona con el 18 dióxido de carbono y la humedad, formando un carbonato que produce pérdidas de brillo, de adhesión y amarillamiento. Las aminas alifáticas también funcionan como agentes de curado. Sin embargo, también poseen una alta presión de vapor. Suelen utilizarse como precursores en la preparación de agentes curantes como amido-aminas.

**Poliamidas.-** La precondensación de una amina primaria con un ácido dímero produce resinas de poliamida. Los ácidos dímeros son mezclas de ácidos grasos generadas por polimerización catalítica de aceite de soja y/o ricino, y tras la

reticulación entre las resinas epoxi y de poliamida, se crea una película químicamente resistente. No obstante, las poliamidas presentan una baja resistencia a los ácidos oxidantes, a los ácidos minerales fuertes y a los ácidos orgánicos concentrados. La resistencia al agua y a la corrosión mejora con respecto a las películas curadas con aminas debido a la mayor adherencia que confieren los enlaces amida.

Las películas pueden limpiarse sin dañarse con vapor o detergentes. La resistencia a las altas temperaturas es menor que la de las aminas aromáticas. Sin embargo, la resistencia con temperaturas por debajo de los 149 °C es buena. Las películas creadas por sistemas epoxi-poliamida tienen un peso molecular elevado; las relaciones estequiométricas con resinas de peso molecular medio pueden variar en función de la poliamida utilizada; y la vida útil tras la combinación de las resinas, o posvida, oscila entre 6 y 12 horas.

Estas pinturas se utilizan en barcos, puentes, tuberías, interiores de tanques, suelos, paredes, acero, aluminio y hormigón, así como en la elaboración de alimentos y bebidas, el transporte y la fabricación en general.

Desde la invención de innumerables pinturas, el objetivo siempre ha sido alargar la vida útil de las estructuras expuestas a la intemperie, en la medida en que han intentado ser una barrera contra el medio agresivo, que se incrementa por el espesor de la película o un depósito de pigmentos inhibidores que han intentado retrasar el ataque a la superficie metálica, aumentando la longitud del camino que debe recorrer el electrolito, pero cuando comienza el proceso de degradación, se produce una segregación del electrolito provocando fallas, tales como el ampollado de la película, el ampollado es una señal de la reducción de la capacidad protectora de la pintura. De acuerdo a CONICET (2002), las ampollas son áreas localizadas en las que la pintura pierde su adherencia al sustrato facilitando la acumulación de agua y, en consecuencia, generando zonas donde comenzarán a desarrollarse procesos de corrosión.

Según Khanna (2017) un recubrimiento inorgánico de silicato de zinc es completamente diferente de un recubrimiento orgánico rico en zinc. Aquí también, se agrega polvo de zinc en una resina orgánica, pero en este caso la resina orgánica es activa y se une fuertemente con el átomo de zinc, que a su vez forma un enlace químico con el sustrato. Un recubrimiento de silicato de zinc inorgánico (IOZ), cuando se aplica junto con dos capas de epoxi y seguido de una capa

superior de poliuretano, puede dar una vida de más de 5 a 6 años en un ambiente agresivo, mientras que el mismo recubrimiento sin IOZ no tendrá una vida de más de 2-3 años. Un recubrimiento IOZ, si se aplica solo, también puede durar de seis meses a un año en un ambiente relativamente moderado, en comparación con un recubrimiento orgánico rico en zinc que puede sobrevivir tan solo unos pocos cientos de horas. Además, mientras que un recubrimiento rico en zinc orgánico no puede mantener una temperatura de más de 150 ° C, un recubrimiento IOZ puede soportar una temperatura de más de 450 ° C.

La importancia de conocer la naturaleza química de la región interfacial sustrato metálico/cubierta orgánica radica en que esta última es el lugar donde ocurre la mayoría de los procesos, particularmente el despegue catódico.

Como se había indicado anteriormente, otra de las formas de evitar la corrosión consiste en el uso de los inhibidores, al añadir inhibidores de corrosión en un ambiente determinado reducen la acción nociva que ejerce el medio sobre el material. Los compuestos de cromo de probada actividad carcinógena juegan un papel fundamental en las formulaciones de inhibidores para medios neutros.

e utilizaron estudios electroquímicos para investigar el impacto inhibidor del benzoato de hierro sobre electrodos de acero SAE 1010 en contacto con una solución acuosa. Simultáneamente, se evaluó la eficacia anticorrosiva de este producto en revestimientos orgánicos a base de disolventes mediante experimentos de envejecimiento acelerado (niebla salina y cámara de humedad). De acuerdo a Blustein (2006), la evolución del comportamiento protector de la cubierta aplicada sobre paneles de acero pintados e inmersos en una solución 0.5M de  $\text{NaClO}_4$  fue periódicamente monitoreada por espectroscopía de impedancia electroquímica. Los resultados obtenidos indican que las pinturas formuladas con benzoato férrico presentan una capacidad anticorrosiva comparable a las formuladas con fosfato de cinc.

Las pinturas anticorrosivas tradicionales contenían minio o cromatos como pigmento inhibidor. La toxicidad de estos compuestos y las restricciones legales impuestas a su empleo han llevado a la búsqueda de nuevos pigmentos eficientes, pero con bajo impacto ambiental. Es por ello que, Guillermo Blustein et al., proponen al benzoato de hierro como un pigmento anticorrosivo alternativo y no tóxico. La acción inhibidora de los benzoatos solubles sobre la corrosión del acero



en medio acuoso es un hecho conocido (Eurof Davies y Slaiman, 1971 y 1973; Blustein et al, 2005; Azambuja et al, 1999). Sin embargo, las sustancias solubles no son aptas para su empleo en pinturas anticorrosivas debido a que son lixiviadas rápidamente por el agua que penetra a través de la película.

Dentro del desarrollo de la presente tesis se partirá de una situación real la cual existe al margen de conocerla y que se espera descubrir, haciendo uso para ello de la observación y experimentación.

#### **2.4.1 Recubrimientos multicapa**

Cuánto más gruesa es una capa de recubrimiento, mejor es su capacidad de protección. Sin embargo, el grosor de una sola capa está restringido porque las películas de pintura gruesa tienden a agrietarse.

Como resultado del estrés interno, cuando un producto se va a utilizar para un extenso período de tiempo en un entorno severo, los sistemas de revestimiento de pintura multicapa son generalmente empleadas para carrocerías automotrices y estructuras de acero.

Cuando se refieren a recubrimiento multicapa, se considera un sistema de dos o tres capas que se emplea para carrocerías automotrices, y se adopta un sistema de recubrimiento general o de servicio pesado para estructuras de acero.

El sistema de pintura para estructuras metálicas está compuesto por una combinación de varios tipos de pinturas y procesos de recubrimiento efectivos, proporcionando así una protección óptima contra la corrosión y una apariencia decorativa.

Schweiltzer (2006), indica que el sistema de pintura para una estructura de acero se selecciona en función de los requisitos de vida útil y condiciones ambientales bajo las cuales la estructura de acero debe existir. El recubrimiento de las estructuras metálicas responde al tipo de ambiente al cual se ven sometidas, lo cual implica que para aquellas que se encuentran sometidas a ambientes severos son tratados con un sistema de recubrimiento pesado.

La adición de pigmentos a la forma de protección elegida, las pinturas anticorrosión, cumple dos objetivos. Para empezar, añaden color al sistema de revestimiento para mejorar su atractivo visual. En segundo lugar, pueden añadirse para aumentar la resistencia a la corrosión del revestimiento. Esta última mejora se puede obtener, por ejemplo, incorporando pigmentos en forma de escamas paralelos a la superficie del sustrato. Cuando se usa una gran concentración de volumen, los copos dificultan la penetración de medios corrosivos en el recubrimiento alargando sus vías de difusión.

Los pigmentos de bloqueo pueden adsorber en la superficie del metal activo, reduciendo así el área activa para la corrosión y la formación de una barrera de transporte para las especies iónicas del sustrato. Típico de este tipo es un grupo de pigmentos alcalinos tales como carbonato de plomo, sulfato de plomo y óxido de zinc.

## 2.5 Marco conceptual

**Corrosión.**-Se entiende por corrosión la interacción de un metal con el medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades tanto físicas como químicas.

**Corrosión galvánica.**-Ocurre cuando metales diferentes se encuentran en contacto, ambos metales poseen potenciales eléctricos diferentes lo cual favorece la aparición de un metal como ánodo y otro como cátodo, a mayor diferencia de potencial el material con más activo será el ánodo.

**Corrosión por picaduras.**- Es cuando se producen hoyos o agujeros por agentes químicos.

**Protección catódica.**- La protección catódica funciona gracias a la descarga de corriente desde una agrupación de ánodos hacia tierra y dichos materiales están sujetos a corrosión, por lo que es deseable que dichos materiales se desgasten (se corroan) a menores velocidades que los materiales que protegemos.

Corrosión atmosférica.- Uno de los factores que determina primariamente la intensidad del fenómeno corrosivo en la atmósfera es la composición química de la misma. El SO<sub>2</sub> y el NaCl son los agentes corrosivos más comunes de la atmósfera.

**Corrosión por aireación diferencial.** -Tiene lugar cuando una pieza metálica se encuentra sometida a una diferencia de concentración de oxígeno (grados de oxigenación o aireación diferentes). El ánodo será la región menos oxigenada, mientras que el cátodo será la parte más oxigenada, dando lugar a un flujo eléctrico unidireccional inducido por la diferencia de potencial electroquímico entre las zonas anódica y catódica, con corrosión en la zona anódica.

**Socavamiento anódico.** -El socavamiento anódico representa la clase de reacciones de corrosión metálica que tiene lugar debajo de la película de pintura y en las que la reacción anódica es la causa principal de la delaminación (despegue).

**Corrosión filiforme.** -La corrosión filiforme es una forma de ataque en la cual el proceso de corrosión se manifiesta formando filamentos y representa un tipo particular de socavamiento anódico. Usualmente se produce en ambientes húmedos y es más común debajo de películas orgánicas aplicadas sobre acero, aluminio, magnesio y cinc (acero galvanizado, técnicas de aislamiento o antideslizante).

Leidheiser (1982) afirma que la corrosión filiforme es un tipo de ataque en el que el proceso de corrosión se expresa en forma de filamentos similares a hilos. Se trata de un tipo específico de socavación anódica. Eso generalmente ocurre en ambientes húmedos y es más común bajo recubrimientos orgánicos sobre acero, aluminio, magnesio y zinc (acero galvanizado). La corrosión filiforme puede producirse en aceros no recubiertos cuando se depositan involuntariamente cantidades ínfimas de sales contaminadas. También se ha observado en electrodepositos finos de estaño, plata y oro, así como bajo recubrimientos de conversión como el fosfato. Las variedades más molestas de corrosión filiforme son las que se desarrollan bajo películas de pintura destinadas a mantener un aspecto atractivo en los metales expuestos y las que se producen bajo lacas que protegen el interior de los envases de alimentos.

### **2.5.1.Sistema recubrimiento-sustrato**

Un recubrimiento orgánico o pintura se define como una mezcla o dispersión relativamente estable de un pigmento en una solución de resinas y aditivos, además, forman películas continuas delgadas cuya función es la de actuar como barrera física entre dos materiales altamente reactivos, por esto, es necesario hacer el debido estudio de las zonas del sistema.

De acuerdo a Martín (2006), los recubrimientos orgánicos se encuentran constituidos por solventes, un vehículo (resinas), pigmentos y aditivos. Los principales mecanismos de protección que estos tipos de recubrimiento utilizan son: efecto de barrera (agua, oxígeno e iones), alta resistencia dieléctrica (inhibición de reacciones anódicas y catódicas), pasivación del metal con pigmentos solubles y, en casos especiales, por protección catódica con pigmentos. Su desempeño, en general, está fuertemente influenciado por la naturaleza del vehículo utilizado, tipo de metal que se va a proteger, ambiente donde se va a usar, espesor y condiciones de aplicación.

#### ***Características del sustrato***

La rugosidad y la limpieza del sustrato favorecen la adherencia del revestimiento. Esto se debe a que cuanto más rugosa es la superficie, más sitios potenciales hay para la formación de conexiones polares entre el revestimiento y la superficie, lo que mejora la adherencia del sistema.

En este sentido es importante considerar el tratamiento previo a la superficie metálica antes de ser protegida por la pintura anticorrosiva, así tenemos el siguiente resumen en base a las normas SSPC (Steel Structures Painting Council, Pittsburg USA, 2015).

En el sistema de pintura empleado para nuestro trabajo, se hizo uso de la norma SSPC-SP 5, limpieza de chorro con abrasivo, teniendo en cuenta la importancia de la correcta preparación de una superficie, 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, cabe indicar que su uso es recomendado donde las condiciones son extremadamente severas, con contaminantes ácidos, sales en solución, etc.

En la tabla 7 se muestran los tratamientos superficiales para la preparación del sustrato antes de la aplicación del sistema de protección anticorrosivo.

**Tabla 7** Relación de tratamientos superficiales estandarizados (SSPC, 2015)

Norma SSPC	Descripción		Última revisión
SSPC-SP COM	Comentarios sobre Preparación de superficie para acero y sustratos de hormigón		Mar 2015
SSPC-SP 1	Limpieza con Solventes		Abr. 2015
SSPC-SP 2	Limpieza con herramientas manuales	Cepillos, lijas, etc	Nov. 2014
SSPC-SP 3	Limpieza con herramientas manuales mecánicas	Herramientas eléctricas o neumáticas	Nov. 2014
SSPC-SP 5 / NACE N° 1	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Metal Blanco	Ene. 2007
SSPC-SP 6 / NACE N° 3	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Comercial	Ene. 2007
SSPC-SP 7 / NACE N° 4	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Ligero	Ene. 2007
SSPC-SP 8	Decapado químico		Nov. 2014
SSPC-SP 10 / NACE N° 2	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Semi-Blanco	Ene. 2007
SSPC-SP 11	Limpieza Manual con herramientas mecánicas	Limpieza metal limpio o desnudo c/ rugosidad mínima de 25 micrones	Jul. 2012
SSPC-SP 12 / NACE N° 5	Limpieza con Agua presión - Waterjetting	Reescrita en Julio 2012 y reemplazadas por las normas SSPC-SP WJ-1,2,3, y 4	Jul. 2002
SSPC-SP 13 / NACE N° 6	Limpieza de concreto		Mar. 2003
SSPC-SP 14 / NACE N° 8	Granallado Industrial		Ene 2007
SSPC-SP 15	Limpieza Manual con herramientas mecánicas	Limpieza comercial con rugosidad mínima de 25 micrones	Jul. 2012
SSPC-SP 16	Limpieza metales no ferrosos	Galvanizado, Acero Inoxidable, cobre aluminio, latón, etc.	Abr. 2010

Nota: los datos se actualizan conforme van evolucionando la norma SSPC. (revisión agosto 2015)

## 2.6.-DISEÑO DEL SISTEMA DE RECUBRIMIENTO

Es usual que en los recubrimientos orgánicos no se emplee una sola capa de pintura, sino un conjunto de ellas desempeñando cada una la función específica que impida el proceso de corrosión, en tal sentido existen sistemas constituidos por una capa de imprimación, una capa o fondo, una capa intermedia y otra de acabado.

**2.6.1.-Imprimación.** Se constituye en la primera capa que toma contacto directo con el sustrato metálico. Es la base del sistema de pintura y actúa sellando la superficie, permite el anclaje de las otras capas de pintura, evitando la oxidación en los sustratos metálicos. Debe ser capaz de lograr una buena adherencia, y de retar el proceso de corrosión. Dentro de su formulación, ingresa el componente de inhibición, los cuales poseen ciertos pigmentos adicionados a la resina.

De acuerdo a la Norma ISO 12944-5-2008, en un sistema de protección contra la corrosión, la imprimación es la primera capa que entra en contacto con el sustrato y, como tal, puede crear una barrera de protección contra la corrosión. Se distinguen por tener una base de zinc, y una de las más conocidas en el sector marítimo es la imprimación roja, que tiene una de las vidas útiles más largas de las imprimaciones convencionales.

Rodríguez (2004), indica que una imprimación es la primera capa que entra en contacto con el sustrato en un sistema de protección contra la corrosión y, en este sentido, puede proporcionar una barrera de protección contra la corrosión. Se distinguen por estar hechas a base de zinc, y una de las más conocidas dentro de la industria naval es la imprimación roja, que tiene la ventaja de tener una de las vidas más largas que las imprimaciones tradicionales.

Las pinturas con una resina epoxi o de tipo epoxi figuran entre los revestimientos orgánicos más significativos para mejorar la resistencia a la corrosión del acero. Las pinturas epoxi están formadas por dos componentes que reaccionan para generar un revestimiento fuerte e inerte. Estos dos ingredientes, A y B, se combinan para formar una resina epoxi que contiene colores y diluyentes, así como un agente de curado conocido como endurecedor. Debido a su superior resistencia química y al desgaste, su extraordinaria adherencia, impermeabilidad y resistencia a los

álcalis, estos revestimientos se emplean ampliamente como revestimientos principales en tuberías, barcos y cualquier estructura sumergida en agua salada (Forsgren, 2004; Zhang et al., 2004).

Además, se sabe que las pinturas epoxídicas son vulnerables al deterioro por los rayos UV, que contienen energía suficiente para alterar los enlaces de la estructura polimérica. La pérdida de brillo de la pintura es el primer signo de deterioro en esta situación, seguido de la liberación de partículas de pigmento y una mayor descomposición del recubrimiento. Por ello, en la industria se utilizan habitualmente uretanos que protegen al epoxi de la radiación UV (Torres y Olaya, 2010; Martin, 2006; Forsgren, 2004).

Para Bogumil, et al. (2021), la erosión es otro nombre para el deterioro del material que indica "una pérdida gradual del material original de una superficie sólida debido al contacto mecánico entre la superficie y un fluido, un fluido multicomponente o partículas líquidas o sólidas en colisión".

**2.6.2.-Capa de fondo (intermedia).** Es aplicada sobre la capa de fondo a fin de aumentar el espesor del sistema de pintura y brindar uniformidad al sustrato. Es necesaria una elevada compatibilidad con las capas de imprimación y las de acabado.

**2.6.3.-Acabado.** Es aplicada como última capa, bien sea sobre la de imprimación o sobre la capa intermedia, en la medida que se encuentra en contacto con el medio ambiente, debe tener una alta resistencia a los agentes atmosféricos, igualmente debe cumplir con las exigencias estéticas de buena retención del color y brillo.

## **2.7.-TIPOS DE SECADO**

Existen dos tipos de secado, uno físico y otro químico, en nuestro caso la opción fue la segunda en donde se utilizó un segundo componente o endurecedor, el cual fue añadido previamente a su aplicación, las más conocidas son las resinas epoxis con endurecedores del tipo amidas o aminas.

### **2.7.1.-CONCENTRACIÓN DE PIGMENTO EN VOLUMEN (CPV)**

Simancas (1998), indica que, en general los revestimientos orgánicos se protegen mediante una secuencia de pinturas, cada una con una finalidad determinada, que conforman lo que se conoce como sistema o esquema de pintura. Éste consta de un máximo de cuatro pinturas separadas: pintura de pretratamiento, de imprimación, intermedia y de acabado, aunque con frecuencia se reducen a dos o tres. Al desempeñar sus respectivas funciones en el sistema, estos componentes deben ser compatibles entre sí para que todo el esquema funcione como un único elemento.

Un gran número de factores influyen en las cualidades fisicoquímicas y anticorrosivas de una pintura a lo largo de su desarrollo. La Norma UNE-EN 971-1 define la concentración de pigmentos en volumen como la relación, en porcentaje, entre el volumen total de pigmentos u otras partículas sólidas no filmógenas incluidas en un producto y el volumen total de componentes no volátiles. En otros términos, es la cantidad de pigmento en una pintura seca.

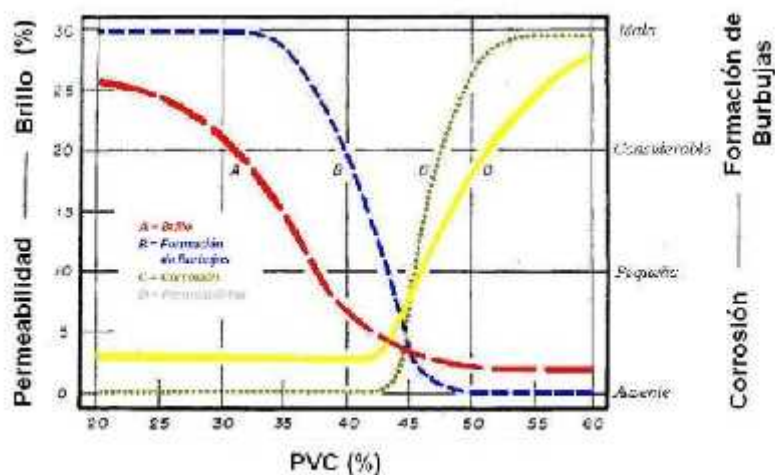
### **2.7.2.-CONCENTRACIÓN CRÍTICA DE PIGMENTO EN VOLUMEN (CCPV)**

Se describe como el momento en el que el aspecto y el comportamiento de una pintura cambian significativamente. Su valor está controlado por diversos elementos, como las propiedades inherentes del pigmento, la cantidad de sólidos añadidos y la dispersión del pigmento dentro de la matriz (Keiman, 2011).

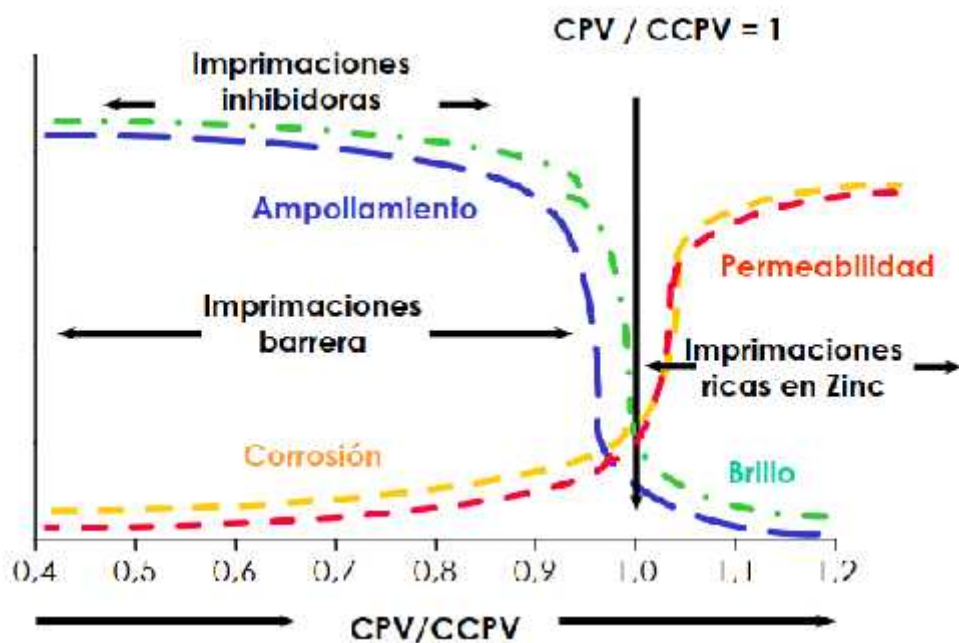
En la figura 8 se muestra la variación del porcentaje del CPV, en función al comportamiento que brinda la pintura.



En la figura 9, se muestra la relación CPV/CCPV



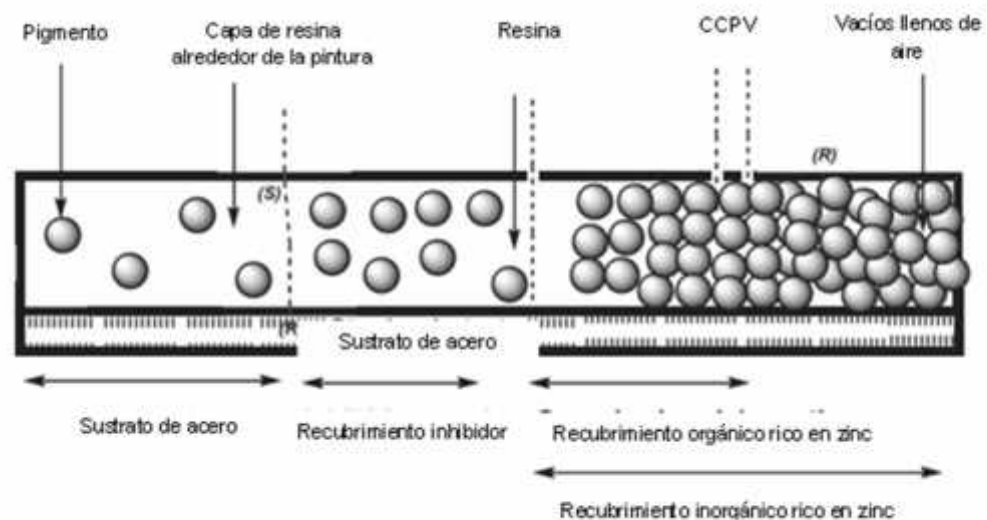
**Figura 8.** Comportamiento de una pintura al variar el CPV. Propiedades ópticas de polímeros aplicadas a pinturas decorativas (Keiman A, 2011)



**Figura 9.** Efecto del CPV en distintos tipos de pintura. Formulación y evaluación de imprimaciones epoxis anticorrosivas, curables a temperatura ambiente (Rodríguez, 2004)

De la figura 9, se puede apreciar que cuando CPV es menor que CCPV implica que existe gran cantidad de resina, y por consiguiente las partículas de pigmento se encuentran inmersas en una matriz de polímero, por consiguiente, la pintura posee flexibilidad. Básicamente la resina posee la función de rellenar los intersticios, esto significa que al aumentar el CPV se crean huecos en la película debido a la insuficiente cantidad de resina para cumplir su función. El ingreso de aire afecta drásticamente a las propiedades de la película, provocando que la pintura se vuelva frágil.

En la figura 10 se observa la relación entre la concentración del pigmento y el cambio de propiedades del recubrimiento



**Figura 10.** Cambio en las propiedades de un recubrimiento al cambiar la concentración del pigmento. Adaptado de High-performance organic coatings (Kanna, 2008)

### 2.7.3.-ESPESOR DEL SISTEMA DE RECUBRIMIENTO

Según Rodríguez (2004), este parámetro se encuentra relacionado con el efecto de barrera que poseen las pinturas en relación con el ambiente con el cual se encuentran expuestas. Un aspecto importante a tomar en cuenta es el factor de permeabilidad, el cual puede ser considerado como la velocidad a la que puede migrar el agua, los líquidos y los gases a través de una película bajo condiciones de temperatura y presión de vapor normales, en tal sentido, el grado de permeabilidad puede reducirse notablemente mediante la aplicación de un recubrimiento de suficiente espesor, y mejor aún si éste fue obtenido mediante la aplicación de capas sucesivas de pintura.

El volumen sólido es la característica más importante de un revestimiento de pintura. Se le puede definir como la cantidad de recubrimiento que no se evapora, por ejemplo, resina (vehículo), pigmentos y otros aditivos. El volumen en sólidos está definido por la ecuación:

$$\%V_s = \frac{V_s}{V} \times 100,$$

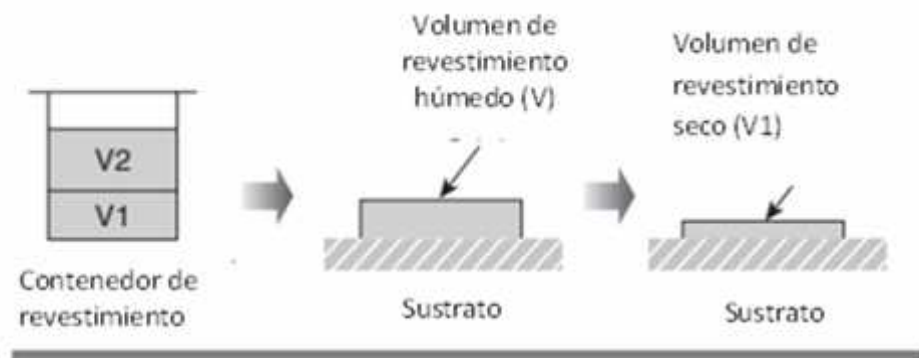
*D*

$$V_1: V_t \quad d \quad c \quad n \quad v \quad áti \quad d \quad r$$

$$V_2: V_t \quad d \quad c \quad v \quad áti \quad d \quad r$$

$$V = V_1 + V_2$$

En figura 11, se aprecia la explicación esquemática de la idea expuesta:



**Figura 11.** Ilustración del porcentaje del volumen en sólido de una pintura. Adaptado de High-performance organic coatings (Kanna A, 2008)

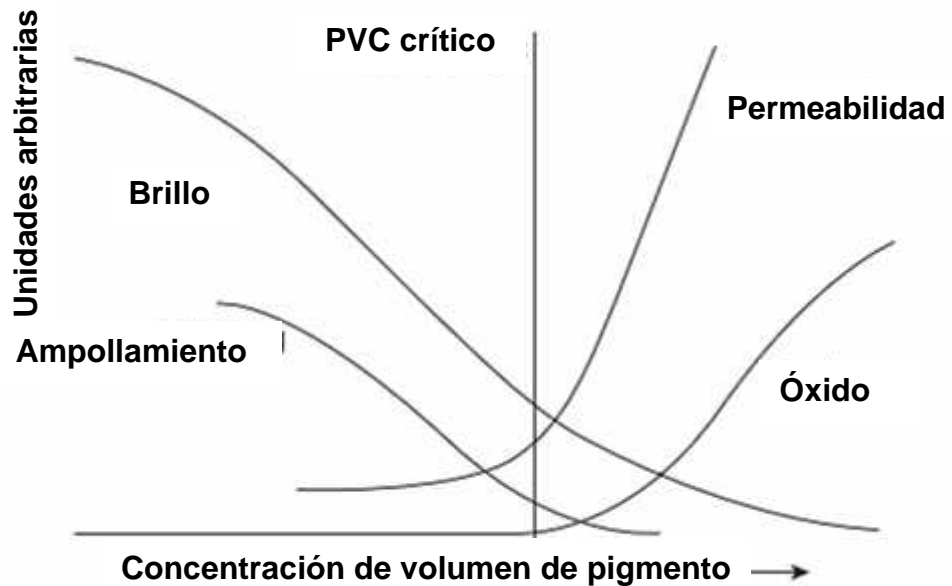
De acuerdo a Kanna A. (2008), el porcentaje de volumen en sólidos es importante por las siguientes razones:

- Es la medida de extensión de la capacidad de esparcimiento de un sistema de pinturas.
- Decide el espesor de la película seca de pintura de recubrimiento (DFT)

Esto implica que un alto volumen de sólidos de un recubrimiento dará un alto DFT por revestimiento. A continuación, están descritos *tres diferentes categorías de sistemas de pinturas*:

- Revestimiento convencional a base de disolvente con un porcentaje de volumen en sólidos de 40-60%, usualmente brinda un DFT de 50-70  $\mu\text{m}$ .
- Revestimiento de alto espesor, con un porcentaje de volumen en sólidos encima de 80%, usualmente brinda un DFT de 80-100  $\mu\text{m}$ .
- Recubrimientos sin solvente, con un porcentaje de volumen en sólidos de 99-100%, usualmente aplicado con pistola de aire, brinda un DFT de 100-1000  $\mu\text{m}$ .
- Estos criterios pueden ser usados para determinar la cobertura de la pintura a utilizar, considerando el porcentaje de volumen en sólidos el DFT requerido.

En la figura 12 se establece la relación entre los pigmentos y las propiedades de las pinturas



**Figura 12.** Efectos de los pigmentos en las propiedades de las pinturas. Adaptado de High-performance organic coatings (Kanna A, 2008).

En la figura 12 se aprecia la relación entre la concentración de volumen de pigmento y el PVC crítico en los diferentes efectos sobre las pinturas como el ampollamiento, permeabilidad, brillo, óxido.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 HIPÓTESIS CENTRAL DE LA INVESTIGACIÓN

A los 15 meses de exposición a la atmósfera marina de la Bahía de Chimbote, Perú (coordenadas 9°05'54"S 78°34'11"W):

El sistema de recubrimiento con incisión de tres capas (base, intermedia y acabado) presentará, particularmente en las zonas de incisión, una significativa diferencia en relación al comportamiento del sistema de dos capas (base e intermedia), frente a la acción corrosiva de la atmósfera marina.

#### 3.2 VARIABLES É INDICADORES DE LA INVESTIGACIÓN

**Variable dependiente:** Acción corrosiva de la atmósfera marina.

**Variable independiente:** Número de capas de protección, tiempo de exposición.

En el presente estudio se utilizó un sistema de pintura epóxica, como recubrimiento de placas de acero naval ASTM 131-01 grado A (Tabla 8), empleado en la construcción de embarcaciones pesqueras, producido por la empresa SIDERPERU.

**Tabla 8** Composición química del acero ASTM 131-01 grado A

Calidad de acero	C máx	Mn	P máx	S máx	Si máx
Naval (ASTM 131-01 grado A)	0,21%	2,5 x % C mín	0,035%	0,035%	0,50%

Se preparó 48 placas de acero de dimensiones 100 x 150 x 1,5 mm siguiendo las indicaciones de la norma ISO 9226.

Las placas fueron recubiertas con pintura epóxica de dos (base e intermedia) y tres capas (base, intermedia y acabado). En la parte inferior de las placas con

recubrimiento se practicó incisiones de 6 cm de longitud y 0.05 cm de ancho para dejar expuesta directamente a la atmósfera a las placas de acero.

Las muestras fueron ubicadas sobre una estructura de madera (bastidor) para ser expuestas a la atmósfera a una distancia del mar de 197 m, en la ciudad de Chimbote, Perú.

### **3.3 MÉTODOS DE LA INVESTIGACIÓN**

Para el desarrollo de la presente tesis se hizo uso del método hipotético-inductivo. Se planteó el problema, se formuló la hipótesis y se realizaron observaciones del fenómeno corrosivo y del grado de protección del recubrimiento epóxico.

Se recolectaron datos del efecto corrosivo para luego interpretarlos para extraer los resultados y las conclusiones del estudio.

Se compararon los datos del presente estudio con trabajos similares de otros autores.

Se contrastaron las interpretaciones de los resultados con la hipótesis.

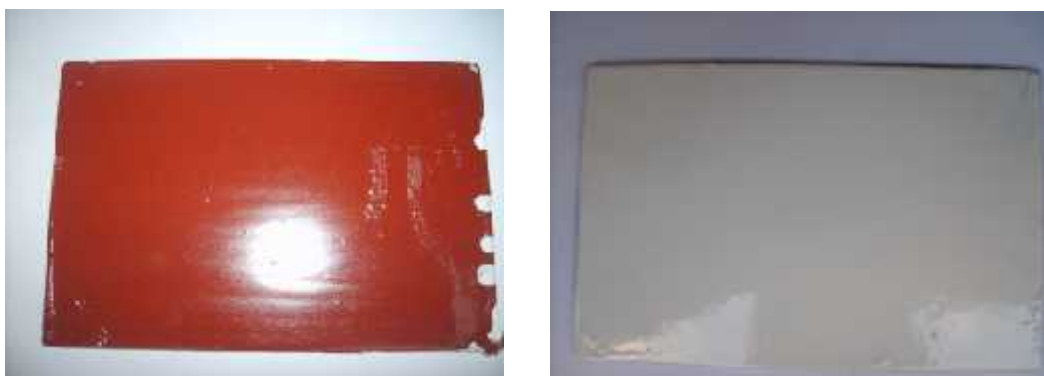
### **3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

El presente estudio se diseñó para un tiempo de 15 meses, con retiros de muestras cada tres meses.

El conjunto de 48 placas de metal fue expuesto a la atmósfera en una estación experimental ubicada a 197 m del mar.

Un primer grupo estuvo constituido por 12 placas de acero ASTM 131-01 grado A, sin recubrimiento alguno fueron expuestas al medio ambiente corrosivo marino.

Un segundo grupo constó de 18 placas con recubrimiento con capa base y capa intermedia.



a) Placa de acero con pintura base

b) Con pintura base + capa intermedia

Figura 13. Ilustración de placas de acero con recubrimiento de capa de pintura base (a) y con base + capa intermedia (b).

Un tercer grupo estuvo formado por 18 placas con recubrimiento con capa base, capa intermedia y capa de acabado.

La pintura de la capa base fue un Primer Anticorrosivo epóxico poliamida de dos componentes, con cromato de zinc como inhibidor de corrosión, pintura de color rojo óxido, de acabado opaco, con concentración de sólidos en volumen de  $60\% \pm 3\%$ .

La pintura de la capa intermedia estuvo constituida por un recubrimiento epóxico poliamida amina auto primario de dos componentes, de color marrón, de acabado semi-brillante.

La pintura de la capa de acabado constituida por un recubrimiento poliamida de dos componentes, de acabado brillante con concentración de sólidos en volumen de  $50\% \pm 3\%$ .

Se hizo el seguimiento de la acción del fenómeno corrosivo de la atmósfera retirando cada tres meses, tres placas de cada grupo para el análisis de laboratorio. Las evaluaciones se hicieron tomando en cuenta las especificaciones establecidas en las normas ISO 12944-1, ISO 12944-3, ISO 4628-2, ISO, 4628-3, ISO 4628-4, ISO 4628-7, ISO 4628-8, SSPC-SP5.

O<sub>1</sub>: Grupo constituido por 12 placas de acero sin protección anticorrosiva.

O<sub>2</sub>: Grupo experimental constituido por 36 placas, 18 de las cuales poseían capa base é intermedia y las 18 restantes, capa base, intermedia y acabado.



### **3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Considerando todo el universo de recubrimientos orgánicos existentes, de diferentes tipos, como son las pinturas alquídicas, vinílicas, acrílicas, epóxicas, se utilizó éstas últimas, las que presentan una mejor performance ante el fenómeno de la corrosión. Para establecer esta elección se hizo uso de la información obtenida a través de la experiencia en la reparación y mantenimiento de embarcaciones é instalaciones portuarias. En tal sentido el sistema de pintura epóxica consistió en una capa base, otra intermedia y una de acabado, siendo la característica común de todas ellas, su alto contenido de sólidos en volumen que nos permitió determinar las características de degradación del sistema anticorrosivo empleado.

### **3.6 ACTIVIDADES DEL PROCESO INVESTIGATIVO**

- Selección del lugar de ensayo de corrosión atmosférica
- Adquisición de planchas de acero
- Selección y adquisición del recubrimiento de pintura.
- Arenado y limpieza química de las planchas de acero
- Preparación de las placas de acero sin y con recubrimiento que fueron expuestas a la atmósfera.
- Construcción de una estructura de madera (bastidor) para fijar las placas de acero con y sin recubrimiento de pintura.
- Aplicación de la pintura
- Registro fotográfico de las placas cada tres meses de exposición a la atmósfera
- Recolección y análisis de datos sobre formación de óxidos, formación de ampollas en los recubrimientos, delaminación, etc., debido al fenómeno corrosivo.
- Interpretación de los datos
- Obtención de conclusiones y elaboración de recomendaciones.

### **3.7 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

Se utilizaron los siguientes equipos, instrumentos y normas internacionales:

- Equipo de arenado a alta presión con arena seca.
- Medidor de espesores ELCOMETER AK 4008 para la determinación del espesor de las capas de pintura.
- Cortado de precisión para realizar la incisión en las placas.
- Balanza digital Ohaius, con precisión de 0,01g para medir la masa de las placas.
- Microscopio digital, resolución 640x480, 1000x digital zoom para el análisis de las incisiones de las placas de acero con dos y tres capas de protección.
- Regla de calibración para determinación de la incisión.
- Cámara fotográfica para la toma de evidencias del efecto de la corrosión en los diferentes grupos de placas a través del tiempo.
- Normas SSPC SP5 para arenado del sustrato metálico.
- Normas ISO 12944-1:2008 protección de estructuras de acero
- Normas ISO 12944-5:2008 sobre sistemas de pinturas protectores
- Normas ISO 4628-3:2005, evaluación del grado de oxidación
- Normas ISO 4628-4:2005, evaluación del grado de agrietamiento
- Normas ISO 4628-8:2005, evaluación del grado de descamación y oxidación a partir de una incisión.
- Normas ISO 4628-10:2005, evaluación del grado de corrosión filiforme.

#### **3.7.1.-Técnicas y procedimientos**

Se aplicaron las siguientes técnicas y procedimientos.

##### *Construcción del bastidor de madera*

- Se construyó un bastidor de madera, Figura 14 (estación de ensayo) para fijar las placas de acero para la exposición a la atmósfera.
- Se ubicó la estación de ensayo a 197 m de la orilla del mar.



**Figura 14.** Estructura de madera (bastidor) porta muestras para exposición. Ubicado en el tercer piso de una vivienda de la Urb. La Libertad, Chimbote, Perú a 197m del mar.

- Se adquirió dos platinas de acero de dimensiones 300 x 6000 x 1,5 mm (Figura 15a) de la empresa SIDERPERÚ con la que se hicieron las siguientes operaciones:
- Se arenó las platinas (Figura 15b) de acero haciendo uso de la norma SSPC-SP10 para eliminar los óxidos, manchas y otros productos hasta dejar el acero en la calidad de metal blanco (Figura 16).



a)



b)

**Figura 15.** a) Planchas de acero sin cortar previo al arenado. b) Operación de arenado para eliminación de óxidos y residuos.



**Figura 16.** Plancha de acero “al Blanco”, luego de ser sometida al proceso de arenado.

- Se cortó 48 placas de acero de dimensiones 150cm x 100cm x 1.5 mm (Figura 16).



**Figura 17.** Una de las 48 placas de acero luego del proceso de arenado con coloración metálica libre de óxidos, gasa, aceite, polvo, lista para el pintado.

#### Aplicación de la pintura

- Aplicación de la capa base para 36 placas (Figura 18).
- Aplicación de capa intermedia para 18 placas.
- Aplicación de capa de acabado para 18 placas (Figura 19).
- Colocación de las placas en el bastidor, y ubicación del mismo en la estación de ensayo.



**Figura 18.** Placas de acero ASTM 131-01 grado A con capa de pintura base anticorrosiva (epóxica tipo Primer).



**Figura 19.** Una de las 18 placas de acero con capa base, intermedia y acabado. La capa de acabado pose alto contenido de sólidos en volumen (50%).

Se hizo uso de la técnica de pintado a través de brocha. Inicialmente 36 de ellas fueron pintadas con una base anticorrosiva epóxica tipo primer de color rojo óxido, mate, con un alto contenido de sólidos en volumen (60%). Las características de la pintura empleada están descritas en el anexo A. Estas para su empleo fueron preparadas combinando una sustancia endurecedora (envasada por separado) que permitieron el proceso de curado.

Transcurridas tres horas de secado de la capa base, 18 de ellas fueron pintadas con una capa intermedia de color beige mate, un recubrimiento del tipo epóxico con un alto contenido de sólidos en volumen del 80%; fueron necesarias cinco horas para su secado.

Posteriormente, a las 18 placas restantes les fueron aplicadas una capa de pintura de color beige claro, de acabado brillante con alto contenido de sólidos en volumen (50%), demorándose 2 horas en su secado.

Todas las muestras fueron colocadas a la intemperie sobre un bastidor de madera en una estación ubicada a aproximadamente 196 m del mar en la zona de La Libertad, Chimbote, procurando la interacción del medio ambiente con la formulación del recubrimiento empleado.

A fin de acelerar el ataque de la corrosión atmosférica, se realizó una incisión de 6 cm de largo por 0,05cm de espesor (Figura 20 a y b), en los dos grupos de placas que fueron protegidas con capa base é intermedia y capa base, intermedia y acabado. Con una periodicidad de tres meses, fueron retiradas las placas metálicas a fin de corroborar, mediante examen físico y comparativo, el comportamiento del sistema de protección anticorrosivo ante su exposición en una atmósfera marina altamente corrosiva.

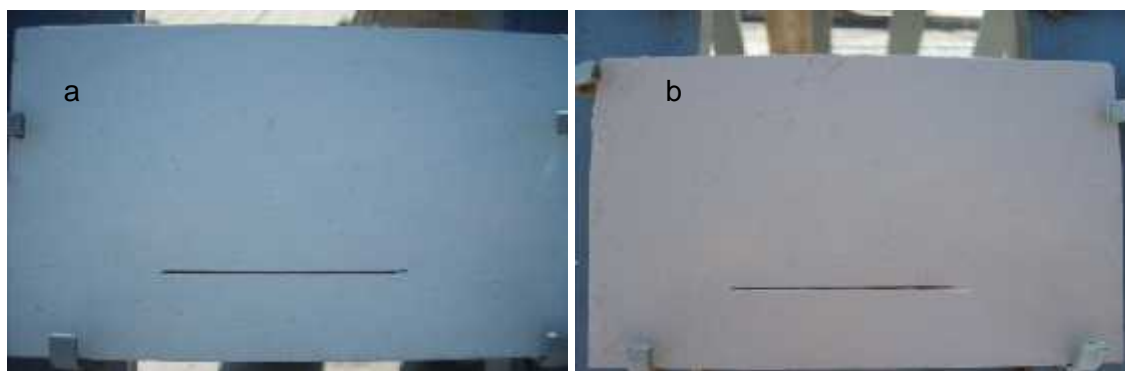


Figura 20. Incisión sobre las placas: a) con capa base y capa intermedia, b) con capas base, intermedia y acabado.

### 3.7.2.-Características de los recubrimientos

En la Tabla 09 se muestran las características del sistema de protección anticorrosivo.

**Tabla 9.** Sistema de protección anticorrosivo

Pintura	Descripción	Uso recomendado	Información del producto
C1 P1	<i>Tipo Primer</i>  <i>Zodiapox Primer 250</i>	Anticorrosivo epóxico poliamida de dos componentes, con cromato de zinc como inhibidor de corrosión.	Acabado: Mate Color: Rojo óxido, marrón y verde. Sólidos en volumen: 60% $\pm$ 3%
C2 P2	<i>Tipo acabado</i>  <i>Zodiamastic 600</i>	Recubrimiento epóxico poliamida amina auto primario de dos componentes. Formulación de alto espesor.	Acabado: Semibrillante Color: Beige claro Sólidos en volumen: 80% $\pm$ 3%
C3 P3	<i>Tipo acabado</i>  <i>Zodiacoat 700</i>	Acabado epóxico poliamida de dos componentes y alto brillo	Acabado: Brillante Color: Beige oscuro. Sólidos en volumen: 50% $\pm$ 3%

C<sub>i</sub> = Número de capa      P<sub>i</sub> = Tipo de pintura.

### 3.7.3. Ubicación de la estación experimental

Considerando el efecto de la atmósfera marina sobre el sustrato de acero protegido con recubrimiento de pintura epóxica, teniendo en cuenta las normas ISO 4226, ISO 9223, se seleccionó una estación de exposición constituida por un bastidor ubicado a 197 m del mar, en la Urbanización La Libertad, Chimbote, Ancash, Perú zona eminentemente pesquera, ubicada en las coordenadas 9°05'54"S 78°34'11"W, (Tabla 10), ubicación que se muestra en una captura de imagen del programa Google Earth (Figura 21). Se debe considerar que la zona escogida es una zona pesquera con la presencia de fábricas productoras de harina de pescado, con una temperatura que varía entre 14°C y 32°C, estando en un promedio anual de 23°C, así como una humedad relativa que varía entre 72% y 92%, contando con gran cantidad de neblina.

**Tabla 10.** Ubicación de la estación de exposición conteniendo 48 placas de acero ASTM 131-01 grado A, 12 sin protección anticorrosiva, 18 con capa base é intermedia y 18 con capa base, intermedia y acabado.

Ubicación de la estación	Coordenadas geográficas	Distancia al mar (km)	Altura sobre el nivel del mar (m)
Urb.La Libertad Chimbote-Perú	Lat sur 09°05'51" Lon O 78°34'10"	0,197	5

En la Figura 21 se muestra la distancia al mar de la estación de ensayo.



**Figura 21.** Ubicación de la estación de ensayo y su distancia al mar. Tomado de Google earth.

#### 3.7.4. Estación de ensayo de corrosión atmosférica conteniendo las placas de acero sin y con recubrimiento de pintura epóxica

Las 48 placas fueron expuestas en un bastidor de madera (Figura 22), con una inclinación de 45° ubicado a 197 m del mar, en el tercer piso de una vivienda de la Urb. La Libertad, aproximadamente a 5m de altura, a fin de ser sometidas al medio ambiente marino. Debe indicarse que para la codificación de las placas se consideró un orden correlativo, diferenciándose aquellas que tenían capa base é intermedia porque les antecedió el número 2, más el correlativo propio de la placa, y en el caso de aquellas que tuvieron capa base, intermedia y acabado venían antecedita por el número 3, más el correlativo correspondiente a la placa.





**Figura 22.** Detalle del bastidor porta muestras con la totalidad de placas del estudio: placas sin protección (bloque izquierdo de la foto); sistema de protección anticorrosivo, constituido por capa base é intermedia (bloque central) y capa base, intermedia y acabado (bloque derecho de la foto), respectivamente.

### **3.7.5. Recolección de datos: registro fotográfico**

- Registro fotográfico de las muestras según el período dispuesto.
- Análisis de los efectos que produce la corrosión sobre las placas, según el período de retiro a los 3, 6, 9, 12 y 15 meses, respectivamente.
- Registro y análisis, según las capas de recubrimiento al final de cada período.
- Análisis de los resultados obtenidos al final del proceso.
- Determinación del espesor de la capa de pintura seca según el número de recubrimientos,
- Análisis microscópico de las incisiones mediante microscopio digital.

Se tomó como referencia el tiempo de tres meses para la recolección de muestras en cada caso, esto es, se recogieron tres muestras de cada tipo en el período 3, 6, 9, 12 y 15 meses, procediéndose a su análisis correspondiente. Información que permitió establecer el análisis respectivo para el estudio de la influencia del número de capas de protección en función al tiempo de exposición, se hizo uso de las normas ISO 4628 para determinar el grado de corrosión, ampollamiento, grado de delaminación.

### **3.7.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

En la figura 22 se muestran las 48 placas de acero colocadas en un bastidor de madera, distribuidas de la forma siguiente: 12 placas de acero sin ningún tipo de protección, 18 con capa base e intermedia y 18 con capa base, intermedia y acabado, respectivamente.

La evaluación del sistema de protección anticorrosivo se hizo bajo el uso de exámenes visuales de las superficies de las placas que fueron retiradas a los 3, 6, 9, 12 y 15 meses. Dentro del análisis establecido para las superficies expuestas, se consideró el efecto del medio ambiente sobre las propiedades físicas de los recubrimientos de las placas evaluadas, teniéndose en cuenta las normas ISO 4628-2, 4628-3, 4628-10, que permitieron determinar la formación de ampollas, el cambio de color del recubrimiento, a través de la formación de una capa blanquecina, determinación de la corrosión filiforme, así como también el cambio establecido a través del tiempo de las dimensiones de la incisión provocada en el tercio inferior de las placas con dos y tres capas de protección para evidenciar el efecto de la corrosión atmosférica sobre el sustrato expuesto al medio ambiente.

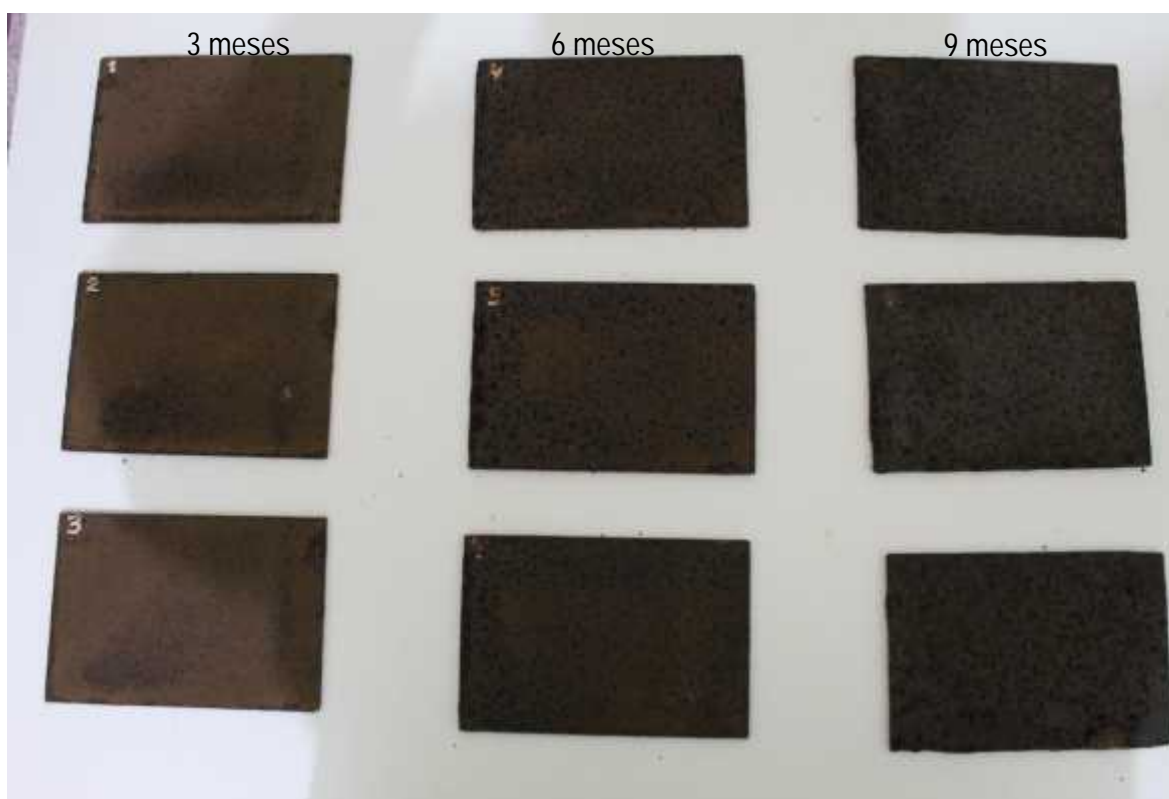
Siguiendo el proceso establecido en las normas antes mencionadas, se empezó por la observación del efecto corrosivo de la atmósfera marina en placas de acero ASTM 131-01 grado A, del tipo naval sin ningún tipo de protección, constituyéndose en las muestras que permitieron comparar el efecto de la corrosión atmosférica marina frente al sustrato.

## CAPÍTULO IV

### 4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1.1.-Placas de acero sin protección anticorrosiva

En la figura 23 se observan las placas sin protección, clasificadas según su tiempo de exposición de 3, 6 y 9 meses, respectivamente.

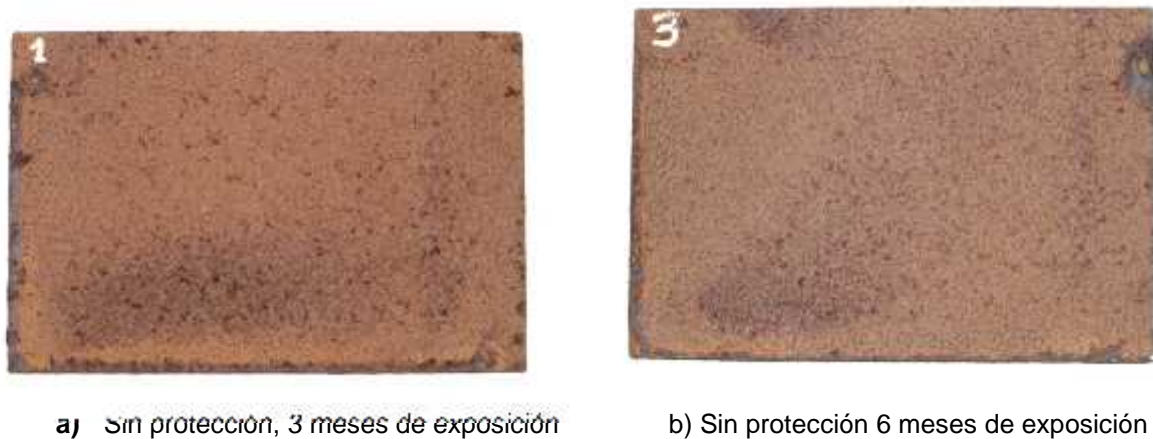


**Figura 23.** Grupo de placas de acero sin protección. La primera columna corresponde a una exposición de 3 meses, la segunda columna a 6 meses y la tercera columna a 9 meses, se aprecia la variación del color y la aparición de las costras sobre la superficie expuesta.

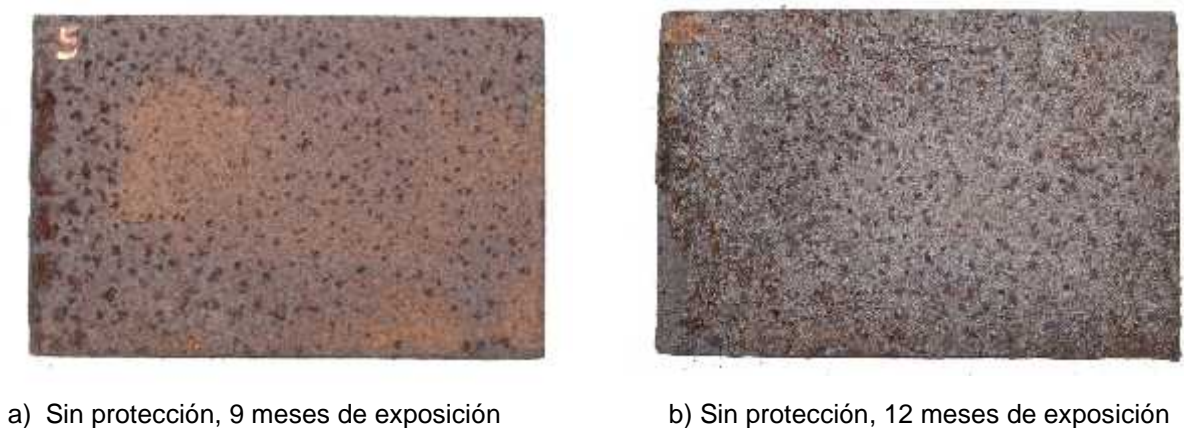
En los tres primeros meses de exposición se verificó el típico color marrón amarillo de la lepidocrita  $\text{FeO}(\text{OH})$  (figura 24 a), la que es producto de la presencia de ambientes húmedos o con agua, luego, a los seis meses el color marrón pálido, blanquecino de la goethita ( $\text{FeOOH}$ ) (figura 24 b), producto de la corrosión del acero debido a la presencia de salinidad, combinándose con el posterior color marrón negruzco de la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) después de transcurrido el año de

exposición (figura 25 b). Finalmente, a los quince meses tomaron una tonalidad negruzca, típica de la hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) formando gruesas capas de óxido. Éstas mostraron un agrietamiento previo para un posterior desprendimiento de la capa de óxido, provocando la disminución del espesor de las placas (figura 26 a y b).

A continuación, los detalles de cada una después del período de exposición señalado.



**Figura .24 a)** Placa de acero sin protección retirada a los 3 meses de exposición, Se aprecia el color marrón claro sobre su superficie en el primero, típico de la lepidocrocita, b) Placa de acero sin protección retirada a los 6 meses, se observa la típica coloración parduzca amarillenta con la aparición de goethita, con ligeras alteraciones en los bordes.



**Figura 25. a)** Placa de acero sin protección retiradas a los 9 meses de exposición, se observan las pigmentaciones marrones oscura en el primer caso, típico de la goethita, b) Placa de acero sin protección retirada a los 12 meses de exposición, se observa la placa oscurecida, manifestándose agrietamiento y socavaciones sobre su superficie.



a) Sin protección, 15 meses de exposición

b) Borde de placa de acero con 15 meses de exposición

**Figura 26.** a) Placa de acero sin protección retirada a los 15 meses de exposición. La superficie está cubierta de capas de óxido formadas por la exposición al ambiente marino, la variación de la temperatura, y la humedad, siendo visible el agrietamiento de la superficie. b) Detalle del borde de dicha placa, se aprecia el agrietamiento, y desprendimiento de la capa de óxido, la cual pierde contacto con la superficie como resultado de los cambios de temperatura, la presencia de la humedad, y la salinidad presente en el ambiente.

#### 4.1.2- Caracterización del sustrato con dos y tres capas de recubrimiento.

En la tabla 11 se muestra que en promedio aquellas placas que tuvieron capa base é intermedia de recubrimiento epóxico mostraron un espesor de 225  $\mu\text{m}$  (aprox. 9 mils) mientras que las que tuvieron capa base, intermedia y acabado de recubrimiento epóxico mostraron un espesor de 487  $\mu\text{m}$  (aprox. 19 mils).

Para la verificación del efecto de la corrosión atmosférica en aquellas placas con recubrimiento, se les hizo una incisión de aproximadamente 60 mm de largo y 0,5 mm de espesor, como se mostró en la figura 20 a) y b), para aquellas que tuvieron dos o tres capas de recubrimiento epóxico.

El efecto de la corrosión atmosférica marina, se hizo evidente a través del tiempo de exposición, en el deterioro y ensanchamiento de la incisión en ambos tipos de recubrimientos epóxicos, como se verifica en las figuras 38 a la 42 y 47 a la 51 de los grupos de placas de acero con dos y tres capas de recubrimiento, respectivamente.

Tabla 11. Caracterización de sustrato con dos y tres capas de protección

Capa base + intermedia			Capa base + intermedia + acabado		
N°	Peso (g)	Espesor de película seca (μm)	N°	Peso (g)	Espesor de película seca (μm)
2.1	354.49	270	3.1	360.4	440
2.2	359.00	240	3.2	360.35	420
2.3	358.20	180	3.3	361.2	420
2.4	358.07	240	3.4	357.13	520
2.5	359.14	190	3.5	364.82	440
2.6	355.61	230	3.6	359.35	520
2.7	358.24	210	3.7	358.2	510
2.8	354.76	200	3.8	354.57	550
2.9	357.43	210	3.9	364.32	530
2.1	359.67	250	3.1	363.53	490
2.11	353.36	180	3.11	357.96	390
2.12	357.95	250	3.12	362.27	530
2.13	355.75	190	3.13	356.78	510
2.14	351.74	310	3.14	361.24	490
2.15	355.15	250	3.15	361.78	510
2.16	362.27	190	3.16	360.44	490
2.17	356.52	230	3.17	362.25	510
2.18	357.12	240	3.18	359.01	490
Prom	356.92	225,55	Prom	360,31	486,67

En la Tabla 12 se muestra el grado de oxidación de las placas con dos capas de recubrimiento, según la norma ASTM D610-01, en función al tiempo de exposición.

**Tabla 12.** Grado de oxidación para placas con sistema de protección (Norma ASTM D610-01)

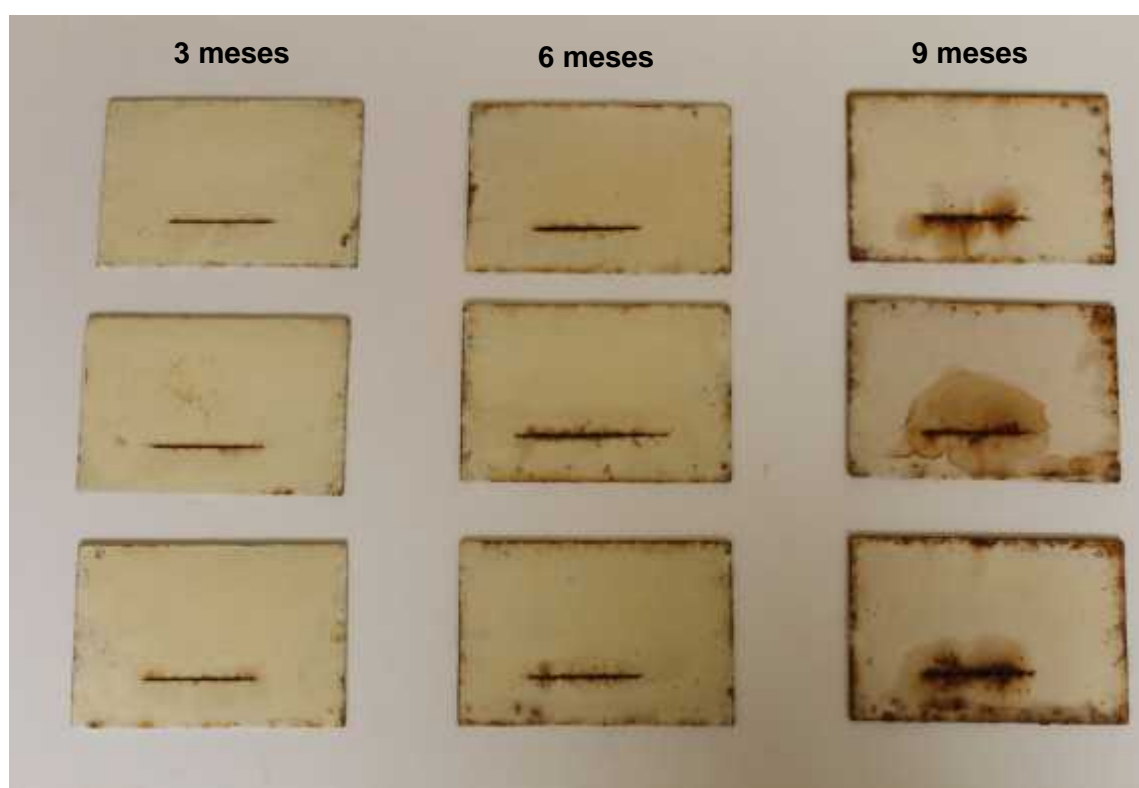
Tiempo de exposición	Muestra	Grado de oxidación	% oxidación	Significado
3 meses	1	3-P	16	Superior al 10% hasta 16%
6 meses	3	2-P	33	Superior al 16% hasta 33%
9 meses	6	1-P	50	Superior al 33% hasta 50%
12 meses	9	1-P		
15 meses	12	1-P		



## 4.2. PLACAS DE ACERO CON DOS CAPAS DE RECUBRIMIENTO

### 4.2.1. Placas de acero con capa base é intermedia

De las 18 placas de acero con capa base é intermedia, se muestran a continuación (figura 27) un conjunto de 9, distribuidas según su tiempo de exposición. Se verificó que conforme transcurrió el tiempo el avance de la corrosión se hizo evidente en la zona de la incisión. Se aprecia que conforme el tiempo transcurrió las placas fueron afectadas por el ambiente marino, tal que luego de aproximadamente 5 años de retiradas se observa el incremento de la corrosión en la incisión efectuada en la parte inferior.

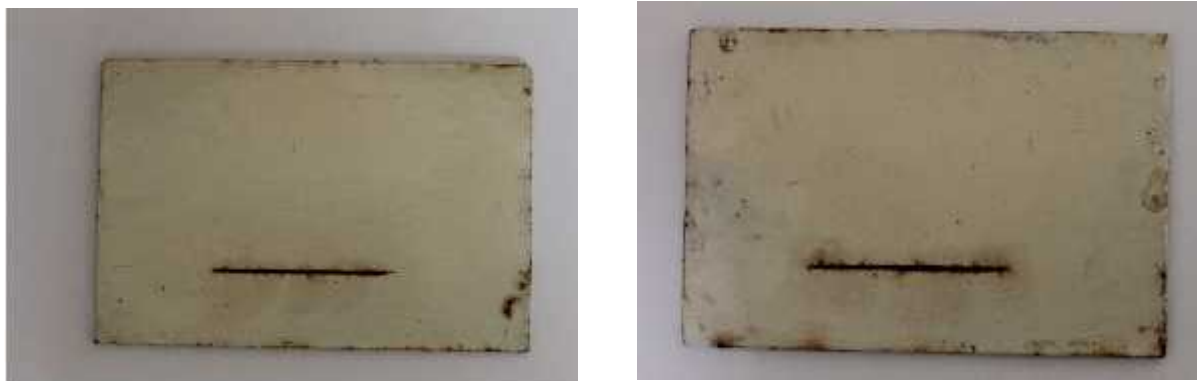


**Figura 27.** Grupo de placas de acero con capa base é intermedia, ubicadas según el tiempo de exposición de 3, 6 y 9 meses, respectivamente. Agrupadas por columnas, apreciándose en términos generales la influencia del tiempo de exposición en relación a la conservación de la superficie.

En las imágenes que se detallan a continuación (figura 28) se observa la superficie de las placas de acero con dos capas de recubrimiento a los 3, 6, 9 y 12 meses de exposición respectivamente.

El grupo de placas, presenta una ligera variación, evidenciado por la presencia de óxido en la incisión, tomando mayor notoriedad en aquellas que fueron expuestas durante 12 y 15 meses, respectivamente, en donde también se evidenció el estado

de corrosión en los bordes, y la aparición de hidróxido ferroso, lo cual es apreciado como una capa blanquecina (tiznado) sobre la superficie de la placa, como se evidencia en las figuras 27 a la 30. Comparada con aquellas que carecieron de protección, se verifica el estado de conservación debido a la presencia de las capas de recubrimiento, con un espesor promedio de  $223\text{ }\mu\text{m}$ .



a) Capa base e intermedia, 3 meses de exposición b) Capa base e intermedia, 6 meses de exposición

**Figura 28.** a) Se observa una placa de acero con capa base é intermedia, retirada a los 3 meses de exposición. Se aprecia el inicio de la corrosión en los bordes de la incisión el color marrón típico del óxido de hierro. b) Se presenta una placa retirada a los 6 meses de exposición, donde se observa el avance de la corrosión en sus bordes y alrededor de la incisión.

En la figura 29 se observa en detalle la placa de acero con dos capas de recubrimiento con 15 meses de exposición, apreciándose en detalle la ampliación del ancho de su incisión.

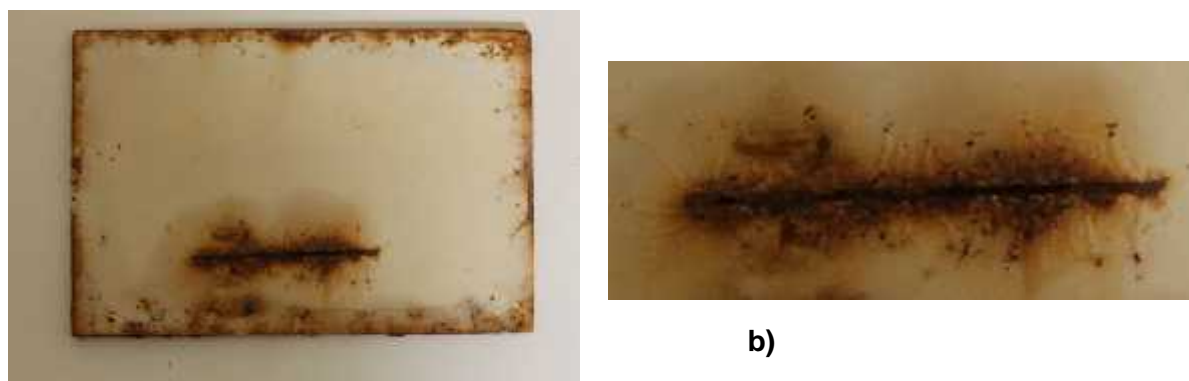


a) Capa base é intermedia, 9 meses de exposición b) Capa base é intermedia, 12 meses de exposición

**Figura 29.** a) Placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 9 meses de exposición. Se observan los bordes de la placa continúan sufriendo la influencia de la atmósfera marina, en la medida de la aparición de óxido. b) En la segunda se aprecia una placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 12 meses de exposición. Se observa el agrietamiento de la capa de pintura en la zona de incisión, así como la aparición de corrosión filiforme. Aparece el típico tiznado de la superficie, lo cual indica la presencia de hidróxido ferroso (color blanquecino), situación que facilita la difusión del  $\text{O}_2$ .



En la figura 30 se aprecia en detalle una placa con capas base é intermedia y el detalle del deterioro de su zona de incisión, luego de 15 meses de exposición al medio ambiente corrosivo.

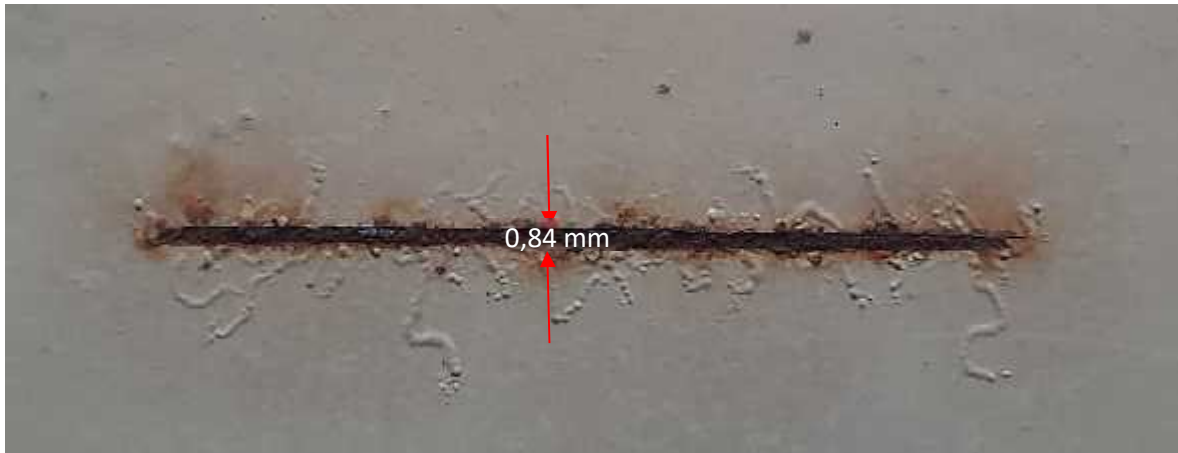


a) Capa base é intermedia, 15 meses de exposición b) Detalle de zona de incisión, 15 meses de exposición

**Figura 30** a) Placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 15 meses de exposición. Se extendió la corrosión alrededor de la incisión, así como el deterioro de los bordes de la placa, se aprecia claramente la corrosión filiforme alrededor de la incisión, así también el ampollamiento que provocará la delaminación de la zona afectada. b) En la segunda figura se muestra el detalle de la incisión de la placa de acero retirada a los 15 meses de exposición apreciándose la corrosión filiforme alrededor de la incisión, ésta se desarrolla perpendicular a la misma. En menor proporción aparece el ampollamiento en la placa.

En las figuras 31-35, en una visión ampliada, se aprecia detalles de la acción corrosiva de la atmósfera en las incisiones. Se observa la corrosión de tipo filiforme, representada por filamentos (figuras 31 y 32) propias de este tipo de corrosión. Un filamento consiste en dos partes visualmente distinguibles: una cabeza activa, donde ocurre la disolución del metal, y una cola que arrastra, compuesta de productos de corrosión secos. Presentan una concentración de oxígeno diferencial, con mayor concentración en la cola que en la cabeza. La interfaz entre la cola seca y la cabeza se caracteriza por un límite en forma de V. El ancho de los filamentos varía de 0.05 a 3 mm, y los filamentos pueden recorrer distancias considerables y tejer patrones intrincados. La tasa de crecimiento promedio varía entre 0.01 a 0.5 mm/día, pero el crecimiento no es uniforme. Los filamentos nunca se cruzan y simplemente se desvían sin tocarse realmente, o se dividen en dos cabezas originadas por la alta humedad relativa del ambiente marino (superior al 75%) de la bahía de Chimbote-Perú.

También se observa la presencia de ampollas de diferente tamaño y geometría.



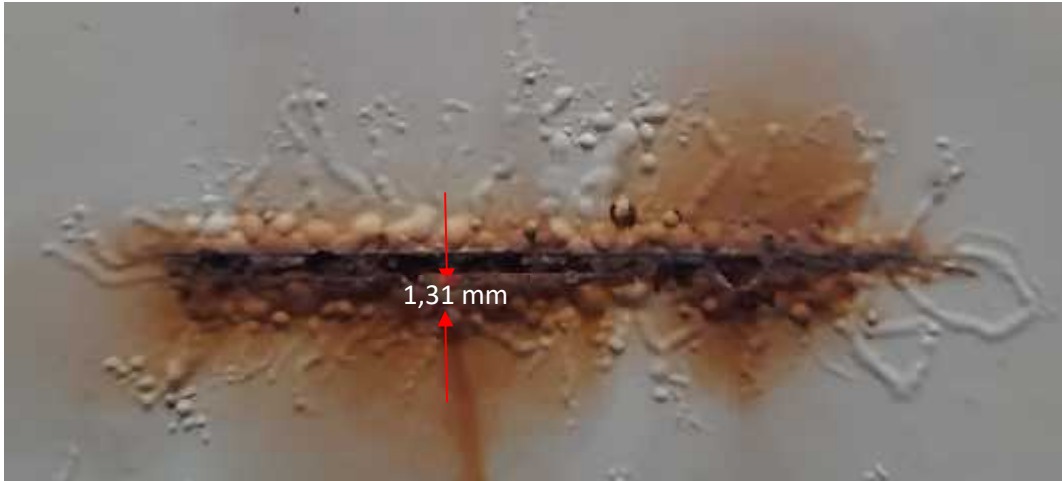
**Figura 31.** Incisión con un ancho de 0,84 mm en una placa de acero con capa base é intermedia, a los 3 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina. Se aprecia la corrosión filiforme y algunas ampollas.



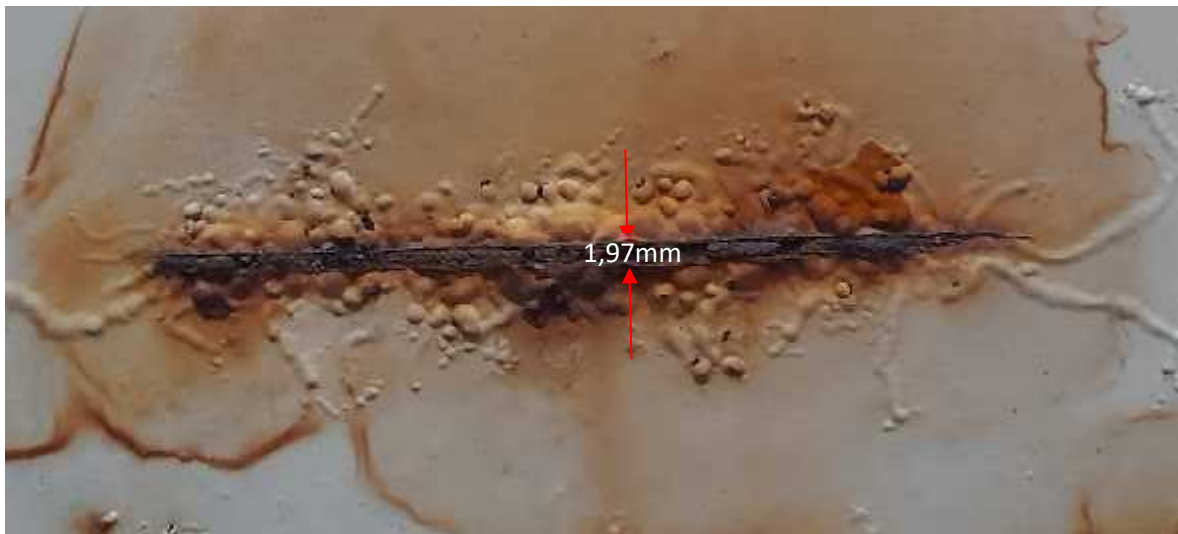
**Figura 32.** Incisión con un ancho de 0,99 mm en una placa de acero con capa base é intermedia a los 6 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina. Se aprecia el progreso de la corrosión filiforme. Formación de pequeñas "cabezas" (círculos rojos), desde donde se proyectan las "colas" (nervaduras)

Cuando juntamente con la alta humedad relativa del ambiente. se combina la salinidad del agua de mar, la cual es transportada por el fuerte viento, entonces el fenómeno de corrosión es favorecido, provocando la aparición de ampollas alrededor de la incisión provocada para favorecer la acción sobre el sustrato, como

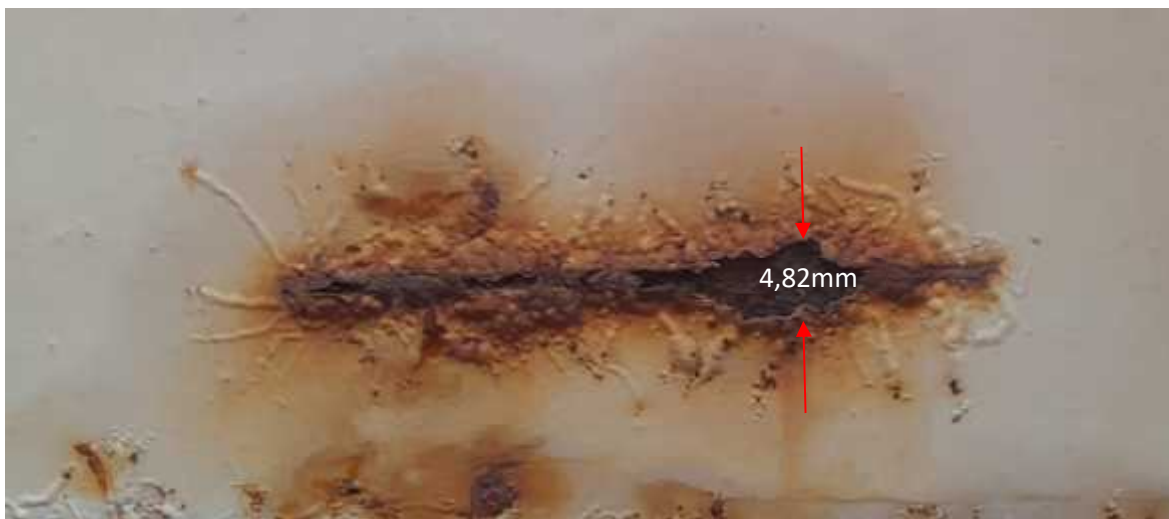
se aprecia en las figuras 33 y 34. A los 15 meses de exposición se puede apreciar en una pequeña porción de la incisión el desprendimiento de la capa protectora (figura 35).



**Figura 33.** Incisión con un ancho de 1,31 mm en una placa de acero con capa base é intermedia a los 9 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina. Se aprecia avance de corrosión filiforme. Formación ampollas alrededor de la incisión.



**Figura 34.** Incisión con un ancho de 1,97 mm en una placa de acero con capa base é intermedia a los 12 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina. Se aprecia avance de corrosión filiforme. Incremento de ampollas alrededor de la incisión.



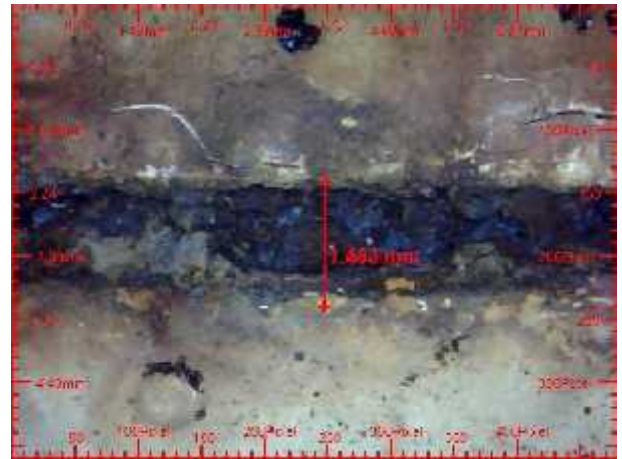
**Figura 35.** Incisión con un ancho máximo de 4,82 mm en una placa de acero con capa base é intermedia a los 15 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina. Se aprecia avance de corrosión filiforme. Desprendimiento de capa protectora.

Se hizo uso de un microscopio digital, el cual nos brindó un aumento de 1000x, proporcionando imágenes que permitieron determinar el incremento del deterioro en la incisión conforme fue transcurriendo el tiempo de exposición.

En las figuras 36 - 38 se aprecia los detalles de las acciones del tiempo sobre las placas protegidas con capa base é intermedia. Es significativo el incremento del ancho de la incisión y el desprendimiento de la capa de pintura debido a la corrosión provocada por factores de cambio de temperatura y humedad relativa del medio.

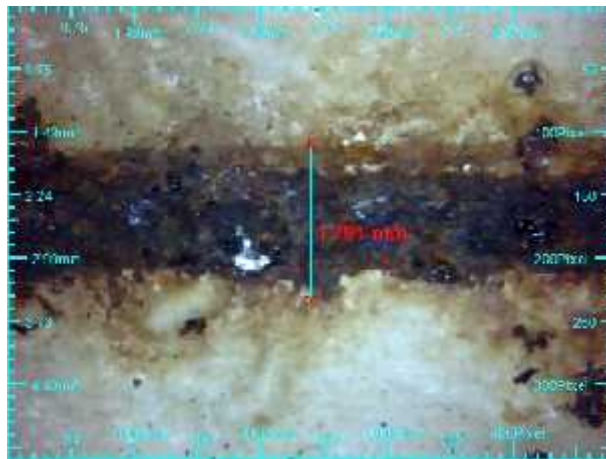


a) Capa base e intermedia, 6 meses de exposición



b) Capa base e intermedia, 12 meses de exposición

**Figura 36.** a) Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con capa base y intermedia retirada a los 6 meses de exposición. Se aprecia un ancho de incisión de 0,896 mm. b) Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con dos capas de protección retirada a los 12 meses de exposición, apreciándose el detalle del ensanchamiento de la incisión, siendo de 1, 763 mm, se evidencia el desprendimiento de pintura y ampollamiento en las inmediaciones de la incisión. X 1000.



a) Capa base é intermedia, 15 meses de exposición



b) Capa base é intermedia, 15 meses de exposición

**Figura 37.** a) Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 15 meses de exposición. Se aprecia el detalle de la corrosión filiforme alojada en las inmediaciones de la incisión y el incremento de ésta a 1, 791 mm. b) Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 15 meses de exposición. Es evidente la delaminación provocada por la corrosión, notándose las capas internas de pintura. X 1000.





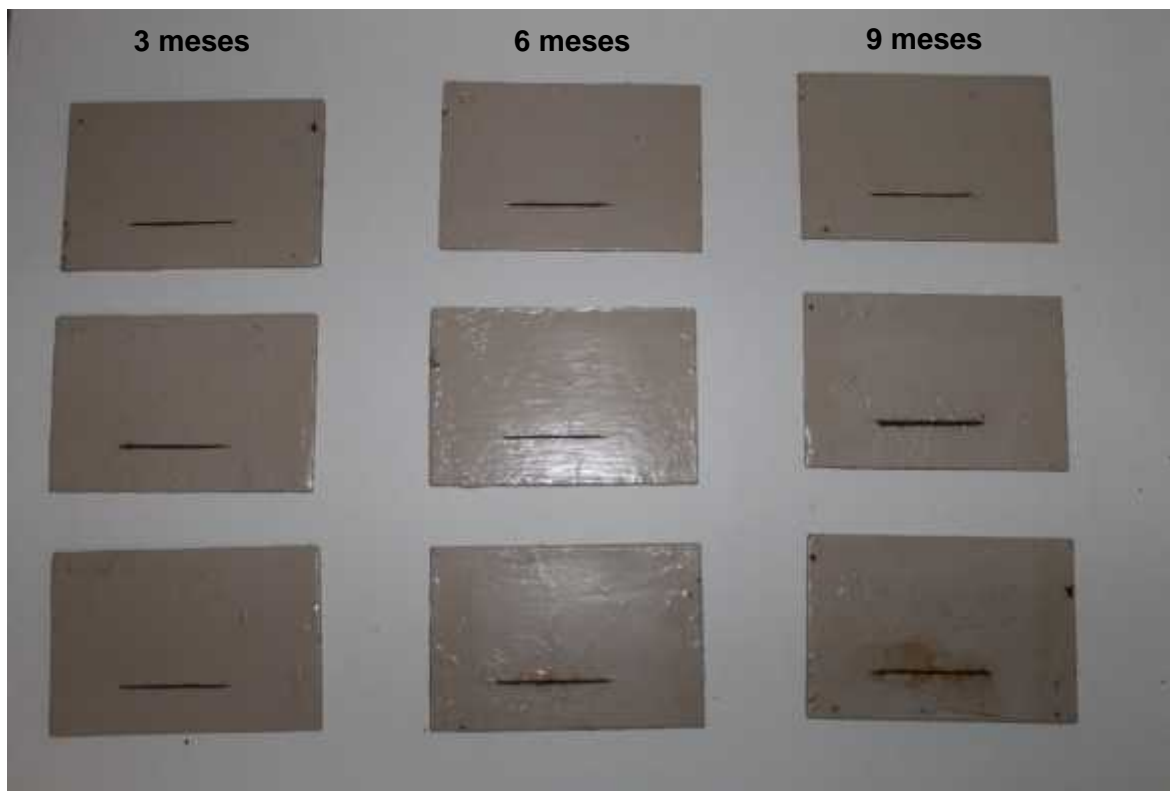
**Figura 38.** Placa de acero con capa base é intermedia retirada a los 15 meses de exposición. Se observa agrietamiento y pérdida de la capa protectora. X 1000.

### 4.3. PLACAS DE ACERO CON TRES CAPAS DE RECUBRIMIENTO

#### 4.3.1. Placas de acero con capa base, intermedia y acabado

El recubrimiento del grupo de placas de acero de la sección anterior consistió de una capa base o primer más una capa intermedia, ambas de alto contenido en sólidos.

En el presente caso, el grupo de placas de acero fue protegido con una tercera capa de acabado, la cual no solamente brindó la protección anticorrosiva sino un acabado brillante. Con la tercera capa se redujo significativamente el efecto de la acción corrosiva de la atmósfera puesto de manifiesto en un imperceptible o menor aumento del ancho de la incisión, bajo grado de corrosión filiforme y de formación de ampollas (figuras 39-49).



**Figura 39.** Grupo de placas de acero con capa base, intermedia y acabado, ubicadas según el tiempo de exposición. Se aprecia que conforme el tiempo transcurre se hace casi imperceptible el cambio de las mismas, al punto que luego de aproximadamente 5 años de retiradas se aprecia un ligero deterioro de los bordes, así como de la corrosión en la incisión efectuada en la parte inferior.



a) Capa base, intermedia y acabado, 3 meses de exposición    b) Capa base, intermedia y acabado, 6 meses de exposición.

**Figura 40.** a) Placa de acero con capa base, intermedia y acabado retirada a los 3 meses de exposición. Se aprecia una ligera presencia de óxido en la zona de la incisión. b) En la segunda figura se muestra una placa con 6 meses de exposición, donde se evidencia su buen estado de conservación



a) Capa base, intermedia y acabado, 9 meses de exposición    b) Capa base, intermedia y acabado, 12 meses de exposición

**Figura 41.** a) Placa de acero con capa base, intermedia y acabado retirada a los 9 meses de exposición. Se aprecia en la zona de la incisión el inicio de un estado de corrosión. b) En la segunda figura se observa una placa de acero con tres capas de protección retirada a los 12 meses de exposición, los bordes de la zona de incisión se encuentran más oxidados, extendiéndose el deterioro a sus inmediaciones. La corrosión filiforme se observa con mayor intensidad.

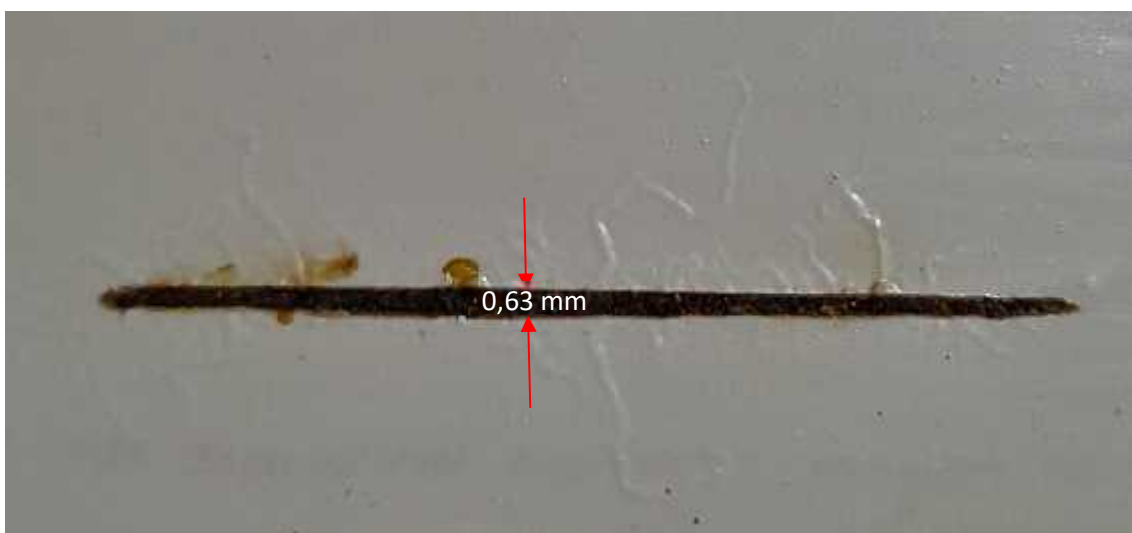


**Figura 42.** Placa de acero con capa base, intermedia y acabado retirada a los 15 meses de exposición. Se aprecia el avance de la corrosión alrededor de la incisión, también la formación de ampollas. Se hizo más notoria la presencia de la corrosión filiforme alrededor de la incisión.

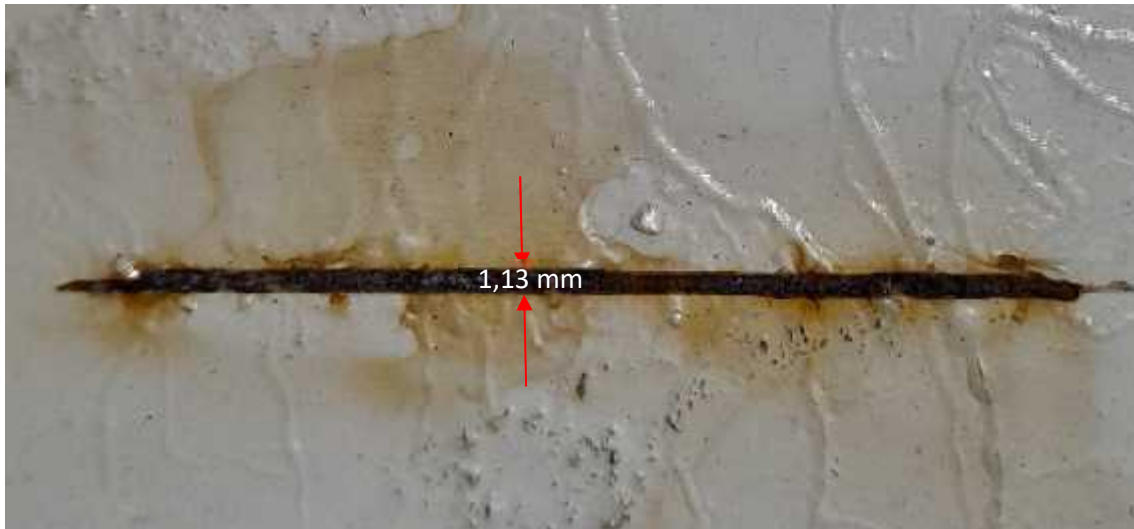




**Figura 43.** Incisión sobre una placa de acero con capa base, intermedia y acabado, y 3 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina. No se observa ensanchamiento de incisión (0,58 mm)-



**Figura 44.** Incisión sobre una placa de acero con capa base, intermedia y acabado, y 6 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina. Mínimo ensanchamiento de incisión (0,63 mm). Presencia de corrosión filiforme.



**Figura 45.** Incisión sobre una placa de acero con capa base, intermedia y acabado, y 9 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina. Mínimo ensanchamiento de incisión (1,13 mm). Avance de corrosión filiforme.



**Figura 46.** Incisión sobre una placa de acero con capa base, intermedia y acabado, y 12 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina. Ligeró ensanchamiento de incisión (1,74 mm). Corrosión filiforme.

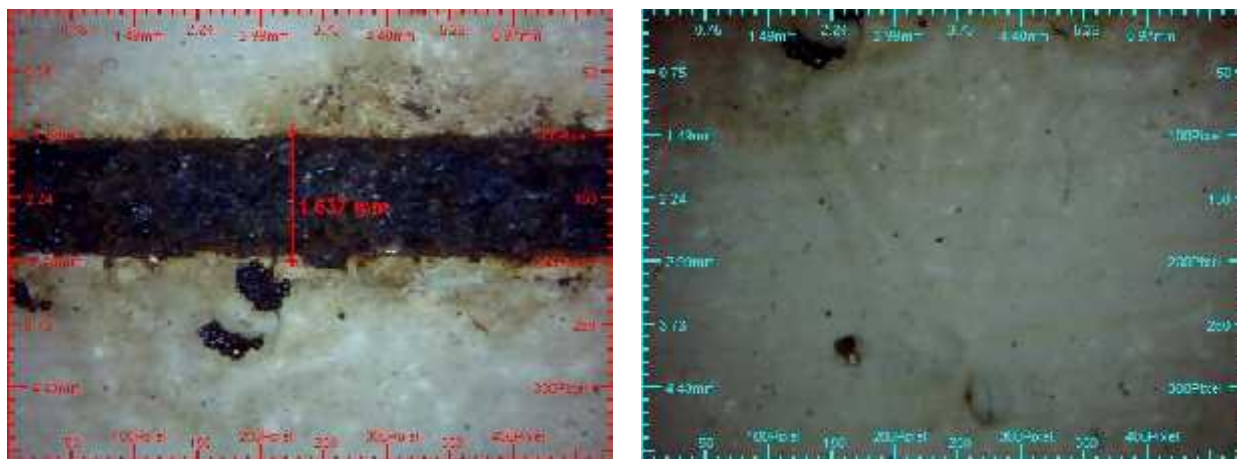


**Figura 47.** Incisión sobre una placa de acero con capa base, intermedia y acabado, y 15 meses de exposición a una atmósfera corrosiva marina. Notorio ensanchamiento de incisión (2,06 mm). Avance de corrosión filiforme

Se evidenció en el análisis microscópico (figuras 48a y 49b) un alto grado de protección para el grupo con capa base, intermedia y acabado, en donde se observa que transcurridos 15 meses de exposición el ancho de la incisión fue de 0,866 mm (grado 2, norma ISO 4628-8) contra los 1,791 mm del sistema de dos capas de recubrimiento epóxico (grado 5, norma ISO 4628-8), así como la presencia de ampollamiento alrededor de la incisión. Lo sostenido se corrobora en los reportes del microscopio digital, detallándose el diámetro de las ampollas producidas (anexo C). Estos efectos eran esperables ya que la incisión permite la interacción del sustrato con el medio ambiente, que, en el mar, además de tener alta humedad, están presentes sales de todo tipo que aceleran el proceso de corrosión (Tabla 3).



**Figura 48.** Imagen de acercamiento con microscopio digital de placa de acero con capa base, intermedia y acabado, retirada a los 15 meses de exposición, (corrosión filiforme). Se observa el ancho de la incisión en 0,866 mm. También se aprecia pequeñas nervaduras localizadas correspondiendo a la formación de corrosión filiforme. X1000.



a)Capa base, intermedia y acabado, 15 meses de exposición      b) Capa base, intermedia y acabado, 15 meses de exposición

**Figura 49.** a) Placa de acero con capa base, intermedia y acabado retirada a los 15 meses de exposición, imagen de acercamiento con microscopio digital (socavamiento). Se observan pequeños socavamientos en la cercanía de la incisión, provocada por el cambio de temperatura y la humedad del ambiente. b) Placa de acero con capa base, intermedia y acabado retirada a los 15 meses de exposición, imagen de acercamiento con microscopio digital (corrosión filiforme).

Haciendo uso de las imágenes 36, 37 38, 48 y 49, y las normas ISOS: 4628-3:2005, 4628-4:2005 y 4628-8:2005, se obtuvo la tabla 13.

**Tabla 13** Análisis del efecto corrosivo de la atmósfera marina de la bahía de Chimbote-Perú sobre acero ASTM-131-01 grado A como función del tiempo de exposición y el número de capas de recubrimiento epóxico

Mes	ISO							
	4628-3:2005			4628-4:2005			4628-8:2005	
	Control	2 capas	3 capas	Control	2 capas	3 capas	2 capas	3 capas
3	R <sub>i</sub> 5	R <sub>i</sub> 1	R <sub>i</sub> 0	Q2	Q1	Q0	G1	G1
6	R <sub>i</sub> 5	R <sub>i</sub> 2	R <sub>i</sub> 0	Q3	Q2	Q0	G2	G1
9	R <sub>i</sub> 5	R <sub>i</sub> 2	R <sub>i</sub> 0	Q4	Q2	Q0	G2	G1
12	R <sub>i</sub> 5	R <sub>i</sub> 3	R <sub>i</sub> 1	Q5	Q3	Q1	G3	G2
15	R <sub>i</sub> 5	R <sub>i</sub> 4	R <sub>i</sub> 1	Q5	Q4	Q1	G4	G2

En base a la norma ISO 4628-3:2005, los niveles de corrosión sólo son evidentes en las placas de acero sin protección de pintura. Las piezas con capa base e intermedia alcanzan un nivel medio de corrosión (R<sub>i</sub> 2) al cabo de 9 meses, e incluso un nivel alto de corrosión (R<sub>i</sub> 4) al cabo de 15 meses. El grupo con capa base, intermedia y acabado muestran un nivel de corrosión más bajo, incluso hasta los 15 meses (R<sub>i</sub> 1). En relación a la norma ISO 4628- 4:2005 (grado de agrietamiento), se alcanzó el nivel máximo (Q5) en las piezas que carecen de protección. Las recubiertas con capa base é intermedia alcanzaron el nivel Q4 después de 15

meses. Las recubiertas con capa base, intermedia y acabado alcanzaron el deterioro mínimo (Q1) después de 15 meses de exposición.

En la Tabla 14 se muestra un resumen comparativo mostrando las características a nivel de la variación del ancho de la incisión entre las placas con capa base é intermedia y las placas con capa base, intermedia y acabado según el tiempo de exposición.

**Tabla 14.** Características de la incisión en placas con dos capas (base e intermedia) y tres capas (base, intermedia y acabado) según el tiempo de exposición

Tiempo de exposición (meses)	Sistema de protección (capas)	Ancho de la incisión (mm)	Detalles
06	Base é intermedia	0,866	Incisión sin mayor alteración
12	Base é intermedia	1,463	Borde deteriorado, ampollamiento
15	Base é intermedia	1,791	Corrosión filiforme notoria
15	Base é intermedia	3,045	Delaminación, ampollamiento ( =1,373mm diámetro de ampollas)
15	Base, intermedia y acabado	0,866	La corrosión filiforme se aprecia en forma de nervaduras.
15	Base, intermedia y acabado	1,537	Socavamientos en la cercanía de la incisión. Corrosión filiforme

De acuerdo a la norma 12944-5:2008 (anexo A) relacionada a la aplicación de sistemas de pinturas se puede corroborar en la tabla A-5: Sistemas de pinturas para acero al carbono bajo aleado para categorías C5-1 y C5M, referidas a corrosión en atmósfera marina y superiores, que el sistema aplicado de capa base, intermedia y acabado es el óptimo, considerando capas de recubrimiento entre 400 a 500  $\mu\text{m}$ .

De las figuras 43 a la 47, se visualiza en detalle el comportamiento del sistema de tres capas de recubrimiento epóxico frente al tiempo de exposición dentro de un ambiente de corrosión marino. En comparación con aquellas con dos capas de recubrimiento epóxico son notables las diferencias, tanto dentro de la incisión como en la conservación de la placa de acero en general.

En términos generales es importante destacar la protección que brindaron los recubrimientos de dos y tres capas en zonas distantes de la incisión, como se puede apreciar en la figuras 27 a y b, 28 a y b, para las placas con capa base y capa intermedia pues se evidencia la conservación de la superficie. Es aún más evidente aquellas que tuvieron capa base, intermedia y de acabado, como se muestra en las figuras 39, 40 a y b, 41 a y b, respectivamente, donde no se observa deterioro de sus superficies, notándose el efecto protector de los recubrimientos aplicados.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1.-Conclusiones

En relación al comportamiento de las 48 placas de acero dispuestas en tres grupos bajo la influencia de la corrosión atmosférica marina de la Bahía de Chimbote, se pudo obtener:

- Tanto las placas de acero ASTM 131-01 grado A de dimensiones 150x100x1,5 mm, con recubrimiento de pintura epóxica de dos capas (base + intermedia: 226  $\mu\text{m}$  de espesor) como aquellas con recubrimiento de pintura epóxica de tres capas (base + intermedia + acabado: 487  $\mu\text{m}$  de espesor), ejercieron una protección óptima frente a la acción corrosiva de la atmósfera marina en zonas alejadas de las incisiones.
- En la zona de incisión, las placas de acero con recubrimiento de dos capas, debido al efecto corrosivo de la atmósfera marina durante 15 meses, el ancho de la incisión se incrementó de 0,5 a 4,8 mm debido a la corrosión de tipo uniforme. En el recubrimiento de pintura de zonas aledañas a la incisión se observó manifestaciones de corrosión filiforme, ampollamiento y desprendimiento de pintura.
- En la zona de incisión, las placas de acero con recubrimiento de tres capas, debido al efecto corrosivo de la atmósfera marina durante 15 meses, el ancho de la incisión se incrementó de 0,5 a 2,1mm evidenciando un menor grado de deterioro comparado con la protección del recubrimiento con dos capas. En el recubrimiento de pintura de zonas aledañas a la incisión se observó manifestaciones de corrosión filiforme y ampollamiento pero en menor grado de deterioro comparado con la protección del recubrimiento con dos capas.
- El tercer grupo de placas de acero, con capa base, intermedia y acabado, se mantuvieron sin mayor deterioro en su superficie. En la zona aledaña a la incisión mostraron ligero ampollamiento y corrosión filiforme al haber transcurrido 12 meses de exposición. Se verifica en las figuras 39, con un tiempo de exposición de tres meses y un ancho de incisión de 0,58 mm y 46, con un tiempo de exposición de 15 meses y un ensanchamiento de la incisión de 2,06 mm.



- Las placas de acero con recubrimiento de dos capas (base + intermedia) alcanzaron un alto nivel de corrosión en la incisión (Ri4) al cabo de 15 meses, tomando como referencia la norma ISO 4628-3:2005, mientras que el grupo con tres capas de recubrimiento (base + intermedia + acabado) mostró un nivel de corrosión más bajo (Ri1), incluso hasta los 15 meses.
- El grupo con tres capas de recubrimiento (base + intermedia + acabado), después de 15 meses sufrió un ligero deterioro. Estos efectos eran esperables ya que la incisión permite la interacción del sustrato con el medio ambiente, que, en el mar, además de tener alta humedad, están presentes sales de todo tipo que aceleran el proceso de corrosión (Tabla 3).
- Se pudo concluir que el sistema anticorrosivo constituido por tres capas de recubrimiento (base + intermedio + acabado), que presentó un espesor promedio de 487  $\mu\text{m}$  (tabla 10), resultó el de mejor protección a través del tiempo ante la presencia de la atmósfera corrosiva de la Bahía de Chimbote, corroborado mediante la norma ISO 12944-5. Se evidencia comparando las figuras 34 a la 38 frente las figuras de la 39 a la 43.

## 5.2 Recomendaciones

Teniendo en cuenta la calidad del sistema de pinturas anticorrosivas empleadas (capa base, con una o dos capas de acabado), se debe prolongar el tiempo de exposición, así también controlar la temperatura diaria, pues durante el período de exposición la temperatura del medio ambiente sobrepasó los 20°C, provocando que la humedad relativa disminuya y por consiguiente la posibilidad de una corrosión severa sea provocada.

En la preparación de las placas, una vez pulidas las superficies, inmediatamente se debe procurar la aplicación del sistema protector.

Es necesario tener cuidado en la preparación de las muestras que serán expuestas al medio ambiente marino, procurando que no haya problemas con la adherencia o ampollamiento de las pinturas aplicadas.

Es importante la aplicación de un primer (capa base) que permita asegurar la adherencia del sustrato con la pintura de protección. En esa medida las pinturas

epóxicas muestran un alto grado de protección por su alta adherencia, resistencia al impacto y la tracción.

Es recomendable el uso de pinturas epóxicas con una alta concentración de sólidos en volumen, mayor al 50%, pues asegura la adherencia con el sustrato, evita la penetración de agua, é impide el ingreso de oxígeno como elemento que provoque un estado de oxidación. Siendo necesario un sistema de protección con capa base, intermedia y acabado que permitan un recubrimiento promedio de 486,67  $\mu\text{m}$  (tabla 10).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, P (2006) *Efecto de la corrosividad de la atmósfera de la costa norte media peruana sobre metales y recubrimientos orgánicos*. <https://biblioteca.uazuay.edu.ec>

Aguilar, P (2019) *Servicio de estudio de corrosión en Piura y Tumbes*. Electronoroeste S.A. Consultoría & Servicios en Hidrocarburos y Minería S.A.C.

Alcántara, J (2018) *Corrosión atmosférica marina de aceros al carbono*. Universidad Complutense de Madrid

Alemán, C., Ocampo, C., Armelin, E., Casanovas, J., Liesa, J. (2006) *Polímeros conductores: Influencia sobre las propiedades anticorrosivos de las pinturas marinas*. Ciencias marinas, ISSN 0185-3880, Vol. 32, N° 2, 2 (JUL / En revista n. 2B).

Alipio, A., Barboza, L. (2017) *Categorías de corrosividad de la ciudad de Trujillo-Perú 2015/2016, para el acero de bajo carbono y zinc electrolítico*.

Andrés P, Madrigal V, & Cadena F (2007) *Determinación de la corrosividad atmosférica en la ciudad de Esmeraldas Parte II Ecuador*. Escuela Politécnica Nacional.

Asenjo, L, Asenjo, M. (2018) *Evaluación y caracterización de los recubrimientos: Epóxico, zincromato, bituminoso, aplicados sobre acero A36 expuestos a la atmósfera de las localidades de Chala, Camaná y Mejía mediante impedancia electroquímica*. Universidad San Agustín de Arequipa

Asrar, N., Mackay, B., Birkeitveit, O., Jackson, J. (2016) *La corrosión: La luchas más extensa* Oilreview Vol 28 N°02.

ASM International (2000) *Forms of corrosion: Recognition and Prevention*. EBSCO Publishing

ASTM Standard (2201) *Test Method for Evaluating Degree of Rusting Painted Steel Surfaces*.

Ayllón, E., Rosales, B. (1986) *Corrosión atmosférica marina en acero SAE 1010*. Revista Latinoamericana de metalurgia y materiales. Vol 6 N°1 y 2.

Blas, J. (2017) *Efecto del tipo y espesor de sistemas de pinturas anticorrosivas sobre su durabilidad cuando están aplicadas en acero ASTM-36 y evaluados en ambiente salino controlado*. Universidad Nacional de Trujillo.

Blustein, G. (2006) *Estudio de las Propiedades Anticorrosivas del Benzoato de Hierro (III) en Pinturas Base Solvente*. España

Brycki, B., Kowalczyk, I., Szulc, A., Kaczerewska, O., & Pakiet, M. (2018) *Organic Corrosion Inhibitors*, In M Aliofkhazraei (Ed).

Carrero, J. (2018) *Análisis de recubrimientos orgánicos aplicados sobre aceros tipo ASTM 131 par los astilleros COTECMAR*. Universidad Libre de Colombia

Carvalho, G., & Hugo, C. (2014) *Estudio de la corrosión atmosférica sobre dos tipos de aceros de bajo carbono en instalaciones industriales petroleras cercanas al mar en el nor oeste del Perú*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Castañeda, N., García, J. (2019). *Influencia del tipo y espesor del recubrimiento de pinturas anticorrosivas sobre su durabilidad cuando están aplicados en aceros ASTM A-36 y expuestas a atmósfera marinas de la provincia de Trujillo- Perú 2018-2019*. Universidad Nacional de Trujillo.

Cayuela, C., (1999) *Factores de Influencia en el ampollamiento osmótico de pinturas marinas en inmersión continuada*. Universidad País Vasco. España.

Chico, B., Otero, E., Mariaca, L., Morcillo, M. (1998) *La corrosión en atmósferas marinas. Efecto de la distancia ala costa*. Revista de Metalurgia. Vol 34 Extra

CIDETEC (2005) *Hoja informativa de corrosión*. N° 7, Junio 2005. España.

CONICET (2002) *Pinturas y corrosión en aceros de arquitectura*, Bs.As. Argentina

Cortés, M.,(2004) *Corrosión. Apuntes científicos UNIANDES N° 4*. Colombia

Cuesta, M. (2017) *Tratamientos anticorrosivos a base de pinturas especializadas para sistemas metálicos aplicadas a una sala de máquinas de un buque*. Universidad de Cantabria.

C y M Materiales (2017) *Granallado. Normas de preparación de superficies*. Argentina, Universidad Tecnológica de Pereira.

De La Fuente, D., Chico, B., Morcillo, M.(2000). *Corrosión atmosférica de metales en condiciones climáticas extremas*. Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio. Vol 39 N°3.

De La Fuente, D., Chico, B., Simancas, J., Morcillo, M.(2005). *Corrosión atmosférica de metales. Efecto de parámetro meteorológicos y de contaminación*. Revista de Química Teórica y Aplicada. Vol 62 N°519.

Del Amo, B.,(2001) *Protección del acero con pinturas anticorrosivos formuladas a base de fosfato de cinc y aluminio*. La Plata, Argentina. Jornadas SAM – CONAMET – AAS

Farro, M. (2009) *Corrosión del cobre y el acero al carbón en el mar y atmósfera del Puerto de Salaverry*. Universidad Nacional de Trujillo.

Genescá, J., Llongeras, J., & Mendoza, J. (1996) *Más allá de la herrumbre*. México. Fondo de Cultura Económica.

Gómez, R., & Lana-Villarreal, T.,(2008) *Tema 5. Cinética de la corrosión*. Universidad de Alicante. <http://rua.ua/dspace/handle/10045/8231>

Gómez-Pascual, J., & Rizo-Álvarez, I.,(2015). *Caracterización de productos del acero al bajo carbono en atmósferas contaminadas por compuestos de azufre*. Revista TECNOCENCIA. Chihuahua. Vol 9 N°3.

González, J. (2010) *Protección frente a la corrosión metálica con recubrimiento polimérico. Estudio electroquímico y micro electroquímico*. España. Universidad de la Laguna.

ICP, (2019) *Definición de metodología para medición de efectos de la corrosión atmosférica en Lima*. Universidad Pontificia Católica del Perú.

Irribarren, J., (2003) *Urban and marine corrosion*. España

Kanna, A, *High performance organic coatings* . England. Woodhead Publishing.

Keiman, A.,(2011) *Propiedades ópticas de polímeros aplicadas a pinturas decorativas*. Universidad Autónoma de México.

Lau, K., (2010) *Corrosion of epoxy-coated reinforcement in marine bridges with locally deficient concrete*. University of South Florida.

Leidheiser, H.,(1982) *Corrosion of painted metals-A review*. Corrosion The journal of Science & Engineering Vol 38 N°7.

Llacza, E.,(2016) *Comportamiento de las variables meteorológicas en el distrito de Chimbote durante 2016*. Universidad San Pedro.

Molina, L.,(2011) *Estudio avanzado de corrosión: Análisis del estado de corrosión de un edificio modernista de Barcelona y estudio de mecanismos de protección basados en recubrimientos orgánicos*. Universitat Politècnica de Catalunya.

Morcillo, M.,(1991) *Estudio de distintas variables con influencia en el comportamiento de la atmósfera de los recubrimientos anticorrosivos de pintura aplicados sobre acero*. Universidad Complutense de Madrid.

NACE (2004). *Curso de corrosión básica*.

Nguyen, T.,& Martin, J.,(2004) *Modes and mechanisms for the degradation of fusion-bonded epoxy-coated Steel in a marine concrete environment*. Journal of coatings technology and research. Journal of coating technology and research. Vol 1 N°2

Nguyen, T.,and Martin, W.,(2018) *Modes and mechanism of degradation of epoxy-coated reinforcing Steel in marine environment*. Londres. Taylor & Francis

Nudsen, O.,Forsgren, A.,( 2017) *Corrosion and control Through Organic coatings*. EUA. CRC Press.

Pannoni, F., (2019) *Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego*. México. Gerdau-Corsa

Paredes, V. (2018) *Impactos ambientales de dióxido de azufre y material particulado (PM 2.5), sobre la calidad del aire. Chimbote 2014-2016*. Universidad Nacional del Santa.

Rodríguez, E., Salas, J., (2019) *Influencia del tipo y espesor de pintura anticorrosiva sobre su durabilidad cuando está aplicado en acero ASTM-36 y evaluado en suelo húmedo franco arenoso*. Universidad Nacional de Trujillo.

- Rosario, S.,(2003) *Materiales: la corrosión, su tradición y alcances*. UNMSM, Lima
- Santana, J., (1999) *Estudio de la corrosión atmosférica del acero al carbono y sus productos de corrosión mediante el empleo de técnicas electroquímicas, difracción de rayos x y microscopía electrónica*. ULPGC, España.
- Schweitzer, P., (2006) *Paint and coatings: Application and corrosion resistance*. CRC Press.
- THERMOGUARD (2007) *Theory and corrosion*. R.U.
- Torres, M., (2010) *Estudio comparativo del proceso de corrosión en recubrimientos cerámicos, metálicos y orgánicos mediante técnicas electroquímicas*. Universidad Nacional de Colombia.
- UNE (2008) *UNE-EN-ISO 8501-1-2008*. España. Normalización española.
- Veleza, L., (2003) *Atmospheric corrosion*. México. Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Yin B, et al. (2021) *Corrosion image data set for automating scientific assessment of materials*. Instituto Politécnico de Worcester.

# ANEXOS

## ANEXO A

### NORMAS TÉCNICAS

#### A.1-Preparación de superficie

##### Norma SSPC

Norma SSPC	Descripción		Última revisión
SSPC-SP COM	Comentarios sobre Preparación de superficie para acero y sustratos de hormigón		Mar 2015
SSPC-SP 1	Limpieza con Solventes		Abr. 2015
SSPC-SP 2	Limpieza con herramientas manuales	Cepillos, lijas, etc	Nov. 2014
SSPC-SP 3	Limpieza con herramientas manuales mecánicas	Herramientas eléctricas o neumáticas	Nov. 2014
SSPC-SP 5 / NACE Nº 1	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Metal Blanco	Ene. 2007
SSPC-SP 6 / NACE Nº 3	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Comercial	Ene. 2007
SSPC-SP 7 / NACE Nº 4	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Ligero	Ene. 2007
SSPC-SP 8	Decapado químico		Nov. 2014
SSPC-SP 10 / NACE Nº 2	Limpieza con Chorro de abrasivo	Granallado Semi-Blanco	Ene. 2007
SSPC-SP 11	Limpieza Manual con herramientas mecánicas	Limpieza metal limpio o desnudo c/ rugosidad mínima de 25 micrones	Jul. 2012
SSPC-SP 12 / NACE Nº 5	Limpieza con Agua presión - Waterjetting	Reescrita en Julio 2012 y reemplazadas por las normas SSPC-SP WJ-1,2,3, y 4	Jul. 2002
SSPC-SP 13 / NACE Nº 6	Limpieza de concreto		Mar. 2003
SSPC-SP 14 / NACE Nº 8	Granallado industrial		Ene 2007
SSPC-SP 15	Limpieza Manual con herramientas mecánicas	Limpieza comercial con rugosidad mínima de 25 micrones	Jul. 2012
SSPC-SP 16	Limpieza metales no ferrosos	Galvanizado, Acero Inoxidable, cobre aluminio, latón, etc.	Abr. 2010

Nota: los datos se actualizan conforme van evolucionando la norma SSPC. (revisión agosto 2015)



CYM - 2

CYM MATERIALES SA  
[www.cym.com.ar](http://www.cym.com.ar) // [info@cym.com.ar](mailto:info@cym.com.ar)



**SSPC-SP-6 / NACE N°3 (Limpieza con chorro de abrasivo - Granallado / arenado comercial)**

Preparación de superficie o limpieza con chorro de Abrasivo conocido como granallado o arenado - Grado Comercial.

Este tipo de limpieza, utiliza algún tipo de abrasivo 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 y los restos de capa de laminación no deben superar al 33% de la superficie en cada pulgada cuadrada de la misma. Los restos deben verse sólo como de distinta coloración. Generalmente se lo especifica en aquellas zonas muy poco solicitadas sin ambientes corrosivos.

**SSPC-SP-7 / NACE N°4 (Limpieza con chorro de abrasivo - Granallado / arenado rápido)**

Preparación de superficie o limpieza con chorro de Abrasivo conocido como granallado o arenado rápido o ráfaga.

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

La superficie debe verse libre de aceite, grasa, polvo, capa suelta de laminación, óxido suelto y capas de pintura desprendidas. Conserva la capa de laminación donde está firmemente adherida. Estas partes no deben desprenderse mediante un objeto punzante. Es utilizado sólo en los casos de condiciones muy poco severas y presentará áreas de probables fallas.



CYM - 4



#### **SSPC-SP-8 (limpieza con decapado químico)**

Preparación de superficie o decapado, por reacción química, electrolisis o por medio de ambos para limpiar una superficie produciendo mordiente. A través de una reacción química con algún producto específico, las superficies metálicas son liberadas de laminilla, óxido, pintura y materiales extraños, posteriormente la reacción es neutralizada con alguna otra solución y secada con aire o vacío. Los resultados pueden ser considerados aceptables pero el método es de alto riesgo.

#### **SSPC-SP-10 / NACE N°2 (Limpieza con chorro de abrasivo - Granallado / arenado semi-blanco)**

Preparación de superficie o limpieza con chorro de Abrasivo conocido como granallado o arenado semi blanco.

Este tipo de limpieza, utiliza algún tipo de abrasivo 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 y otros materiales extraños. Se admite hasta un 5% de restos de contaminantes que pueden aparecer sólo como distinta coloración en cada pulgada cuadrada de la superficie.

Es la especificación más comúnmente utilizada. Reúne las características de buena preparación y rapidez en el trabajo. Se lo utiliza para condiciones regulares a severas.

#### **SSPC-SP-11 (Limpieza manual con herramientas mecánicas - metal desnudo)**

Preparación de superficie o limpieza manual utilizando herramientas eléctricas o neumáticas, para producir una superficie de metal desnudo eliminando impurezas, tales como: residuos de soldaduras, oxidación, pintura envejecida y otras incrustantes produciendo una rugosidad mínima de 25 micrones (1 mil).

Esta norma es adecuada cuando se requiere una superficie limpia y rugosa, pero donde el proceso de granallado / arenado no es factible o permitido usar

Esta norma difiere de la SSPC-SP 3, que solo exige la eliminación de materiales de baja adherencia y no requiere producir o conservar un perfil de rugosidad

Esta norma difiere de SSPC-SP 15, que permite que un porcentaje de manchas de óxido, pintura, o cascarilla de laminación permanezcan en la superficie, mientras que en la norma SSPC-SP 11 sólo se permite que estos contaminantes permanezcan en el fondo de los cráteres.



CYM - 5

**CYM MATERIALES SA**

[www.cym.com.ar](http://www.cym.com.ar) // [info@cym.com.ar](mailto:info@cym.com.ar)

#### **SSPC-SP-12 / NACE N° 5 (Limpieza con agua a presión - Waterjetting)**

Preparación de superficie o limpieza con el uso de agua a presión o waterjetting logrando un grado definido de limpieza de superficie antes de la aplicación de un recubrimiento o revestimiento protector.

La norma tiene un alcance limitado al uso exclusivo de agua y es utilizada principalmente para aplicaciones en las que el sustrato es acero al carbono. Sin embargo, el proceso de waterjetting se puede utilizar para limpieza de superficies no ferrosas tales como bronce, aluminio, y otros metales como el acero inoxidable. Esta norma no se ocupa de la limpieza de concreto que se detalla en la norma SSPC-SP 13

Nota: Esta norma fue reescrita en Julio 2012 y reemplazada por las siguientes normas:

- **SSPC-SP WJ-1/NACE WJ-1** (Mar/2014) Limpieza a metal desnudo por chorro de agua
- **SSPC-SP WJ-2/NACE WJ-2** (Mar/2014) Limpieza muy profunda del metal por chorro de agua
- **SSPC-SP WJ-3/NACE WJ-3** (Mar/2014) Limpieza profunda del metal por chorro de agua
- **SSPC-SP WJ-4/NACE WJ-4** (Mar/2014) Limpieza liviana del metal por chorro de agua

#### **SSPC-SP-13 / NACE N°6 (limpieza de concreto)**

Preparación de superficies o limpieza de concreto utilizando medios mecánicos, químicos o métodos térmicos previos a la aplicación de un recubrimiento o revestimiento de protección.

Los requisitos de esta norma son aplicables a todo tipo de superficies de cemento, incluyendo pisos y muros, losas prefabricadas, muros de mampostería, etc

Una superficie de concreto debe estar libre de contaminantes, lechada, hormigón débilmente adherido, y el polvo, proporcionando un sustrato uniforme adecuado para la aplicación de recubrimiento o revestimiento de protección.

#### **SSPC-SP-14 / NACE N°8 (Granallado industrial)**

Esta norma cubre los requisitos utilizados en la limpieza con chorros de abrasivo para el tratamiento de superficies de acero pintados o sin pintar en usos industrial. Estos requisitos incluyen la condición final de la superficie y los materiales procedimientos necesarios para lograr y verificar la condición final de la superficie.

La superficie granallada, cuando se ve sin aumento, deberá estar visiblemente libre de aceite, grasa, polvo y suciedad.

Restos de cascarilla de laminación, óxido y de revestimiento fuertemente adheridas están autorizados a permanecer dentro del 10% de cada unidad de área de la superficie tratada si están distribuidas de manera uniforme. Restos cascarilla de laminación, óxido y



CYM - 6

**CYM MATERIALES SA**

[www.cym.com.ar](http://www.cym.com.ar) // [info@cym.com.ar](mailto:info@cym.com.ar)



recubrimientos se considerarán fuertemente adheridos si no se pueden quitar con espátula.

Sombras, rayas, y decoloraciones causadas por manchas de óxido, manchas de cascarilla de laminación, y manchas de recubrimiento aplicado anteriormente pueden estar presentes en el resto de la superficie.

#### **SSPC-SP-15 (Limpieza manual con herramientas mecánicas - grado comercial)**

Preparación de superficie o limpieza Manual utilizando herramientas eléctricas o neumáticas, en un grado comercial eliminando impurezas, tales como: residuos de soldaduras, oxidación, pintura envejecida y otras incrustantes produciendo una rugosidad mínima de 25 micrones (1 mil).

Una grado de limpieza comercial, cuando se ve sin aumento, deberá estar libre de aceite visible, grasa, suciedad, óxido, recubrimientos viejos, cascarillas de laminación, productos de corrosión, y otras materias extrañas, excepto como se indica a continuación.

Esta norma permite manchas aleatorias limitadas a no más de un 33% de cada área de superficie a limpiar. La mancha puede consistir en sombras de luz, rayas leves o decoloraciones leves causadas por manchas de óxido, manchas de cascarilla de laminación, o manchas de revestimiento aplicado previamente.

Leves residuos de óxido y pintura también se pueden dejar en el fondo de los cráteres de la superficie.

Esta norma difiere de las normas SSPC SP 3 y SSPC SP 11

#### **SSPC-SP-16 (limpieza de metales no ferrosos)**

Preparación de superficie para dar rugosidad y limpieza a sustratos metálicos no ferrosos revestidos y no revestidos, incluyendo, pero no limitado, a superficies galvanizadas, acero inoxidable, cobre, aluminio y latón.

La superficie debe quedar libre de contaminantes y recubrimientos sueltos mediante inspección visual con un perfil de rugosidad mínimo de 19 micrones (0,75 mil) en la superficie del metal.



CYM - 7



# A.2-Normas técnicas empleadas en la evaluación de los recubrimientos protectores

---

**NORMA CUBANA**

**NC**

ISO 12944-1: 2008  
(Publicada por la ISO en 1998)

---

**PINTURAS Y BARNICES — PROTECCIÓN DE  
ESTRUCTURAS DE ACERO FRENTE A LA CORROSIÓN  
MEDIANTE SISTEMAS DE PINTURA PROTECTORES —  
PARTE 1: INTRODUCCIÓN GENERAL  
(ISO 12944-1:1998, IDT)**

Paints and varnishes — Corrosion protection of steel structures by  
protective paint systems — Part 1: General Introduction

---

ICS: 87.020

1. Edición      Mayo 2008  
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La  
Habana, Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico:  
nc@ncnorma.cu; Sitio Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

**PINTURAS Y BARNICES — PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO FRENTE A LA  
CORROSIÓN MEDIANTE SISTEMAS DE PINTURA PROTECTORES — PARTE 1:  
INTRODUCCIÓN GENERAL**

**1 Objeto y campo de aplicación**

**1.1** Esta parte de la norma NC-ISO 12944 trata sobre la protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas protectores de pintura.

**1.2** Esta parte de la norma NC-ISO 12944 abarca únicamente la función protectora de los sistemas de pintura frente a la corrosión. Otras funciones protectoras, como la protección frente:

- a los microorganismos (algas marinas, bacterias, hongos etc.)
- a los agentes químicos (ácidos, álcalis, disolventes orgánicos, gases, etc.)
- a las acciones mecánicas (abrasión, etc.) y
- al fuego.

no se encuentran contempladas en esta parte de la norma NC-ISO 12944.

**1.3 El campo de aplicación se caracteriza por:**

- el tipo de estructura;
- el tipo de superficie y la preparación de ésta;
- el tipo de sistema protector de pintura;
- el tipo de trabajo y
- la durabilidad del sistema protector de pintura.

Aunque esta parte de la norma NC-ISO 12944 no cubre todos los tipos de estructuras, superficies y preparación de éstas, puede también, previo acuerdo, ser aplicada en aquellos casos no contemplados en la misma.

Los diversos aspectos del campo de aplicación se describen con mayor nivel de detalle en los apartados 1.3.1 a 1.3.6.

**1.3.1 Tipos de estructuras** Esta parte de la norma NC-ISO 12944 contempla las estructuras realizadas con aceros al carbono o de baja aleación (de acuerdo con la Norma EN 10025:90, por ejemplo) de espesores no inferiores a 3 mm, y que han sido diseñadas mediante cálculos de resistencia conocidos.

Las estructuras de hormigón reforzadas con acero no se encuentran contempladas en esta norma.

**1.3.2 Tipos y preparación de superficies** Esta parte de la norma NC-ISO 12944 trata los siguientes tipos de superficie de acero al carbono o de baja aleación, y su preparación:

- superficies no pintadas;
- superficies pulverizadas térmicamente con zinc, aluminio o sus aleaciones;
- superficies galvanizadas por inmersión en caliente;
- superficies con zinc electrodepositado;
- superficies sherardizadas;
- superficies pintadas con una imprimación de origen;
- otras superficies pintadas.

**1.3.3 Tipo de ambiente** Esta parte de la norma NC-ISO 12944 considera:

- seis categorías de corrosividad para ambientes atmosféricos,
- tres categorías de estructuras sumergidas en agua o enterradas en el suelo.

**1.3.4 Tipo de sistema de pintura protector** Esta parte de la norma NC-ISO 12944 comprende una variedad de productos de recubrimiento que secan o curan en condiciones ambientales.

No se contemplan en esta parte de la norma NC-ISO 12944:

- materiales de recubrimiento en polvo;
- esmalte de secado al horno;
- pinturas curadas por calor;
- recubrimientos con un espesor de película seca superior a 2 mm;
- revestimientos interiores de tanques;
- productos para el tratamiento químico de superficies (como, por ejemplo, soluciones fosfatantes).

**1.3.5 Tipo de trabajo** Esta parte de la norma NC-ISO 12944 considera las obras nuevas y los trabajos de mantenimiento.

**1.3.6 Durabilidad del sistema de pinturas protector** Esta parte de la norma NC-ISO 12944 considera tres rangos de durabilidad diferentes (bajo, medio y alto). Véase el apartado 3.5 y el capítulo 4.

El rango de durabilidad no es un periodo de garantía.

## 2 Normas para consulta

Las normas que a continuación se relacionan contienen disposiciones válidas para esta Norma Cubana. En el momento de su publicación las ediciones indicadas estaban en vigor. Toda norma está sujeta a revisión por lo que las partes que basen sus acuerdos en esta norma deben estudiar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de las normas indicadas a continuación. La Oficina Nacional de Normalización, como Miembro de la ISO y la IEC, posee el registro de las Normas Internacionales en vigor en cada momento.

NC-ISO 4628-1:2007 Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 1: Introducción general y sistema de designación.

NC-ISO 4628-2:2007 Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 2: Evaluación del grado de ampollamiento.

NC-ISO 4628-3:2007 Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 3: Evaluación del grado de oxidación.

NC-ISO 4628-4:2007 Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 4: Evaluación del grado de agrietamiento.

NC-ISO 4628-5:2007 Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 5: Evaluación del grado de descamación.

ISO 8044:1999 Corrosión de metales y aleaciones. Vocabulario.

ISO 4618-1:1998 Pinturas y barnices. Términos y definiciones para materiales de recubrimiento. Parte 1: Términos generales

EN 10025:1990 *Productos laminados en caliente, de acero no aleado, para construcciones metálicas de uso general. Condiciones de suministro.*

### 3 Definiciones

Para los propósitos de esta parte de la norma NC-ISO 12944, se aplican las siguientes definiciones. Se dan definiciones adicionales en otras partes de la misma.

NOTA -Algunas de las definiciones han sido tomadas de la norma ISO 8044:1999 y de la Norma ISO 4618-1:1998, según se indica.

**3.1 capa** Película continua de un material metálico o una película continua de pintura (3.7), resultante de una única aplicación.

**3.2 corrosión** Interacción fisicoquímica entre un metal y su medio ambiente que produce modificaciones en la naturaleza y en las propiedades del metal, provocando, frecuentemente una degradación de la función del metal, de su ambiente o del sistema técnico constituido por los factores. [ISO 8044].



**3.3 daño debido a la corrosión** Manifestación de la corrosión juzgada perjudicial para la función del metal, su ambiente o el sistema técnico constituido por los dos factores. [ISO 8044].

**3.4 agentes corrosivos** Factores medio ambientales que producen la corrosión.

**3.5 durabilidad** Tiempo de vida esperado para un sistema protector de pintura hasta su primer repintado general. Véase el apartado 4.4.

**3.6 lining**<sup>1</sup> Recubrimiento protector aplicado sobre la superficie de un tanque.

**3.7 pintura** Producto pigmentado, líquido, en pasta o en forma de polvo, que, cuando se aplica sobre un sustrato, forma una película opaca con propiedades protectoras, decorativas u otras propiedades frente a la corrosión. [ISO 4618-1].

**3.8 sistema de recubrimiento protector** El total de las capas de materiales metálicos y/o pinturas o productos relacionados que van a ser aplicados, o que ya lo han sido, sobre un sustrato para protegerlo frente a la corrosión.

**3.9 sistema de pintura protector** Suma total de las capas de pinturas o productos relacionados que van a ser aplicados, o que lo han sido, sobre un sustrato para protegerlo de la corrosión.

**3.10 sustrato** Superficie sobre la cual está aplicado, o va a ser aplicado, el material de recubrimiento. [ISO 4618-1].

#### 4 Consideraciones y requisitos generales

**4.1** Dado que la protección aportada por los sistemas de pintura es efectiva durante un período generalmente más corto que la vida en servicio esperada de la estructura, se debe considerar, en las etapas de planificación y diseño, la posibilidad de su mantenimiento o renovación.

**4.2** Los componentes estructurales que se encuentran sometidos a condiciones de corrosividad y que no son accesibles para aplicar medidas de protección frente a la corrosión una vez que han sido armados, deben tener un tratamiento anticorrosivo que sea efectivo y que garantice la estabilidad de la estructura durante todo el tiempo que dicha estructura se encuentre en servicio. Si esto no puede ser logrado mediante sistemas de recubrimientos protectores, deben tomarse otras medidas (por ejemplo: fabricando los componentes de materiales resistentes a la corrosión, diseñando los componentes de tal forma que sean recambiables o especificando unos criterios de tolerancia a la corrosión).

**4.3** La relación coste-eficacia de un determinado sistema protector frente a la corrosión será, generalmente, directamente proporcional al tiempo durante el cual dicha protección sea efectiva, reduciendo al mínimo el volumen de los trabajos de mantenimiento o de sustitución necesarios durante la vida en servicio de la estructura.

**4.4** La intensidad del fallo del recubrimiento, antes de que este sea sometido al primer trabajo de mantenimiento general, debe acordarse entre las partes interesadas y valorarse conforme a las

---

<sup>1</sup> No hay término equivalente en castellano

Normas NC-ISO 4628-1 a NC-ISO 4628-5, a no ser que se acuerde otra cosa entre las partes interesadas.

En esta norma, se consideran tres clases de durabilidad:

Baja (L)	de 2 a 5 años
Media (M)	de 5 a 15 años
Alta (H)	de más de 15 años

La durabilidad no es un período de garantía. La durabilidad es una consideración técnica que puede ayudar al propietario a establecer un programa de mantenimiento. El período de garantía tiene una consideración jurídica, objeto de cláusulas en la parte administrativa del contrato. El período de garantía es, usualmente, más corto que la durabilidad. No existen reglas que relacionen los dos períodos de tiempo.

**4.5** Para los propósitos de la gestión de calidad, deberían, preferiblemente, tenerse en cuenta las Normas de la serie ISO 9000.

## 5 Seguridad e higiene y protección del medio ambiente

Es obligación de los clientes, técnicos, contratistas, fabricantes de pintura, inspectores y cualquier tipo de personal involucrado en el proyecto, el llevar a cabo el trabajo del que son responsables, de forma que no pongan peligro la salud y seguridad que ellos mismos y de otros.

Como consecuencia de tal obligación, cada parte debe asegurar el cumplimiento de la reglamentación vigente del país en el que realizan el trabajo, o cualquier parte del trabajo.

NOTA - Aspectos que necesitarán una atención particular son, por ejemplo:

- no especificar sustancias tóxicas ni cancerígenas;
- la reducción de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV);
- las medidas frente a los efectos perjudiciales de los humos, polvo, vapores y ruidos, así como los peligros de incendios;
- la protección del cuerpo, incluidos los ojos, la piel, los oídos y el sistema respiratorio;
- la protección del agua y del suelo durante los trabajos de protección frente a la corrosión;
- el reciclado de los materiales y la gestión de los residuos.

## 6 Información sobre las otras partes de la Serie NC-ISO 12944

**6.1** La Parte 2 describe los agentes de corrosión producidos por la atmósfera, por distintos tipos de aguas y por el suelo. Define diferentes categorías de corrosividad atmosférica e indica los agentes corrosivos previsible cuando la estructura de acero se encuentra sumergida en agua o enterrada en el suelo. Los agentes corrosivos a los que se encuentra sometida una estructura de acero representan un parámetro esencial, que determina la sección del sistema protector de pintura apropiado de acuerdo con la Parte 5.

**6.2** La Parte 3 proporciona información sobre los criterios básicos del diseño de estructuras de acero con el fin de mejorar su resistencia frente a la corrosión. Da ejemplos de diseños apropiados e inapropiados, indicando, con la ayuda de figuras, qué elementos estructurales y las combinaciones que estos causarán, probablemente, problemas de accesibilidad durante los trabajos de preparación de superficie y durante la aplicación, inspección y mantenimiento de sistemas de pintura. Adicionalmente, se tratan las características de diseño que facilitarán la manipulación y el transporte de las estructuras de acero.

**6.3** La Parte 4 describe diferentes tipos de superficies a proteger y proporciona información sobre los métodos de preparación de superficies mecánicos, químicos y térmicos. Esta parte trata sobre diferentes grados de preparación de superficies, perfil de la superficie (rugosidad), valoraciones de las superficies preparadas, protección temporal de las superficies protegidas, preparación de las superficies protegidas temporalmente por recubrimientos subsiguientes, preparación de los recubrimientos metálicos ya aplicados y consideraciones medio ambientales. En la medida de lo posible, se hace referencia a las Normas Internacionales básicas relativas a la preparación de los sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos relacionados. La Parte 4 debe leerse junto con las Partes 5 y 7.

**6.4** La Parte 5 detalla diferentes tipos genéricos de ensayo según su composición química y el tipo de proceso de formación de la película. Proporciona ejemplos de varios sistemas de pintura protectores en los que se ha comprobado su adecuación en estructuras expuestas a agentes corrosivos con diferentes categorías de corrosividad, como se describe en la Parte 2, plasmando el actual conocimiento a escala mundial. La Parte 5 debe leerse junto con la Parte 6.

**6.5** La Parte 6 especifica métodos de ensayo de laboratorio a utilizar cuando ha de ser valorada la eficacia del sistema protector de pinturas. Está particularmente indicada para aquellos sistemas de pintura de los que no se tiene todavía suficiente experiencia práctica, y recoge el ensayo de sistemas de pintura, dirigidos a ser aplicados sobre aceros preparados por chorreado, aceros galvanizados por inmersión en caliente y recubrimientos metálicos pulverizados térmicamente. También se encuentran contemplados diversos ambientes atmosféricos e inmersión en aguas (dulce, salobre o agua de mar).

**6.6** La Parte 7 describe cómo deben aplicarse los trabajos de aplicación de pintura en un taller a pie de obra. Describe métodos para la aplicación de materiales de recubrimiento. También se contemplan la manipulación y el almacenamiento de materiales de recubrimiento antes de su aplicación, la inspección de los trabajos y el seguimiento de los sistemas de pintura resultantes, así como la preparación de las áreas de referencia. No se encuentran recogidos los trabajos de preparación de superficie (véase la Parte 4).

**6.7** La Parte 8 proporciona una guía para desarrollar las especificaciones de los trabajos de protección frente a la corrosión, describiendo todo lo que debe tenerse en cuenta, cuando una estructura de acero ha de ser protegida frente a la corrosión. Por conveniencia para el usuario, la Parte 8 distingue entre las especificaciones del proyecto, la especificación del sistema de pintura, la especificación de los trabajos de pintado y las especificaciones de inspección y ensayo. Varios anexos versan sobre los aspectos particulares, tales como la planificación de los trabajos, áreas de referencia e inspección, y proporcionan modelos de formulario, con la intención de facilitar el trabajo.

---

**NORMA CUBANA**

**NC**

ISO 12944-5: 2008  
(Publicada por la ISO en 2007)

---

**PINTURAS Y BARNICES — PROTECCIÓN DE  
ESTRUCTURAS DE ACERO FRENTE A LA CORROSIÓN  
MEDIANTE SISTEMAS DE PINTURA PROTECTORES —  
PARTE 5: SISTEMAS DE PINTURA PROTECTORES  
(ISO 12944-5:2007, IDT)**

Paints and varnishes— Corrosion protection of steel structures by protective  
paint systems — Part 5: Protective paint systems

---

ICS: 87.020

1. Edición      Julio 2008  
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La  
Habana. Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico:  
nc@ncnorma.cu; Sitio Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

### **Introducción nacional**

La Norma ISO 12944, cuyo título general es Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, comprende las partes siguientes:

Parte 1: Introducción general

Parte 2: Clasificación de ambientes

Parte 3: Consideraciones de diseño

Parte 4: Tipos y preparación de superficies

Parte 5: Sistema de pintura protectores

Parte 6: Ensayos de comportamiento en laboratorio

Parte 7: Ejecución y supervisión de los trabajos de pintado

Parte 8: Desarrollo de especificaciones para obra nueva y para trabajos de mantenimiento

## Índice

0. Introducción.....	5
1 Objeto y campo de aplicación.....	6
2 Referencias normativas .....	6
3 Términos y definiciones .....	7
4 Tipos de pintura.....	9
4.1 General.....	9
4.2 Recubrimientos reversibles.....	9
4.3 Recubrimientos irreversibles.....	9
4.4 Propiedades generales de los distintos tipos genéricos de pinturas .....	12
5 Sistemas de pintura .....	13
5.1 Clasificación de los ambientes y de las superficies a pintar .....	13
5.2 Tipo de imprimación.....	14
5.3 Sistemas de pintura con bajo contenido en COV.....	14
5.4 Espesor de película seca.....	15
5.5 Durabilidad .....	16
5.6 Aplicación en taller y a pie de obra.....	17
6 Tablas para sistemas de pintura protectores .....	18
6.1 Lectura de las tablas .....	18
6.2 Parámetros que influyen en la durabilidad .....	18
6.3 Designación de los sistemas de pintura enumerados.....	19
6.4 Guías para la selección del sistema de pintura apropiado .....	19
Anexo A (Informativo) .....	20
Anexo B (Informativo) .....	30
Anexo C (Informativo) .....	32
Anexo D (Informativo) .....	33
Bibliografía.....	36

**PINTURAS Y BARNICES — PROTECCIÓN DE ESTRUCTURAS DE ACERO FRENTE A LA  
CORROSIÓN MEDIANTE SISTEMAS DE PINTURA PROTECTORES — PARTE 5: SISTEMAS  
DE PINTURA PROTECTORES**

## **1 Objeto y campo de aplicación**

Esta parte de la Norma ISO 12944 describe los tipos de pintura y sistemas de pintura utilizados comúnmente para la protección de las estructuras de acero frente a la corrosión. Proporciona, además, una guía para la selección de sistemas de pintura aplicables a diferentes ambientes (véase la Norma ISO 12944-2), grados de preparación superficial (véase la Norma ISO 12944-4) y durabilidad previstos (véase la Norma ISO 12944-1). La durabilidad de los sistemas de pintura se clasifica en términos de baja, media y alta.

## **2 Referencias normativas**

Los siguientes documentos de referencia son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias fechadas, solamente se aplica la edición citada. Para las referencias no fechadas, se aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier enmienda)

ISO 2808: 2007 Pinturas y barnices - Determinación del espesor de película.

ISO 3549: 1995 Pigmentos de cinc en polvo para pinturas - Especificaciones y métodos de ensayo.

NC ISO 4628-1: 2007 Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos de pintura - Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos - Parte 1: Principios generales y esquemas de evaluación.

NC ISO 4628-2: 2007 Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos de pintura - Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos - Parte 2: Designación del grado de ampollamiento.

NC ISO 4628-3: 2007 Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos de pintura - Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos - Parte 3: Designación del grado de oxidación.

NC ISO 4628-4: 2007 Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos de pintura - Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos - Parte 4: Designación del grado de agrietamiento.

NC ISO 4628-5: 2007 Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos de pintura - Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos - Parte 5: Designación del grado de descamación.

NC ISO 4628-6: 2007 Pinturas y barnices. Evaluación de la degradación de los recubrimientos de pintura. Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos. Parte 6: Evaluación del grado de enyesado por el método de la cinta.

ISO 8501-1: 2007 Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines - Evaluación visual de la limpieza de las superficies - Parte 1: Grados de óxido y grados de preparación de sustratos de acero no pintados y de los sustratos de acero después de decapados totalmente de recubrimientos anteriores.

ISO 8501-3: 2006 Preparación de sustratos de acero previa a la aplicación de pinturas y productos afines - Evaluación visual de la limpieza de las superficies - Parte 3: Grados de preparación de las soldaduras, bordes y otras áreas con imperfecciones de la superficie.

ISO 12944-1: 1988 Pinturas y barnices - Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores - Parte 1: Introducción general.

ISO 12944-2: 1998 Pinturas y barnices - Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores - Parte 2: Clasificación de ambientes.

ISO 12944-4: 1998 Pinturas y barnices - Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores - Parte 4: Tipos y preparación de superficies.

ISO 12944-6: 1998 Pinturas y barnices - Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores - Parte 6: Ensayos de comportamiento en laboratorio y criterios de evaluación asociados.

ISO 19840: 2004 Pinturas y barnices - Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores - Criterios de medición y aceptación para el espesor de películas secas sobre superficies rugosas.

### 3 Términos y definiciones

Para los propósitos de este documento, se aplican los términos y definiciones tratados en la Norma ISO 12944-1 y los siguientes términos y definiciones.

**3.1 alto espesor** Propiedad de un material de recubrimiento que permite la aplicación de una capa de espesor mayor de lo que usualmente se considera como normal para ese tipo de recubrimiento.

NOTA: Para los propósitos de esta parte de la Norma NC ISO 12944, esto significa  $\geq 80 \mu\text{m}$  de espesor de película seca por capa.

**3.2 contenido en sólidos elevado** Propiedad de un material de recubrimiento que contiene un volumen de sólidos superior al normal para este material de recubrimiento.

**3.3 compatibilidad** (para productos dentro de un sistema de pintura) Capacidad de dos o más productos para ser usados juntos con éxito como un sistema de pintura sin provocar efectos no deseados.

**3.4 compatibilidad** (entre un producto y el sustrato) Capacidad de un producto para ser aplicado a un sustrato sin provocar efectos no deseados.

**3.5 capa de imprimación** Primera capa de un sistema de recubrimiento.



NOTA: Las capas de imprimación proporcionan una buena adherencia en metales suficientemente rugosos, y limpios y/o en recubrimientos viejos y limpios, asegurando una base firme y que confieren adherencia a las capas siguientes. Normalmente, proporcionan también protección frente a la corrosión durante el intervalo de aplicación de recubrimientos posteriores y durante la totalidad de la vida en servicio del sistema de pintura.

**3.6 capa intermedia** Cualquier capa entre la capa de imprimación y la capa de acabado/capa tope.

NOTA: En el idioma inglés el término "undercoat" se emplea a veces como un sinónimo, normalmente para una capa aplicada directamente antes de la capa de acabado/capa tope.

**3.7 capa tope** Última capa de un sistema de recubrimiento.

**3.8 capa de anclaje** Capa diseñada para mejorar la adherencia y/o evitar ciertos defectos durante la aplicación.

**3.9 capa en franja** Capa aplicada adicionalmente para asegurar el cubrimiento uniforme de las áreas críticas y difíciles de recubrir, tales como los bordes, las soldaduras, etc.

**3.10 espesor de película seca (EPS)** Espesor de un recubrimiento que permanece sobre la superficie cuando el recubrimiento ha endurecido/curado.

**3.11 espesor nominal de película seca (ENPS)** Espesor de película seca especificado, para cada capa o para el sistema de pintura completo.

**3.12 espesor máximo de película seca** Espesor de película seca máximo aceptable, por encima del cual puede perjudicarse la función de la pintura o del sistema de pintura.

**3.13 imprimación** Pintura que ha sido formulada para su utilización como capa de imprimación sobre superficies preparadas.

**3.14 imprimación de prefabricación** Pintura de secado rápido que se aplica al acero preparado por chorreado, para brindar protección temporal durante la fabricación, permitiendo mientras tanto que el acero pueda ser soldado y cortado.

NOTA: En muchos idiomas el término "imprimación de prefabricación" no tiene el mismo significado que en inglés.

**3.15 vida de la mezcla** Tiempo máximo, durante el cual un material de recubrimiento suministrado en forma de componentes individuales, puede ser utilizado exitosamente después de que éstos hayan sido mezclados.

**3.16 tiempo de vida** Tiempo durante el cual un material de recubrimiento permanecerá en buenas condiciones cuando está almacenado en sus envases originales sellados en condiciones normales de almacenamiento.

NOTA: La expresión "condiciones normales de almacenamiento" hace referencia, comúnmente, a almacenamiento promedio entre +5 °C y +30 °C.

**3.17 COV (compuesto orgánico volátil)** Cualquier líquido y / o sólido orgánico que se evapora espontáneamente a la temperatura y presión atmosférica predominantes con las que se encuentra en contacto.

## 4 Tipos de pintura

### 4.1 General

Muchos sistemas de pintura se utilizan ampliamente para la protección de las estructuras de acero frente a la corrosión.

Basado en la categoría corrosividad, se dan varios ejemplos de sistemas de pintura anticorrosivos, en relación a la durabilidad esperada, en las Tablas A.1 a A.8 en el Anexo A, el cual es de naturaleza informativa. Los sistemas se han incluido dada la vía del registro probado, pero la lista NO pretende ser exhaustiva y otros sistemas similares están también disponibles.

Además, nuevas tecnologías están siendo desarrolladas continuamente, a menudo manejadas por la legislación gubernamental, y éstas deben siempre ser consideradas cuando son apropiadas y el comportamiento ha sido validado por:

- a) el récord seguido de tales tecnologías y/o
- b) por lo menos los resultados de ensayos de acuerdo con la ISO 12944-6.

NOTA 1: La información dada en 4.2, 4.3 y 4.4 concierne solamente a las propiedades físicas y químicas de las pinturas y no al modo en que son utilizadas. Los límites dados para las temperaturas de secado y curado sólo son indicativos. Se pueden esperar variaciones para cada tipo de pintura, dependiendo de su formulación.

Para propósitos de aplicación, las pinturas pueden clasificarse como pinturas en base disolvente, en base agua o exenta de disolvente. Primeramente están divididas en dos categorías de acuerdo a la forma en la cual ellas secan y curan (véase 4.2 y 4.3) y luego subdivididas (véase 4.3.2 a 4.3.5) según el tipo genérico y el mecanismo de curado.

NOTA 2: Las principales propiedades físicas y mecánicas se resumen en el Anexo C.

### 4.2 Recubrimientos reversibles

La película seca por evaporación del disolvente con ningún cambio de forma, es decir el proceso es reversible y la película puede disolverse de nuevo en el solvente original en cualquier momento.

Ejemplos de ligantes de este tipo de material de recubrimiento son:

- a) goma clorada (GC);
- b) copolímeros de cloruro de vinilo (también conocido como PVC);
- c) polímeros acrílicos (AY).

El tiempo de secado dependerá, entre otros factores, de la circulación del aire circundante y de la temperatura. El secado puede tener lugar hasta 0 °C, aunque a bajas temperaturas es mucho más lento.

### 4.3 Recubrimientos irreversibles

#### 4.3.1 Consideraciones generales

La película seca inicialmente mediante la evaporación del disolvente (donde un disolvente está presente) seguida por una reacción química o por coalescencia (en algunas pinturas en base agua). El proceso es irreversible, lo que significa que la película no puede ser disuelta en el disolvente original o, en el caso de un recubrimiento libre de disolvente, en un disolvente utilizado típicamente con ese tipo genérico de pintura.

#### 4.3.2 Pinturas de secado al aire (curado por oxidación)

En estas pinturas, la película se endurece/se forma por la evaporación del disolvente, seguida por la reacción del ligante con el oxígeno de la atmósfera.

Ligantes típicos son:

- alquídico;
- alquídico uretanado;
- éster epoxídico

El tiempo de secado dependerá, entre otros factores, de la temperatura. La reacción con el oxígeno puede tener lugar hasta 0 °C, aunque a temperaturas bajas es mucho más lenta.

#### 4.3.3 Pinturas en base agua (un solo componente)

En este tipo de pintura el ligante se encuentra disperso en agua. La película endurece por evaporación del agua y la coalescencia del ligante disperso para formar una película.

El proceso es irreversible, es decir, este tipo de recubrimiento no es re-dispersable en agua tras el secado.

Ligantes que están dispersos típicamente en agua son:

- dispersiones acrílicas (AY);
- polímeros vinílicos (PVC);
- resinas de poliuretano (PUR).

El tiempo de secado dependerá, entre otros factores, de la circulación del aire circundante, de la humedad relativa y de la temperatura. El secado puede tener lugar hasta +3 °C, aunque a bajas temperaturas es mucho más lento. La alta humedad (mayor que 80 % HR) impide el proceso de secado.

#### 4.3.4 Pinturas de curado químico

##### 4.3.4.1 Consideraciones generales

En general, este tipo de pinturas consta de un componente base y de un componente agente de curado. La mezcla de la base y el agente de curado tienen una vida útil limitada. (Véase 3.15).

La película seca por la evaporación de los disolventes, si están presentes, y cura por la reacción química entre los componentes de la base y del agente de curado. Los tipos dados debajo son los más usuales.

NOTA: El componente base y/o el componente agente de curado pueden ser pigmentados.

#### **4.3.4.2 Pinturas epoxídicas de dos componentes**

##### **4.3.4.2.1 Componente base**

Los ligantes en el componente base son polímeros que tienen grupos epoxi, que reaccionan con los agentes de curado apropiados.

Ligantes típicos son:

- epoxi;
- epoxi vinílico / epoxi acrílico;
- combinaciones epoxi (por ejemplo: resinas epoxídicas hidrocarbonadas).

Las formulaciones pueden ser en base disolvente, en base agua o exenta de disolvente.

La mayoría de los recubrimientos epoxídicos enyesan cuando se exponen a la luz del sol. Si requiere la retención del color o del brillo, la capa de acabado debería ser un poliuretano alifático (véase 4.3.4.3) o un tipo de secado físicamente apropiado (véase 4.2) o base agua (véase 4.3.3).

##### **4.3.4.2.2 Componente agente de curado**

Las poliaminoaminas (poliamidas), poliaminoamidas (poliamidas) o los aductos de éstas son las más utilizadas.

Las poliamidas son las más apropiadas para imprimaciones, debido a sus buenas propiedades humectantes. Los recubrimientos curados con poliaminas son, generalmente, más resistentes a los productos químicos.

El tiempo de secado dependerá, entre otros factores, de la circulación del aire y de la temperatura. La reacción de curado puede tener lugar hasta +5 °C y más baja para productos de especialista.

#### **4.3.4.3 Pinturas de poliuretano de dos componentes**

##### **4.3.4.3.1 Componente base**

Los ligantes son polímeros con grupos hidroxilos libres, que reaccionan con los agentes de curado de isocianato apropiados.

Ligantes típicos son:

- poliéster;
- acrílico;
- epoxi;
- poliéter;
- resina fluorada;
- combinaciones de poliuretano (por ejemplo, resinas de poliuretano hidrocarbonadas) (PURC).

##### **4.3.4.3.2 Componente agente de curado**

Los poliisocianatos aromáticos o alifáticos son los más utilizados.

Los productos curados con poliisocianato alifático (PUR, alifático) tienen excelentes propiedades de retención del brillo y del color si se combinan con un componente base apropiado.

Los productos curados con poliisocianato aromático (PUR, aromático) dan un curado más rápido pero son mucho menos apropiados para la exposición al exterior, debido a que ellos tienden a entizar y decolorar más rápidamente.

Los poliisocianatos aromáticos proporcionan un secado más rápido, pero son menos adecuados para la exposición exterior, tendiendo a enyesarse y a decolorarse más rápidamente.

El tiempo de curado dependerá, entre otras cosas, de la circulación del aire circundante y de la temperatura. La reacción de curado puede tener lugar hasta 0 °C, o menos, pero la humedad relativa debe mantenerse dentro de los límites recomendados por el fabricante de la pintura, para asegurar recubrimientos libres de burbujas y/o poros.

#### 4.3.5 Pinturas de curado por humedad

La película seca/se forma por evaporación del disolvente. El curado químico se produce por reacción con la humedad del aire.

Los ligantes típicos son:

- poliuretano (1- componente);
- silicato de etilo (2 componentes);
- silicato de etilo (1 componente).

El tiempo de secado dependerá, entre otros factores, de la temperatura, de la circulación de aire, de la humedad y del espesor de película. La reacción de curado puede tener lugar a temperaturas de hasta 0 °C, o más bajas, siempre que el aire contenga humedad. A menos humedad relativa, el curado es más lento.

Es importante cumplir las instrucciones del fabricante, en cuanto a los límites de humedad, humedad relativa y espesores de película seca y húmeda, con objeto de evitar la formación de burbujas, poros, desprendimientos y otros defectos del recubrimiento.

#### 4.4 Propiedades generales de los distintos tipos genéricos de pinturas

El Anexo C aporta información más detallada. Este anexo informativo está destinado, solamente, a facilitar la selección, pero cuando sea utilizado debe hacerse junto con las Tablas A.1 a A.8 en el Anexo A, los datos publicados por los fabricantes y la experiencia ganada de proyectos anteriores.

## 5 Sistemas de pintura

### 5.1 Clasificación de los ambientes y de las superficies a pintar

#### 5.1.1 Clasificación de los ambientes

De acuerdo con la Norma ISO 12944-2, los ambientes se clasifican en las siguientes categorías:

Seis categorías de corrosividad atmosférica:

C1	muy baja
C2	baja
C3	media
C4	alta
C5-I	muy alta (industrial)
C5-M	muy alta (marina)

Tres categorías para agua y suelo:

Im1	inmersión en agua dulce
Im2	inmersión en agua del mar o salobre
Im3	enterrada en el suelo

#### 5.1.2 Superficies a pintar

##### 5.1.2.1 Nuevas estructuras

Los sustratos encontrados en las nuevas estructuras son de acero bajo carbono de grado de herrumbre A, B y C como se define en la Norma ISO 8501-1, así como de acero galvanizado y acero metalizado (véase la Norma ISO 12944-1). La posible preparación de los diferentes sustratos se describe en la Norma ISO 12944-4. El sustrato y el grado de preparación recomendado se dan en el encabezamiento de las Tablas A.1 a A.8 en esta parte de la Norma ISO 12944 para cada categoría de corrosividad. Los sistemas de pintura que aparecen en el Anexo A son ejemplos típicos de sistemas utilizados en los ambientes definidos en la Norma ISO 12944-2 cuando son aplicados a superficies de acero con grados de herrumbre desde A a C, como se define en la Norma ISO 8501-1 o para acero galvanizado por inmersión en caliente o acero metalizado.

Cuando el acero se ha deteriorado hasta un grado en que la corrosión picadura ha tenido lugar (grado de herrumbre D en la Norma ISO 8501-1), el espesor de película seca o el número de capas se incrementará para compensar por la rugosidad aumentada de la superficie, y debe consultarse al fabricante de la pintura para recomendaciones.

En principio, para la categoría de corrosividad C1 no se requiere protección frente a la corrosión. Si es necesario el pintado por razones de estética, puede escogerse un sistema proyectado para la categoría de corrosividad C2 (con una baja durabilidad).

Si el acero no protegido destinado para la categoría de corrosividad C1 es transportado inicialmente, almacenado temporalmente o ensamblado en una situación expuesta (por ejemplo, un ambiente costero C4/C5), comenzará la corrosión debido a los contaminantes/sales en el aire y continuará aún cuando el acero sea trasladado a su ubicación final de categoría C1. Para evitar este problema, el acero debe ser protegido durante el almacenamiento o darle una primera capa adecuada. El espesor de película seca será apropiado para el tiempo de almacenamiento esperado y la severidad del ambiente del almacenamiento.

#### 5.1.2.2 Mantenimiento

Para llevar a cabo el mantenimiento de las superficies previamente recubiertas, se debe comprobar el estado en que se encuentran el recubrimiento y las superficies existentes, usando para ello métodos apropiados, por ejemplo, las Normas ISO 4628-1 a ISO 4628-6, a fin de determinar si debería emplearse un repintado completo o parcial. El tipo de preparación de la superficie y del sistema de pintura protector debe entonces ser especificado. El fabricante de la pintura debe ser consultado para recomendaciones. Para comprobar las recomendaciones del fabricante y/o la compatibilidad con el anterior sistema de pintura, pueden prepararse áreas de ensayo.

#### 5.2 Tipo de imprimación

Las tablas A.1 a A.8 en el anexo A proporcionan información sobre el tipo de imprimación a ser empleado. Para los propósitos de esta parte de la Norma ISO 12944, se definen dos categorías principales de imprimación, de acuerdo al tipo de pigmento contenido en ella.

- Las imprimaciones ricas en cinc, Zn (R), son aquellas en las cuales el contenido en pigmento de polvo de cinc en la porción no volátil de la pintura es igual a o mayor que 80% (m/m).

- Otras imprimaciones (Misc.) son aquellas que contienen pigmento fosfato de cinc u otros pigmentos anticorrosivos y aquellas en las cuales el contenido de pigmento de polvo de cinc de la porción no volátil de la pintura es menor que 80 % (m/m). El cromato de cinc, el plomo rojo y los plumbatos de calcio no se utilizan ampliamente por razones de salud y seguridad.

Para las imprimaciones de prefabricación, vea el Anexo B.

El pigmento de polvo de cinc debe cumplir con los requisitos especificados en la Norma ISO 3549.

NOTA 1: Un método para la determinación del contenido de pigmento de polvo de cinc en la porción no volátil de una pintura se describe en la Norma ASTM D 2371.

NOTA 2: El valor de 80 % de polvo de cinc (m/m) en la película seca para las imprimaciones ricas en cinc Zn (R) es la base para la durabilidad dada para los sistemas de pintura en las tablas. Algunos países poseen normas nacionales con un contenido mínimo de polvo de cinc mayor del 80% (m/m) para las imprimaciones ricas en cinc Zn (R).

#### 5.3 Sistemas de pintura con bajo contenido en COV

Los ejemplos que se detallan en el anexo A incluyen sistemas de pintura con un contenido bajo en COV, dirigidos a satisfacer los requisitos relativos a baja emisión de disolventes.

Para cada categoría de corrosividad, tablas separadas indican si las pinturas de los sistemas de pintura que aparecen en la lista se encuentran disponibles como productos base agua y si ellos están disponibles como de 1 ó 2 componentes. Algunos de los sistemas de pintura de la lista pueden incluir, bien pinturas de alto contenido en sólidos o en base agua para la imprimación y las capas de acabado, o bien una combinación de pinturas de alto contenido en sólidos y en base agua. Para más información sobre COVs véase el Anexo D.

#### 5.4 Espesor de película seca

Las definiciones del espesor de película seca (EPS), del espesor nominal de película seca (ENPS) y del espesor de película seca máximo se dan en el 3.10, 3.11 y 3.12, respectivamente.

Los espesores de película indicados en las Tablas A.1 a A.8 son espesores nominales de película seca. Los espesores de película seca son, generalmente, verificados en todo el sistema de pintura. Donde se considere oportuno, el espesor de película seca de la capa de imprimación o de otras partes del sistema de pintura puede medirse de forma separada.

NOTA: En función de la calibración del instrumento, del método de medida y del espesor de película seca, la rugosidad de la superficie de acero tendrá un grado diferente de influencia sobre el resultado de la medida.

El método y el procedimiento para verificar los espesores de las películas secas sobre superficies rugosas estarán de acuerdo con la Norma ISO 19840, y para superficies lisas y galvanizadas de acuerdo con la Norma ISO 2808, a menos que se acuerde de otra manera entre las partes interesadas.

A menos que se acuerde lo contrario, se aplicarán los siguientes criterios de aceptación, como se establece en la Norma ISO 198940:

- La media aritmética de todos los espesores de película seca individuales será igual a o mayor que el espesor nominal de película seca (ENPS);
- Todos los espesores de película seca individuales será igual a o más del 80 % del ENPS;
- Los espesores de película seca individuales entre el 80% del ENPS y el ENPS son aceptables que el número de estas mediciones es menor que el 20 % del número total de medidas individuales tomadas;
- Todos los espesores de película seca individuales serán menores que o iguales al espesor máximo de película seca especificado.

Se tendrá cuidado para lograr el espesor de película seca y evitar áreas de espesor excesivo. Se recomienda que el espesor máximo de película seca (valor individual) no sea mayor que tres veces el espesor nominal de película seca. En los casos cuando el espesor de película seca es mayor que el espesor máximo de película seca, debe alcanzarse un acuerdo entre expertos de las partes interesadas. Para algunos productos o sistemas, hay un espesor de película seca máximo crítico. La información facilitada en la ficha de datos técnicos del fabricante de la pintura se aplicará a tales productos o sistemas.



El número de capas y los espesores nominales de película seca citados en el anexo A están basados en el uso de una aplicación mediante pulverización sin aire. La aplicación mediante rodillo, brocha o equipo de pulverización convencional normalmente producirá espesores de película más bajos, y serán necesarias más capas para producir el mismo espesor de película seca para el sistema. Consulte al fabricante de la pintura para más información.

### 5.5 Durabilidad

Las definiciones de durabilidad y de los intervalos de durabilidad se dan en la Norma ISO 12944-1.

La durabilidad de un sistema de pintura protector depende de varios parámetros, tales como:

- el tipo de sistema de pintura;
- el diseño de la estructura;
- la condición del sustrato antes de la preparación;
- el grado de preparación de la superficie;
- la calidad del trabajo de la preparación de la superficie;
- la condición de las juntas, bordes y soldaduras antes de la preparación;
- la normativa del trabajo de aplicación;
- las condiciones durante la aplicación;
- las condiciones de exposición después de la aplicación.

La condición de un recubrimiento de pintura existente puede ser evaluada por medio de las Normas ISO 4628-1, ISO 4628-2, ISO 4628-3 ISO 4628-4, ISO 4628-5 e ISO 4628-6, y la efectividad del trabajo de preparación de superficie puede ser evaluada usando las Normas ISO 8501-1 e ISO 8501-3.

Se ha asumido compilando las tablas en el Anexo A que el primer mantenimiento general de la pintura en lo relativo a la protección contra la corrosión, sería normalmente necesario llevarse a cabo una vez que el recubrimiento ha alcanzado Ri 3 como se define en la Norma ISO 4628-3. Tomando como base esta condición previa, la durabilidad se ha indicado en esta parte de la Norma 12944 en función de tres intervalos:

- |              |                |
|--------------|----------------|
| a) bajo (L)  | de 2 a 5 años  |
| b) medio (M) | de 5 a 15 años |
| c) alto (H)  | más de 15 años |

El intervalo de durabilidad no es un "período de garantía". La durabilidad es una consideración técnica que puede ayudar al propietario a establecer un programa de mantenimiento. Un período de garantía es una consideración que constituye el aspecto legal de las cláusulas en el contrato y no está dentro del alcance de esta parte de la Norma ISO 12944. No existen reglas que relacionen los dos períodos de tiempo. El período de garantía es usualmente más corto que el intervalo de durabilidad.

Los sistemas de pintura clasificados entre 5 y 15 años de durabilidad son todos clasificados como "medio". Es esencial que los usuarios estén conscientes de lo amplio del intervalo de durabilidad medio y tomen esto en consideración cuando desarrollen las especificaciones.

El mantenimiento se requiere a menudo a intervalos de tiempo más frecuentes debido a la pérdida gradual del color, al enyesamiento, a la contaminación o al desgaste y a daños mecánicos, o por razones estéticas o de otra índole.

#### 5.6 Aplicación en taller y a pie de obra

Para asegurar el máximo comportamiento de un sistema de pintura, la mayoría de las capas del sistema o, si es posible, todo el sistema completo, debería aplicarse, preferiblemente en taller. Las ventajas y desventajas de la aplicación en taller son las siguientes:

##### Ventajas

- a) Mejor control de la aplicación
- b) Temperatura controlada
- c) Humedad relativa controlada
- d) Facilidad para reparar los daños
- e) Mayor rendimiento
- f) Mejor control de los desechos y la polución

##### Desventajas

- a) Posible limitación del tamaño de los componentes de la construcción
- b) Posibilidad de daños debidos a la manipulación, el transporte y el montaje
- c) Puede excederse el tiempo de repintado máximo
- d) Posible contaminación de la última capa

Tras la finalización de la fabricación a pie de obra, debe repararse cualquier daño de acuerdo con la especificación.

NOTA: Los sitios donde han sido llevadas a cabo las reparaciones permanecerán siempre más o menos visibles. Esta es una razón del porqué es mejor poner una capa de acabado sobre la superficie completa en el lugar cuando son importantes los aspectos estéticos.

Las condiciones climáticas diarias influirán fuertemente sobre la aplicación a pie de obra del sistema de recubrimiento, las cuales también tendrán una influencia sobre el tiempo de vida esperado.

Si van a pintarse conexiones para apoyos precargados, deben emplearse sistemas de pintura que no conduzcan a una disminución inaceptable de la fuerza de precarga. Los sistemas de pintura seleccionados y/o las precauciones tomadas para tales conexiones, dependerán del tipo de estructura y de la manipulación, del ensamblaje y del transporte posterior.

## 6 Tablas para sistemas de pintura protectores

### 6.1 Lectura de las tablas

Las tablas dadas en el anexo A proporcionan ejemplos de sistemas de pintura para diversos ambientes. La forma usada en líneas alternas es así puramente para facilitar la lectura. El sombreado gris oscuro en las columnas de "Durabilidad esperada" indica la durabilidad anticipada para ese sistema. Las pinturas empleadas para todos estos sistemas deben ser apropiadas para el agente de corrosión más fuerte de la categoría de corrosividad o de la categoría de inmersión. El técnico responsable de la especificación debe asegurar el acceso a la documentación o al informe del fabricante de pintura, confirmando la idoneidad o la durabilidad de un sistema de pintura para su uso en una categoría de corrosividad o inmersión dada. Si se requiere, la idoneidad o durabilidad del sistema de pintura debe demostrarse por la experiencia y/o métodos de ensayo del comportamiento en el laboratorio, de acuerdo con la Norma ISO 12944-6 o como se acuerde.

Los sistemas de pintura han sido relacionados en las tablas usando dos principios diferentes:

a) Tablas A.1, A.7 y A.8 relacionan los sistemas para más de una categoría de corrosividad (La Tabla A.1 se nombrará a partir de ahora como "tabla compendio"). Estos sistemas han sido clasificados de acuerdo con el ligante utilizado en la capa de acabado. Esta clasificación es más conveniente cuando las características de aptitud a la función de la capa de acabado van a tomarse como base para la selección del sistema y para la comparación de la durabilidad global de los sistemas de pintura para más de una categoría de corrosividad, cuando la categoría de corrosividad no es conocida con exactitud.

b) Tablas A.2, A.3, A.4, A.5 y A.6 (nombradas a partir de ahora como "tablas individuales"), relaciona los sistemas para solamente una categoría de corrosividad (considerando C5-I y C5-M como una sola categoría). Los sistemas han sido clasificados de acuerdo con el tipo de capa de imprimación. Esta clasificación es conveniente para usuarios que conozcan exactamente la categoría de corrosividad del ambiente al que estará expuesto su estructura.

**Nota:** Los sistemas de pintura enumerados han sido elegidos como "sistemas típicos". Esto ha conducido necesariamente a que algunos sistemas enumerados no sean típicos o disponibles en otros países. Se ha concluido, sin embargo, que no es posible dar una visión de conjunto, ni pueden ser cubiertas todas las opciones.

Si un técnico responsable de la especificación se propone hacer uso de los sistemas descritos en las tablas, debería decidir primeramente si utilizará los sistemas de pintura de las tablas compendio o los de las tablas individuales, ya que la numeración del sistema es diferente en los dos tipos de tabla.

### 6.2 Parámetros que influyen en la durabilidad

En la práctica, algunos sistemas tienen una durabilidad probada de más de 15 años, y un número de tales casos han dejado registros de huellas de más de 25 años. En términos generales, aumentando el espesor total de capa seca y el número de capas se extenderá la durabilidad de un sistema de pintura. Además, la selección de un sistema diseñado para una categoría de corrosividad "mayor" que la concebida proporcionará mayor durabilidad cuando tal sistema se utiliza en un ambiente de menor corrosividad.

La categoría C5-I cubre, en términos generales, las atmósferas que deben ser encontradas en varios sitios industriales. Debe tenerse especial cuidado cuando se describen las especificaciones de recubrimientos para objetos o estructura de acero que pueden sufrir de derrames químicos específicos, filtración de conductos o fuerte contaminación del aire.

Durante su tiempo de vida específico (véase 3.16), las pinturas pueden utilizarse sin que tenga cualquier influencia el tiempo que lleva aplicada la pintura o en el comportamiento del recubrimiento resultante.

### 6.3 Designación de los sistemas de pintura enumerados

Un sistema de pintura dado en las tablas A.1 a A.8 se designa por su número de sistema. Este número se halla en la columna de la izquierda en cada tabla. La designación debe darse de la siguiente forma (ejemplo tomado de la tabla A.2 para el sistema de pintura No. A2.08):

NC ISO 12944-5/A2.08

En los casos en que capas con diferentes ligantes aparezcan bajo uno y el mismo número de sistema de pintura, la designación debe incluir los ligantes empleados en la(s) capa(s) de imprimación y en la(s) subsiguiente(s) capa(s) y debe darse del siguiente modo (ejemplo tomado de la tabla A.2 para el sistema de pintura No. A2.06):

NC ISO 12944-5/A2.06- EP/PUR

Si un sistema de pintura no puede situarse en ninguno de los sistemas relacionados en las Tablas A.1 a A.8, la información completa respecto al tipo genérico de la preparación de la superficie, número de capas, espesor nominal de película seca etc., debe proporcionarse del mismo modo que se indica en las tablas.

### 6.4 Guías para la selección del sistema de pintura apropiado

- Determine la categoría de corrosividad del ambiente (macroclima) donde la estructura estará localizada (véase la Norma ISO 12944-2).
- Establezca si existen condiciones especiales (microclima) que puedan resultar en una categoría de corrosividad mayor (véase la Norma ISO 12944-2).
- Busque en el Anexo A para la tabla aplicable. Las Tablas A.2 a A.5 dan propuestas de diferentes tipos genéricos del sistema de pintura para categorías de corrosividad C2 a C5, mientras la tabla A.1 da una visión general de los contenidos de las Tablas A.2 a A.5.
- Identifique en la tabla los sistemas de pintura con la durabilidad requerida.
- Seleccione el óptimo, tomando en cuenta el método de preparación de la superficie que será utilizado.
- Consulte al fabricante de la pintura a fin de confirmar la selección y para determinar que el(los) sistema(s) de pintura comercialmente disponible(s) corresponde(n) al sistema de pintura seleccionado.

Tabla A.1

**Sistemas de pintura para acero al carbono bajo aleado para categorías de corrosividad  
C2, C3, C4, C5-I, C5-M**

Sustrato: Acero al carbono bajo aleado																		
Preparación de la superficie: Para Sa 2½, donde grado de oxidación: A, B, o C solamente (véase Norma ISO 8501-1)																		
Sistema No.	Capa(s) de imprimación				Capa(s) posteriores	Sistema de pintura		Durabilidad esperada (véase 5.5 y Norma ISO 12944-1)					Sistemas correspondientes en la Tabla					
	Ligante <sup>c</sup>	Tipo de imprimación <sup>a</sup>	No. de capas	ENPS <sup>b</sup> µm	Ligante			No. de capas	ENPS <sup>b</sup> µm	C2	C3	C4	C5-I	C5-M	A.2	A.3	A.4	A.5 (I)
A1.01	AK, AY	Misc.	1-2	100	-	1-2	100							A2.04				
A1.02	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 <sup>f</sup>	-	1	60							A2.06	A3.10			
A1.03	AK	Misc.	1-2	80	AK	2-3	120							A2.02	A3.01			
A1.04	AK	Misc.	1-2	80	AK	3-4	160							A2.03	A3.02			
A1.05	AK	Misc.	1-2	80	AK	3-5	200							A3.03	A4.01			
A1.06	EP	Misc.	1	160	AY	2	200							A2.03	A4.05			
A1.07	AK, AY, CR <sup>e</sup> , PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	2-4	160							A2.03	A3.05			
A1.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 <sup>f</sup>	AY, CR, PVC	2-3	160							A3.12	A4.10			
A1.09	AK, AY, CR <sup>e</sup> , PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	3-5	200							A3.04	A4.02			
A1.10	EP, PUR	Misc.	1-2	120	AY, CR, PVC	3-4	200							A3.06	A4.04	A5.01		
A1.11	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 <sup>f</sup>	AY, CR, PVC	2-4	200							A3.13	A4.11			
A1.12	AK, AY, CR <sup>e</sup> , PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC	3-5	240							A4.03	A4.05			
A1.13	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 <sup>f</sup>	AY, CR, PVC	3-4	240							A4.12				
A1.14	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 <sup>f</sup>	AY, CR, PVC	4-5	320											
A1.15	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	2-3	120							A2.06	A3.07			A5.06
A1.16	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	2-4	160							A2.07	A3.08			
A1.17	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 <sup>f</sup>	EP, PUR	2-3	160								A3.11	A4.13		
A1.18	EP	Misc.	1-2	80	EP, PUR	3-5	200								A3.09			
A1.19	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 <sup>f</sup>	EP, PUR	3-4	200									A4.14		

**Tabla A.4— Sistemas de pintura para acero al carbono bajo aleado para la categoría de corrosividad C4**

Sustrato: Acero al carbono bajo aleado										
Preparación de la superficie: Para Sa 2½, desde grado de oxidación A, B, o C solamente (véase Norma ISO 8501-1)										
Sistema No.	Capa(s) de imprimación				Capa(s) posteriores	Sistema de pintura		Durabilidad esperada		
	Ligante	Tipo de imprimación <sup>a</sup>	No. de capas	ENPS <sup>b</sup> en µm		Tipo de Ligante	No. de capas	ENPS <sup>b</sup> en µm	Baja	Medio
A4.01	AK	Misc.	1-2	80	AK	3-5	200			
A4.02	AK	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	3-5	200			
A4.03	AK	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	3-5	240			
A4.04	AY, CR, PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	3-5	200			
A4.05	AY, CR, PVC	Misc.	1-2	80	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	3-5	240			
A4.06	EP	Misc.	1-2	160	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	2-3	200			
A4.07	EP	Misc.	1-2	160	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	2-3	280			
A4.08	EP	Misc.	1	80	EP, PUR	2-3	240			
A4.09	EP	Misc.	1	80	EP, PUR	2-3	280			
A4.10	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>e</sup>	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	2-3	160			
A4.11	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>e</sup>	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	2-4	200			
A4.12	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>e</sup>	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	3-4	240			
A4.13	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>e</sup>	EP, PUR	2-3	160			
A4.14	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>e</sup>	EP, PUR	2-3	200			
A4.15	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>e</sup>	EP, PUR	3-4	240			
A4.16	ESI	Zn (R)	1	60 <sup>e</sup>	-	1	60			

Ligante para la(s) capa(s) de imprimación	Tipo	Posible en base agua	Ligante para la(s) capa(s) de acabado	Tipo	Posible en base agua
AK <sup>e</sup> = Alquídico	1 componente	X	AK <sup>e</sup> = Alquídico	1 componente	X
CR <sup>e</sup> = Clorocaucho	1 componente		CR <sup>e</sup> = Clorocaucho	1 componente	
AY <sup>e</sup> = Acrílico	1 componente	X	AY <sup>e</sup> = Acrílico	1 componente	X
PVC <sup>e</sup> = Policloruro de vinilo	1 componente		PVC <sup>e</sup> = Policloruro de vinilo	1 componente	
EP <sup>e</sup> = Epoxídico	2 componentes	X	EP <sup>e</sup> = Epoxídico	2 componentes	X
ESI <sup>e</sup> = Etilsilicato	1 ó 2 componentes	X	PUR <sup>e</sup> = Poliuretano alifático	1 ó 2 componentes	X
PUR <sup>e</sup> = Poliuretano aromático o alifático	1 ó 2 componentes	X			

<sup>a</sup> Zn (R) = Imprimación rica en zinc, véase 5.2. Misc. = Imprimaciones con tipos misceláneos de pigmentos anticorrosivos.

<sup>b</sup> ENPS = Espesor nominal de película seca. Véase 5.4 para más detalles.

<sup>c</sup> Se recomienda que la compatibilidad sea comprobada con el fabricante de pintura.

<sup>d</sup> Para las imprimaciones de ESI se recomienda que una de las capas posteriores sea utilizada como capa de anclaje.

<sup>e</sup> También es posible trabajar con un ENPS desde 40 µm hasta 80 µm, siempre que la imprimación rica en zinc seleccionada sea apropiada para tal ENPS.

**Tabla A.5— Sistemas de pintura para acero al carbono bajo aleado para las categorías de corrosividad C5-I y C5-M**

Sustrato: Acero al carbono bajo aleado										
Preparación de la superficie: Para Sa 2½, desde grado de oxidación A, B o C solamente (véase Norma ISO 8501-1)										
Sistema No.	Capa(s) de imprimación				Capa(s) posteriores	Sistema de pintura		Durabilidad esperada		
	Ligante	Tipo de imprimación <sup>a</sup>	No. de capas	ENPS <sup>b</sup> en µm	Tipo de Ligante	No. de capas	ENPS <sup>b</sup> en µm	Baja	Media	Alta
<b>C5-I</b>										
ASL01	EP, PUR	Misc.	1-2	120	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	3-4	200			
ASL02	EP, PUR	Misc.	1	80	EP, PUR	3-4	320			
ASL03	EP, PUR	Misc.	1	150	EP, PUR	2	300			
ASL04	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>a</sup>	EP, PUR	3-4	240			
ASL05	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>a</sup>	EP, PUR	3-5	320			
ASL06	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>a</sup>	AY, CR, PVC <sup>c</sup>	4-5	320			
<b>C5-M</b>										
ASM01	EP, PUR	Misc.	1	150	EP, PUR -	2	300			
ASM02	EP, PUR	Misc.	1	80	EP, PUR	3-4	320			
ASM03	EP, PUR	Misc.	1	400	-	1	400			
ASM04	EP, PUR	Misc.	1	250	EP, PUR	2	500			
ASM05	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>a</sup>	EP, PUR	4	240			
ASM06	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>a</sup>	EP, PUR	4-5	320			
ASM07	EP, PUR, ESI <sup>d</sup>	Zn (R)	1	60 <sup>a</sup>	EPC	3-4	400			
ASM08	EPC	Misc.	1	100	EPC	3	300			

Ligante para la(s) capa(s) de imprimación	Tipo	Posible en base agua	Ligante para la(s) capa(s) de acabado	Tipo	Posible en base agua
EP = Epoxídico	2 componentes	X	EP = Epoxídico	2 componentes	X
EPC = Combinación de Epoxídicos	2 componentes		EPC = Combinación de Epoxídicos	2 componentes	
ESI = Etilsilicato	1 ó 2 componentes	X	PUR = Poliuretano alifático	1 ó 2 componentes	X
PUR = Poliuretano aromático o alifático	1 ó 2 componentes	X	CR = Clorocaucho	1 componente	
			AY = Acrílico	1 componente	X
			PVC = Policloruro de vinilo	1 componente	

<sup>a</sup> Zn (R) = Imprimación rica en zinc, véase 5.2. Misc. = Imprimaciones con tipos misceláneos de pigmentos anticorrosivos.

<sup>b</sup> ENPS = Espesor nominal de película seca. Véase 5.4 para más detalles.

<sup>c</sup> Se recomienda que la compatibilidad sea comprobada con el fabricante de pintura.

<sup>d</sup> Para las imprimaciones de ESI se recomienda que una de las capas posteriores sea utilizada como capa de anclaje.

<sup>e</sup> También es posible trabajar con un ENPS desde 40 µm hasta 80 µm, siempre que la imprimación rica en zinc seleccionada sea apropiada para tal ENPS.

**Anexo C**  
**(Informativo)**

**Propiedades generales**

**Tabla C.1 – Propiedades generales de los distintos tipos genéricos de pintura**

Conformidad ■ Buena ▲ Limitada ● Pobre — No relevante	Cienuro de polivinilo	Clorocaucho	Acrílico	Alquídico	Poliuretano, aromático	Poliuretano, alifático	Estil silicato de zinc	Epoxídico	Combinación de epoxídicos
	(PVC)	(CR)	(AY)	(AK)	(PUR, aromático)	(PUR, alifático)	(ESI)	(EP)	(EPC)
Retención del brillo	▲	▲	▲	▲	●	■		●	●
Retención del color	▲	▲	■	▲	●	■		●	●
<b>Resistencia a productos químicos:</b>									
Intensión en agua	▲	■	▲	●	▲	●	▲	■	■
Luvia/condensación	■	■	■	▲	■	▲	■	■	■
Disolventes	●	●	●	▲	■	▲	■	■	■
Disolventes (salpicaduras)	●	●	●	■	■	■	■	■	■
Ácidos	▲	■	▲	▲	■	▲	●	■	■
Ácidos (salpicaduras)	■	■	▲	▲	■	■	●	■	■
Alcalis	▲	▲	▲	▲	▲	▲	●	■	■
Alcalis (salpicaduras)	■	■	▲	▲	■	■	●	■	■
<b>Resistencia a calor seco:</b>									
Hasta 70° C	●	●	▲	■	■	■	■	■	■
70° C a 120° C	—	—	▲	■	■	■	■	■	▲
120° C a 150° C	—	—	▲	●	▲	●	■	▲	▲
>150° C pero ≤ 400° C	—	—	—	—	—	—	■	—	—
<b>Propiedades físicas:</b>									
Resistencia a la abrasión	●	●	●	▲	■	▲	■	■	▲
Resistencia al impacto	▲	▲	▲	▲	■	▲	▲	■	▲
Flexibilidad	■	■	■	▲	▲	■	●	▲	▲
Dureza	▲	▲	▲	■	■	▲	■	■	■

NOTA: La información dada en la Tabla C.1 ha sido resumida de una amplia diversidad de fuentes y está prevista para suministrar una indicación general de los diferentes tipos genéricos de pintura disponibles. Ocurrirán variaciones en los grupos de resinas, y algunos productos serán formulados específicamente para proporcionar resistencia excepcional a ciertos productos químicos o condiciones. Siempre consulte al fabricante de la pintura cuando se selecciona una pintura dada para una aplicación particular.



---

**NORMA CUBANA**

**NC**

ISO 4628- 3: 2007  
(Publicada por la ISO en 2003)

---

**PINTURAS Y BARNICES — EVALUACIÓN DE LA  
DEGRADACIÓN DE LOS RECUBRIMIENTOS —  
SIGNACIÓN DE LA INTENSIDAD, CANTIDAD Y TAMAÑO  
DE LOS TIPOS MÁS COMUNES DE DEFECTOS — PARTE 3:  
EVALUACIÓN DEL GRADO DE OXIDACION  
(ISO 4618-3:2003, IDT)**

Paint 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

---

ICS: 01.040.87; 87.040

1. Edición Diciembre 2007  
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana. Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

**PINTURAS Y BARNICES — EVALUACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DE LOS  
RECUBRIMIENTOS — DESIGNACIÓN DE LA INTENSIDAD, CANTIDAD Y TAMAÑO DE LOS  
TIPOS MÁS COMUNES DE DEFECTOS — PARTE 3: EVALUACIÓN DEL GRADO DE  
OXIDACIÓN**

### 1. Objeto y campo de aplicación

Esta parte de la NC-ISO 4628 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 NC-ISO 4628 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.

NOTA 1 Los patrones gráficos se han seleccionado de la "Escala europea de grados de herrumbre", publicada por el Comité Europeo de las Asociaciones de fabricantes de pinturas, tintas de imprimir y de colores de arte (CEPE), Bruselas. La relación entre la escala ISO y la "Escala Europea de grados de herrumbre" se muestra en el Anexo B, Tabla B.1.

NOTA 2 La relación entre la escala ISO y el sistema la ASTM D 610, *Evaluación del grado de oxidación de las superficies pintadas*, se muestra en el Anexo B, Tabla B.2.

NOTA 3 La formación de óxido sobre superficies de acero sin pintar se designa de acuerdo con la Norma ISO 8501-1:1988, *Preparación de sustratos de acero antes de la aplicación de pinturas y productos relacionados. Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 1: Grados de óxido y de preparación de sustratos de acero después de decapados totalmente de recubrimientos anteriores (grados de óxido A, B, C y D)*.

La Norma NC-ISO 4628-1 define el sistema empleado para designar la cantidad y el tamaño de los defectos y la intensidad de los cambios de aspecto de los recubrimientos de pinturas y expone los principios básicos del sistema. Este sistema va dirigido, en particular, para los defectos causados por envejecimiento y exposición a la intemperie, así como para cambios uniformes tales como: cambios de color, por ejemplo, amarillamiento.

### 2. Normas para consulta

Las normas que a continuación se indican son indispensables para la aplicación de esta norma. Para las referencias fechadas, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias no fechadas se aplica la última edición de la norma (incluyendo cualquier modificación de ésta).

NC-ISO 4628-1:2007 Pinturas y barnices — Evaluación de la degradación de los recubrimientos — Designación de la intensidad, cantidad y tamaño de los tipos más comunes de defectos; Parte 1: Introducción general y sistema de designación.

ASTM D 610-68 – Método Estándar para la Evaluación del grado de oxidación de las superficies de acero pintadas.

### 3. Términos y definiciones

Para los fines de esta norma se aplica el siguiente término con su definición.

**3.1 Grado de oxidación, Ri:** Valoración que describe el grado de formación de óxido (de óxido que rompe y atraviesa la película) sobre una superficie pintada.

#### 4. Evaluación

El grado de oxidación sobre una superficie se evalúa tomando como referencia patrones fotográficos que se muestran en las Figuras 1 a 5. Las cantidades aproximadas de óxido (óxido suelto más óxido subyacente visible) mostradas en estos patrones, se indican en la Tabla 1.

El procedimiento para la evaluación del óxido subyacente, si es requerido, se debe acordar entre partes interesadas.

Cuando existen distintos grados de oxidación en diferentes partes del área evaluada, se deben indicar estos grados junto con una indicación del área donde se producen.

La evaluación se debe llevar a cabo bajo una buena iluminación.

Si el tamaño medio de las manchas de óxido de la probeta a evaluar difiere considerablemente de los mostrados en los patrones gráficos, se debe dar una indicación del tamaño por referencia al esquema de evaluación de la Tabla 2 de la Norma NC-ISO 4628-1:2007.

**NOTA** Los patrones gráficos están dirigidos básicamente a la evaluación del grado de oxidación del acero pintado. Pueden ser utilizados para la designación del grado de corrosión en metales no ferrosos pintados si la forma del desperfecto es comparable con la de los patrones.

**Tabla 1 Grado de oxidación y área oxidada**

Grado de oxidación	Área oxidada %
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,3
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40 a 50

Si la evaluación se realiza mediante un sistema de imágenes ópticas, el sistema se debe calibrar utilizando imágenes proporcionadas en el Anexo A.

#### 5. Expresión de los resultados

El grado de oxidación se expresa como el Ri correspondiente de los representados en las Figuras 1 a 5.

Si fuera aplicable, se indican los diferentes grados de oxidación observados, junto con las partes correspondientes del área de ensayo.

Si es aplicable, el grado de oxidación Ri se registra junto con el grado, en forma numérica, del tamaño de las marcas de óxido.

Por ejemplo, si el área oxidada corresponde a la Figura 3, Ri 3, y los tamaños de las manchas individuales de óxido son de 0,5 mm a 5 mm, el resultado se registra como: reporte el resultado como:

Oxidación; grado de oxidación Ri3 (S4).

**6. Informe del ensayo**

El informe del ensayo debe incluir como mínimo la siguiente información:

- a) todos los detalles necesarios para identificar el recubrimiento examinado;
- b) referencia a esta norma (NC-ISO 4628-3);
- c) tipo de superficie examinada, su tamaño y, si procede, su localización;
- d) resultado de la evaluación de acuerdo con el Capítulo 5;
- e) Indicación del tipo de iluminación utilizada en la evaluación;
- f) Cualquier anomalía observada durante la evaluación;
- g) Fecha en que se realizó el examen.

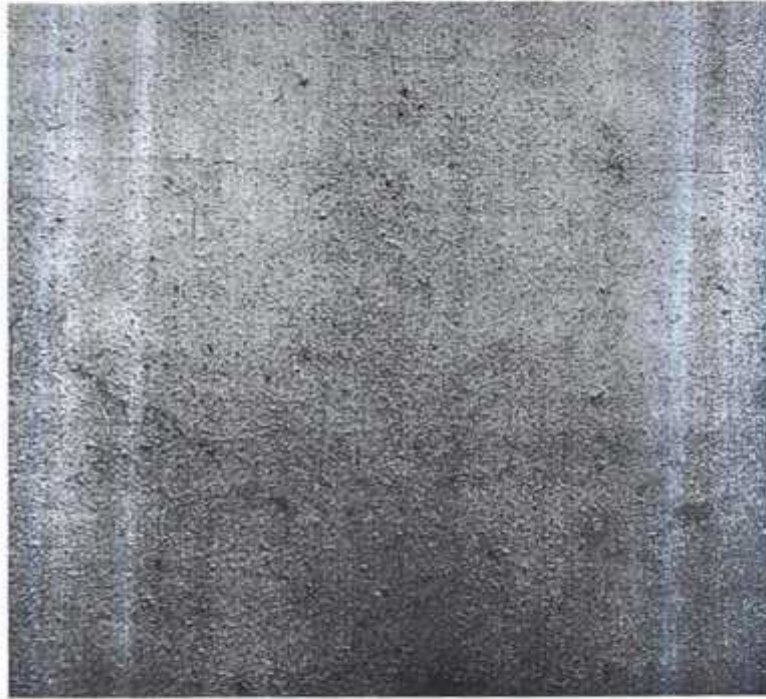


Figura 1 – Grado de oxidación RI 1

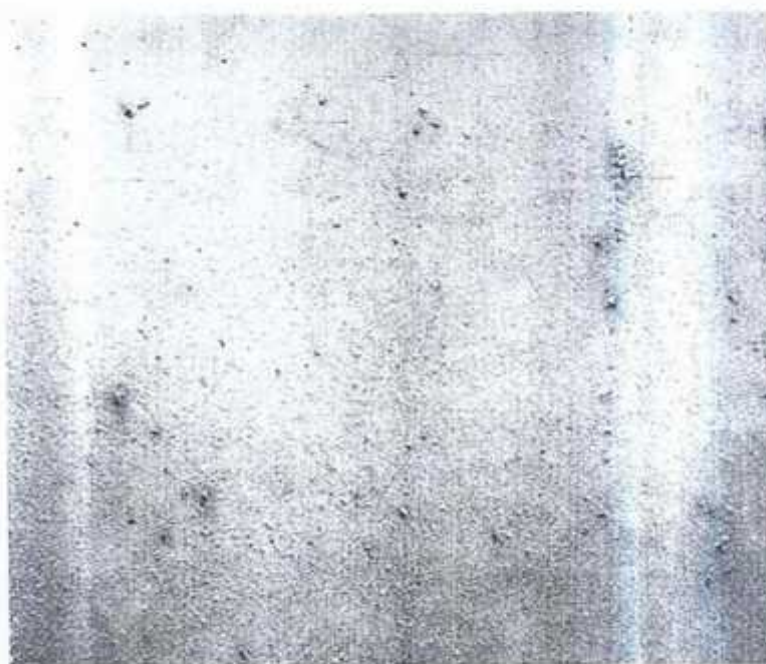


Figura 2 – Grado de oxidación RI 2



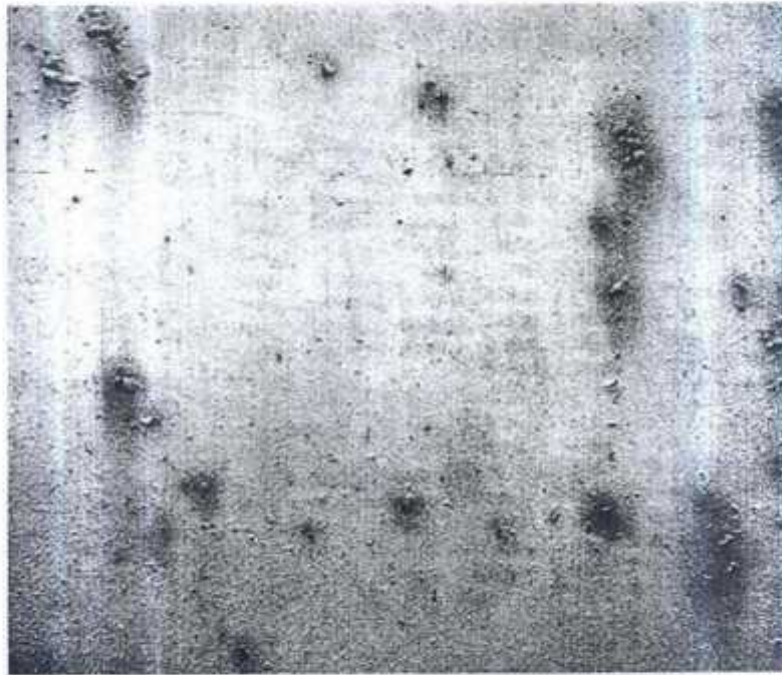


Figura 3 – Grado de oxidación Ri 3

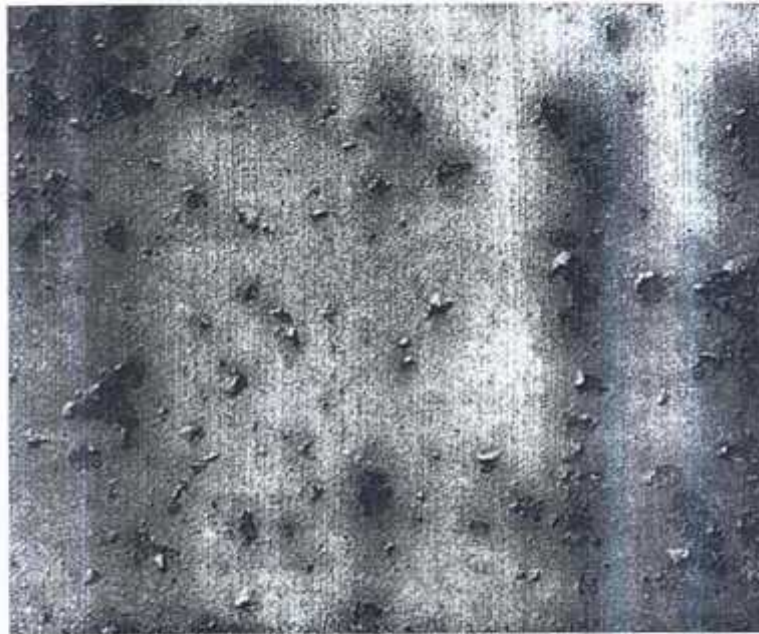


Figura 4 – Grado de oxidación RI 4





Figura 5 – Grado de oxidación RI 5

**Anexo A  
(normativo)****Imágenes de calibración**

Si la evaluación se realiza mediante un sistema de imágenes ópticas, se utilizan las imágenes proporcionadas en las Figuras A.1 a A.5 para su calibración.



**Figura A.1 - Grado de oxidación RI 1**

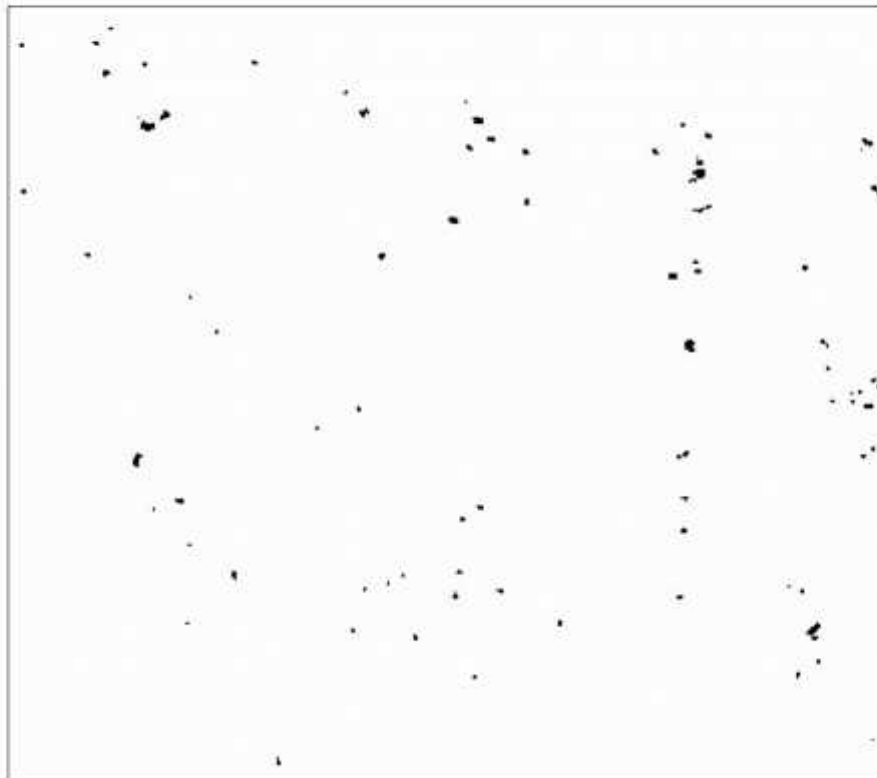


Figura A.2 – Grado de oxidación Ri 2



Figura A.3 – Grado de oxidación Ri 3



Figura A.4 – Grado de oxidación Ri 4

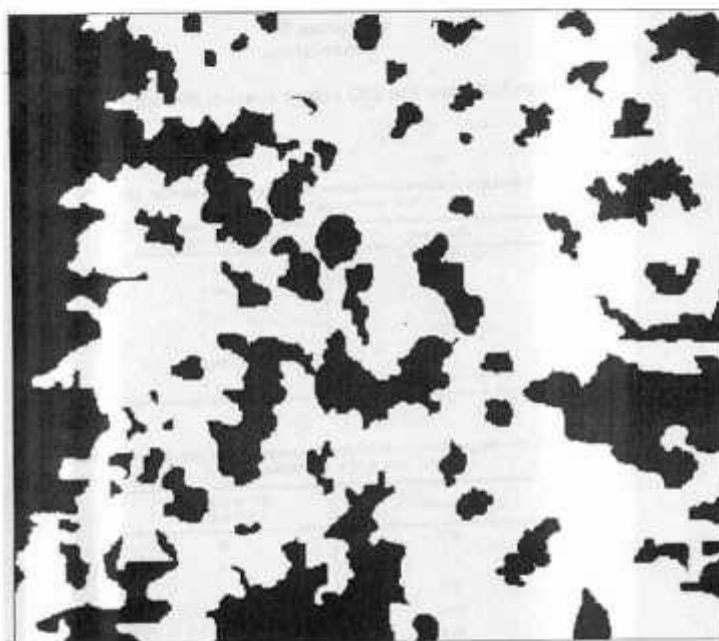


Figura A.5 – Grado de oxidación RI 5

**Anexo B**  
(informativo)

**Relación entre el sistema ISO y otros sistemas**

**Tabla B.1- Relación entre el sistema de evaluación ISO y la "Escala de grados de herrumbre"**

Escala ISO	Escala de grados de herrumbre
Ri 0	Re 0
Ri 1	Re 1
Ri 2	Re 2
Ri 3	Re 3
Ri 4	Re 5
Ri 5	Re 7

**Tabla B.2 - Relación aproximada entre los sistemas de evaluación ISO y ASTM**

Escala ISO	Escala ASTM de grados de herrumbre (ASTM D 6210)
Ri 0	10
Ri 1	9
Ri 2	7
Ri 3	6
Ri 4	4
Ri 5	1 a 2

ISO 4628-8 PARA DETERMINAR EL GRADO DE CORROSIÓN A PARTIR DE  
UNA INCISIÓN

## INTERNACIONAL ESTÁNDAR

**ISO**  
**4628-8**  
Primera edición  
2005-03-01

### **Pinturas y Barnices - Evaluación de Degradación de Recubrimientos - Denominación de Cantidad y Tamaño de los Defectos, y de la Intensidad de los Cambios Uniformes de Apariencia-**

Parte 8:

#### **Evaluación del grado de corrosión a partir de una incisión**

*Peintures et vernis - Evaluación de la degradación de los revestimientos -  
Designación de la cantidad y de la dimensión de los desafíos, y l'intensité des  
changements uniformes d'aspect - Partie 8: Évaluation du degré de décollement  
et de corrosion autor d'une rayure*



## **Pinturas y Barnices - Evaluación de Degradación de Recubrimientos - Denominación de Cantidad y Tamaño de los Defectos, y de la Intensidad de los Cambios Uniformes de Apariencia-**

Parte 8:

### **Evaluación del grado de descamación y corrosión a partir de una incisión**

#### **1 Alcance**

Esta parte de la norma ISO 4628 especifica un método para evaluar la delaminación y la corrosión, causada por una corrosión entorno, alrededor de un escriba en un revestimiento en un panel de prueba u otra muestra de ensayo.

NOTA Un ejemplo de un ambiente corrosivo es el rocío salino (niebla) utilizado en el método de exposición descrito en ISO 7253 o ISO 9227 (ver la Bibliografía).

#### **2 Referencias normativas**

Los siguientes documentos de referencia son indispensables para la aplicación de este documento. Por fecha referencias, sólo se aplica la edición citada. Para las referencias sin fecha, la última edición de la documento (incluyendo cualquier modificación).

ISO 3270, *pinturas y barnices y sus materias primas - Las temperaturas y humedades para el acondicionamiento y pruebas*

ISO 21227-1, *Pinturas y barnices - Evaluación de defectos en las superficies recubiertas utilizando formación de imágenes ópticas - Parte 1: Orientación general*

ISO 21227-3, *Pinturas y barnices - Evaluación de defectos en las superficies recubiertas utilizando formación de imágenes ópticas - Parte 3: Evaluación de la delaminación y corrosión alrededor de un escriba*

#### **3 Términos y definiciones**

A los efectos de este documento, se aplican los siguientes términos y definiciones.

##### **3.1 corrosión**

Área de productos de corrosión visibles

##### **3.2 delaminación**

Pérdida de adhesión de un revestimiento

#### 4 Principio

El grado de delaminación alrededor de un escriba se evalúa directamente después del final del período de exposición inmediatamente después de la retirada del panel de ensayo del entorno de exposición o después del acondicionamiento para un período.

El grado de corrosión alrededor del escriba se evalúa inmediatamente después de retirar el panel de ensayo del entorno de exposición o después de la eliminación del recubrimiento.

Tanto el área de delaminación como el área de corrosión se determinan bien por medición y cálculo o utilizando patrones pictóricos.

NOTA: La extensión de otros defectos también se puede determinar al mismo tiempo que el grado de delaminación y grado de corrosión. Los métodos utilizados son los siguientes:

- formación de ampollas de acuerdo con ISO 4628-2 [2];
- la oxidación de conformidad con la norma ISO 4628-3 [3];
- de craqueo de acuerdo con ISO 4628-4 [4];
- descamación de acuerdo con ISO 4628-5 [5];
- corrosión filiforme de acuerdo con ISO 4628 a 10 [6].

#### 5 Procedimiento

##### 5.1 General

El grado de delaminación y el grado de corrosión se determinan bien por medición y cálculo mediante la comparación de los escribas con los ejemplos ilustrados en la Figura 1. La medición y cálculo los procedimientos dados en 5.2 y 5.3 son generalmente preferidos a la evaluación descrita en 5.4 usando pictórica normas.

La evaluación del grado de delaminación puede hacerse inmediatamente después de retirar los paneles de la (véase 5.2.1), pero también puede llevarse a cabo después de un nuevo período de acondicionamiento determinar si la adherencia del recubrimiento puede regenerarse (véase 5.2.2).

La evaluación del grado de corrosión puede realizarse utilizando el panel recubierto (véase 5.3.1) o después de la separación del revestimiento (véase 5.3.2).

##### 5.2 Evaluación de la delaminación

###### 5.2.1 Directamente después del final del período de exposición

Enjuague el panel de prueba con agua del grifo inmediatamente después de la exposición, soplando residuos de agua del aplique aire comprimido si es necesario, e inspeccione los cambios visibles. Retire con cuidado cualquier recubrimiento utilizando una hoja de cuchilla mantenida en un ángulo, colocando la cuchilla en la interfaz de revestimiento / sustrato y levantando el revestimiento lejos del sustrato. Dependiendo del tipo de revestimiento y del grado de delaminación, puede ser necesaria cierta fuerza para eliminar el, pero debe encontrarse un límite en el que el revestimiento se adhiera firmemente al sustrato, siendo el límite de delaminación.

Si se desea, se puede usar aire comprimido o cinta adhesiva en lugar de una cuchilla. Es importante revestimiento suelto completamente.

Si es necesario, enjuague de nuevo el panel de prueba con agua fresca del grifo.

Medir, en milímetros, la anchura total de la zona de delaminación en un mínimo de seis puntos uniformemente distribuidos a lo largo del escribano. Ignore la delaminación más allá del principio y el final del escriba original.

Determinar la media aritmética y registrar esto como la anchura total media de la zona de la delaminación,  $d_1$ .

#### **5.2.2 Después del acondicionamiento**

El grado en que la adhesión puede regenerarse después del secado se determina como sigue. Enjuague y acondicione el panel de prueba después de la exposición. Evaluar el grado de delaminación descrito en 5.2.1 después de acondicionamiento durante 1 h y de nuevo después de acondicionamiento durante 24 h a una temperatura de  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  y una temperatura relativa humedad de  $(50 \pm 5)\%$ , según se especifica en ISO 3270.

### **5.3 Evaluación de la corrosión**

#### **5.3.1 Directamente después del final del período de exposición**

Enjuague el panel de prueba con agua del grifo inmediatamente después de la exposición, soplando residuos de agua del aplique aire comprimido si es necesario, e inspeccione los cambios visibles. Retire con cuidado cualquier recubrimiento utilizando una hoja de cuchilla mantenida en un ángulo, colocando la cuchilla en la interfaz de revestimiento / sustrato y levantando el revestimiento lejos del sustrato.

Puede usarse un removedor de pintura adecuado u otros medios, por ejemplo aire comprimido o cinta adhesiva, en lugar de un Hoja de cuchillo. Es importante quitar completamente el revestimiento suelto. Si es necesario, enjuague de nuevo el panel de prueba con agua fresca del grifo.

Medir, en milímetros, el ancho de la zona de corrosión en un mínimo de seis puntos uniformemente distribuidos a lo largo del escribano. Ignore la corrosión más allá del principio y el final del escriba original.

Determinar la media aritmética y registrar esto como la anchura total media de la zona de la corrosión,  $w_c$ .

#### **5.4 Evaluación mediante estándares pictóricos**

Si es necesario, evalúe el área de delaminación y corrosión usando los patrones pictóricos mostrados en la Figura 1.

NOTA: Estas normas pictóricas se basan en el sistema de clasificación definido en la norma ISO 4628-1.

## 6 Cálculo y expresión de resultados

### 6.1 Grado de delaminación

Calcule el grado de delaminación  $d$ , en milímetros, usando la ecuación:

$$d = \frac{d_1 - w}{2}$$

dónde

$d_1$  es la anchura total media de la zona de delaminación, en milímetros;

$w$  es el ancho del escriba original, en milímetros.

Si la delaminación no es uniforme, aumente el número de puntos de medición para que estén más cerca espaciados, o calcular el grado de delaminación  $d$ , en milímetros, utilizando la ecuación (2). Ignore la delaminación más allá del principio y el final del escriba original. Determine el tamaño del área, por ejemplo, colocando transparente de papel milimetrado sobre el área y contando el número de cuadrados correspondientes al área.

$$d = \frac{A_d - A_l}{2} \times \frac{1}{l}$$

dónde

$A_d$  es el área de delaminación, incluyendo el área escriba, en milímetros cuadrados;

$A_l$  es el área del escriba en el área evaluada, en milímetros cuadrados;

$L$  es la longitud del escriba en el área evaluada, en milímetros.

Expresa los resultados como:

- ya sea el grado de delaminación  $d$ , al milímetro más cercano, determina directamente después del final de la período de exposición, más el grado de delaminación después del acondicionamiento adicional, si se determina;
- o la clasificación numérica obtenida a partir de las normas pictóricas descritas en 5.4.

### 6.2 Grado de corrosión

Calcule el grado de corrosión  $c$ , en milímetros, usando la ecuación:

$$c = \frac{w_c - w}{2}$$

dónde

$w_c$  es el ancho total media de la zona de la corrosión, en milímetros;

$w$  es el ancho del escriba original, en milímetros.

Si la corrosión no es uniforme, aumente el número de puntos de medición para que estén más cerca espaciados, o calcular el grado de corrosión  $c$ , en milímetros, utilizando la ecuación (4). Ignore la corrosión más allá del principio y final del escriba original. Determine el tamaño del área, por ejemplo, colocando transparentes de papel milimetrado sobre el área y contando el número de cuadrados correspondientes al área.

$$c = \frac{A_c - A_l}{2} \times \frac{1}{l}$$

Dónde

$A_c$  es el área de corrosión, incluyendo el área del escriba, en milímetros cuadrados;

$A_l$  es el área del escriba en el área evaluada, en milímetros cuadrados;

$l$  es la longitud del escriba en el área evaluada, en milímetros.

Expresa los resultados como:

- ya sea el grado de corrosión  $c$ , al milímetro más cercano, determina directamente después del final de la período de exposición, más el grado de corrosión encontrado en los paneles de prueba desnudos, si se determina;
- o la clasificación numérica obtenida a partir de las normas pictóricas descritas en 5.4.

### 6.3 Evaluación mediante normas pictóricas

La clasificación numérica se dará como se indica en el siguiente ejemplo: Delaminación y corrosión alrededor de un escriba: grado de corrosión 2; grado de delaminación 3.

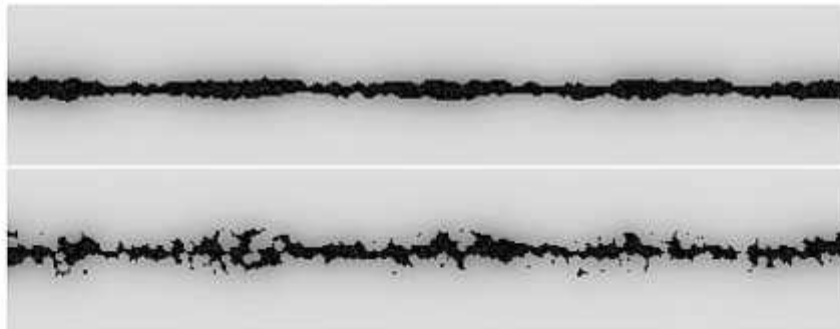
### 7 Informe de prueba

El informe de ensayo contendrá al menos la siguiente información:

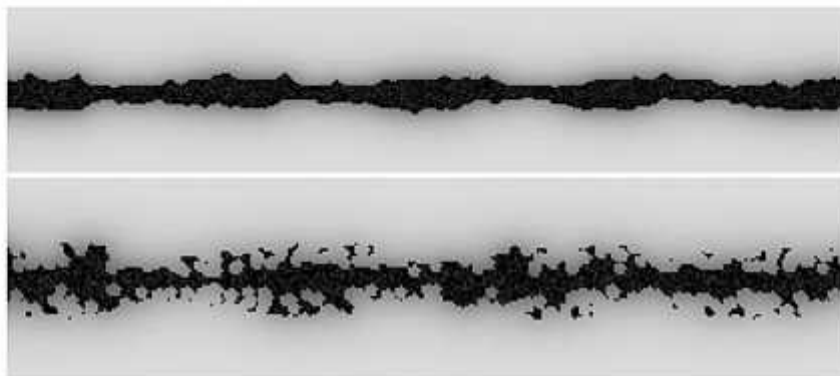
- a) toda la información necesaria para la identificación del recubrimiento examinado, incluido el grosor de la película y abrigos;
- b) una referencia a esta parte de ISO 4628 (ISO 4628-8: 2005);
- c) detalles de la exposición del revestimiento, incluyendo:
  - una descripción del medio corrosivo,
  - la duración de la exposición en el medio corrosivo;
- d) detalles del procedimiento de evaluación, incluidos:
  - el tipo de herramienta de escritura utilizada,
  - la forma, anchura y longitud del escriba,
  - si el revestimiento se retiró o no;
- e) los resultados de la evaluación, incluidos los resultados de las determinaciones individuales y sus medios, calculados de acuerdo con la Cláusula 6;
- f) cualquier desviación del procedimiento especificado;
- g) cualquier característica inusual (anomalías) observada durante la evaluación;
- h) la fecha de la evaluación.



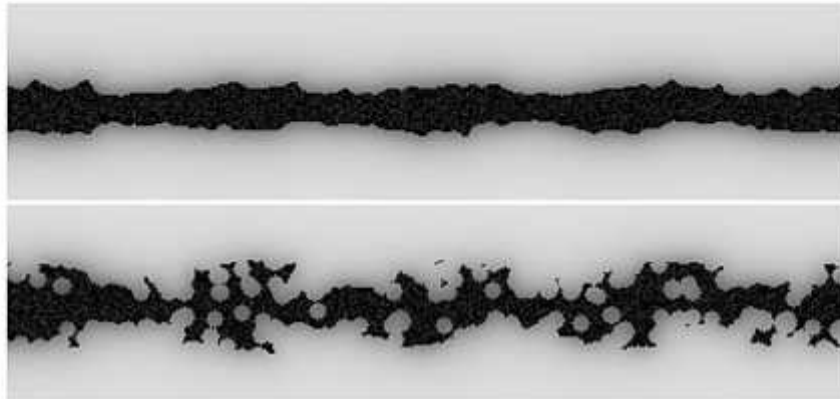
Grado 1 - Muy leve



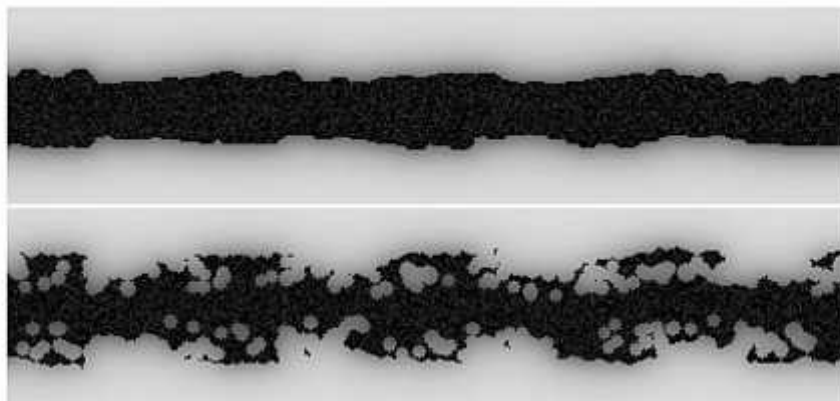
Grado 2 - Ligero



Grado 3 - Moderado



Grado 4 – Considerable



Grado 5 - Grave

Figura N°1 - Estándares pictóricos para la evaluación del grado de delaminación y corrosión alrededor de una incisión  
(Escala aproximada 1: 1)

**Bibliografía**

- [1] ISO 4628-1, *Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos - Designación de la cantidad y el tamaño de los defectos, y de la intensidad de los cambios uniformes en apariencia - Parte 1: Introducción general y sistema de designación*
- [2] ISO 4628-2, *Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos - Designación de la cantidad y el tamaño de los defectos, y de la intensidad de los cambios uniformes en la apariencia - Parte 2: Evaluación de grado de formación de ampollas*
- [3] ISO 4628-3, *Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos - Designación de la cantidad y el tamaño de los defectos, y de la intensidad de los cambios uniformes en la apariencia - Parte 3: Evaluación de grado de oxidación*
- [4] ISO 4628-4, *Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos - Designación de la cantidad y el tamaño de los defectos, y de la intensidad de los cambios uniformes en la apariencia - Parte 4: Evaluación de grado de agrietamiento*
- [5] ISO 4628-5, *Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos - Designación de la cantidad y el tamaño de los defectos, y de la intensidad de los cambios uniformes en la apariencia - Parte 5: Evaluación de grado de descamación*
- [6] ISO 4628-10, *Pinturas y barnices - Evaluación de la degradación de los recubrimientos - Designación de la cantidad y el tamaño de los defectos, y de la intensidad de los cambios uniformes en la apariencia - Parte 10: Evaluación de grado de corrosión filiforme*
- [7] ISO 7253, *Pinturas y barnices - Determinación de la resistencia a la niebla salina neutra (niebla)*
- [8] ISO 9227, *pruebas de corrosión en atmósferas artificiales - Ensayos de niebla salina.*