

Diseño de un procedimiento para la selección, aplicación y evaluación de recubrimientos anticorrosivos basado en la normativa internacional.

Angy Maribel Martínez Ordoñez

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniera Metalúrgica

Director

Sergio Ismael Blanco Vásquez

PhD. Ingeniería

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A esa fuerza universal que nos rige, que nos hace razonar y nos mantiene aquí, la cual suelo llamar Diosito.

A las personas que lucharon más que yo misma por este título, a ellos, que me dieron todo lo que ellos no pudieron tener, que en contra de todo lo que vivieron, les enseñaron y los obstáculos que les puso la vida, demostrando lo que es el verdadero amor, entregando su vida por darnos la mejor vida a mi hermana y a mí. Mis padres Adolfo Martínez y Maribel Ordoñez.

A mi Tomate, Karina Martínez, que gran parte de lo bueno que soy es por ella, por su ejemplo, por lo que me ha guiado, por lo que me ha regañado, siempre buscando que sea mejor que ella, que me impulsa, que me consiente y que es la mejor hermana-mamá que la vida me pudo dar.

A Sandra Correa esa amistad que siempre ha estado y con plena seguridad sé que será para siempre.

A John Redondo, que hace que mi vida se sienta bonito, gracias por hacerme soñar a tu lado y por el apoyo que me das para cumplir esos sueños.

Agradecimientos

A mi director, el PhD Sergio Ismael Blanco Vásquez, estoy profundamente agradecida por su orientación y apoyo en esta etapa final. Sus conocimientos y experiencia son un ejemplo a seguir. Siempre agradeceré su comprensión y su confianza.

A el Ingeniero Juan Carlos Quiroga, por su apoyo, su voto de confianza, por creer en mí, por impulsarme y por exigirme. Tanto como profesional, como persona siempre será un ejemplo a seguir. No puedo agradecer más tener mejor primer jefe.

A TAESMET SAS, por darme la oportunidad de iniciar mi vida profesional sin aun terminar mis estudios, por los conocimientos que he podido adquirir en esta gran empresa, por darme la oportunidad de capacitarme cada día más.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarme la oportunidad de formarme como Ingeniera Metalúrgica.

A los profesores Ángel Meléndez, Viviana Güiza, Cristian Camilo Viafara de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales, que me brindaron su conocimiento, su consejo, y su preocupación por mi bienestar.

A mis compañeros de trabajo en TAESMET SAS, José Albeiro Rueda, Gabriel Mancera, Carlos Soler, Manuel Ávila, Santiago Santamaria, Douglas Villamil, Lina Balanta, Jenifer Cagua, que han compartido sus conocimientos conmigo, me han apoyado en este inicio de mi vida profesional y me han brindado su amistad.

A el Ingeniero Juan Zorro, por su consejo, por su ayuda desinteresada y mas importante su amistad, siempre será un ejemplo a seguir.

A el Ingeniero Nelson Riveros, por su amistad, que desde que me conoció siempre me desea lo mejor.

A mi mejor amigo David Ochoa, por sus consejos y su amistad incondicional.

A Deysi Nieto y Carlos Mario, cocteles y sueños se convirtió más que en mi primer trabajo en una familia.

A Yeris Mandivelso, por su amistad, por soñar a mi lado que esto seria posible.

Contenido

	Pág
Introducción	12
1. Objetivos	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
2. Marco Teórico.....	16
2.1 Corrosión.....	16
2.2 Corrosión de aceros en diferentes medios	16
2.3 Técnicas para el control de la corrosión	17
2.4 Recubrimientos	20
3. Metodología	21
3.1 Búsqueda, clasificación y selección de normas nacionales e internacionales.	21
3.2 Diseño de procedimiento para preparación, aplicación y evaluación de recubrimientos aplicados en aceros al carbono.....	22
4. Resultados	23
4.1 Búsqueda, clasificación y selección de normas nacionales e internacionales	23
4.2 Diseño de procedimiento para preparación, aplicación y evaluación de recubrimientos aplicados en aceros al carbono.....	28
4.2.1 Objetivo de procedimiento.....	30

4.2.2 Alcance	30
4.2.3 Definiciones	31
4.2.4 Estándares de referencia	33
4.2.3 Materiales y equipos	33
4.2.4 Roles y responsabilidades	34
4.2.5 Descripción de actividades	35
4.2.5.1 Preparación de superficie.....	36
4.2.5.1.1 Caracterización de superficie, control preparación de superficie.	36
4.2.5.2 Control de la aplicación de recubrimiento.....	38
4.2.5.3 Inspección del recubrimiento.....	41
4.2.6 Lista de verificación.....	42
4.2.7 Información documentada asociada.....	43
4.2.8 Anexos	43
4.2.9 Control de cambios	43
5. Conclusiones	44
Referencias bibliográficas.....	46
Apéndices.....	50

Lista de Figuras

Figura 1. Técnicas para el Control de la corrosión.....	18
Figura 2. Flujograma, Pasos que debe tener un Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) según ISO 9001.....	23
Figura 3. Flujograma, Pasos que debe tener un Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) según ISO 9001 en la Aplicación de un Recubrimiento, según la Normativa Internacional.....	29

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación y Selección de Normas Nacionales e Internacionales a tener en Consideración para la Selección, Aplicación y Evaluación de Recubrimientos.	24
Tabla 2. Actividades para la Caracterización de Superficie, Control Preparación de Superficie.	36
Tabla 3. Actividades para el Control de la Aplicación de Recubrimiento.....	38
Tabla 4. Actividades para la Inspección del Recubrimiento.....	41
Tabla 5. Control de cambios en procedimiento para la Selección, Aplicación y Evaluación de Recubrimientos.	44

Lista de Apéndices

Apéndice A. Clasificación grados de oxidación.....	50
Apéndice B. Descripción de patrones de limpieza	51
Apéndice C. Métodos de determinación de perfil de anclaje	54
Apéndice D. Métodos y rendimiento de aplicación de recubrimientos	56
Apéndice E. Fallas, características y posibles soluciones en recubrimientos más comunes	58
Apéndice F. Formato lista de verificación inspección recubrimientos.....	60
Apéndice G. Fórmulas para cálculos de espesores de película húmeda y seca	65

Glosario

Corrosión: deterioro de un material, generalmente un metal, debido a una reacción con su entorno National Association Corrosion (NACE, 2010).

Especificación de recubrimientos: es un documento formal que le indica al contratista (aplicador) qué hacer y donde hacerlo, pero generalmente no le dice cómo hacerlo (NACE, 2010).

Limpieza: eliminación de contaminantes (óxidos, grasas, aceites, polvo, hongos, incrustaciones, etc.), por cualquier medio manual, mecánico, químico o térmico (QuimiNet.com / Marketizer.com / eIndustria.com, 2023).

Normas de referencia: lista de normas publicadas referidas por secciones particulares o partes del documento. Cualquier sección de una norma referenciada puede ser obligatoria para todas las partes al igual que la norma entera, a menos que se indique una excepción (NACE, 2010).

Película: capa que producen las pinturas y los recubrimientos una vez aplicados sobre la superficie (QuimiNet.com / Marketizer.com / eIndustria.com, 2023).

Preparación de superficie: tratamiento manual, mecánico, químico o térmico que se hace para acondicionar una superficie sobre la cual se va a aplicar una pintura o un recubrimiento (NACE, 2010).

Procedimiento: método de ejecutar una acción (Asale, s. f.).

Recubrimientos: es una mezcla heterogénea de productos que una vez aplicada y seca se transforma en una película continua sin pegajosidad y con las características para las que ha sido concebida (Carbonell, 2011).

Sistema de protección: es la capa o capas de pinturas que se aplican para formar una barrera entre el sustrato metálico y el medio exterior Instituto Colombiano de la Construcción con Acero (ICCA, 2021).

Resumen

Título: Diseño de un procedimiento para la selección, aplicación y evaluación de recubrimientos anticorrosivos basado en la normativa internacional*

Autor: Angy Maribel Martínez Ordoñez**

Palabras Clave: Corrosión, recubrimientos, procedimiento, evaluación, norma, aplicación.

Descripción:

En este trabajo se presenta el diseño de un procedimiento para la selección, aplicación y evaluación de recubrimientos anticorrosivos, basado en normativas internacionales. Inicialmente se revisa y analiza las pautas establecidas las normativas para cada etapa del proceso de aplicación de recubrimientos, desde la preparación del material hasta las condiciones óptimas de aplicación y la inspección posterior al proceso. Se consideran tanto las homologaciones a nivel internacional como las nacionales. Además, se ha desarrollado este procedimiento de acuerdo con los estándares definidos por la norma ISO 9001 para los elementos requeridos en un procedimiento operativo estandarizado (POE), que es la normativa que rige a las organizaciones en Colombia.

Este trabajo presenta un procedimiento que es útil para personal que en su ámbito profesional están involucrados en el área de recubrimientos de aceros al carbono, desde la selección, la aplicación o la inspección de los mismos, también tiene como objetivo servir como una guía para el personal que no está familiarizado con los recubrimientos. Para facilitar su visualización y comprensión, el cuerpo del procedimiento se ha estructurado mediante el uso de tablas, lo que lo hace más accesible y práctico.

*Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Director: Sergio Ismael Blanco Vásquez. Doctor en Ingeniería.

Abstract

Title: Design of a procedure for the selection, application and evaluation of anticorrosive coatings, based on international regulations.

Author: Angy Maribel Martinez Ordoñez

Key Words: Corrosion, coatings, procedure, assessment, rule, application.

Description:

This work presents the design of a procedure for selection, application and evaluation of anticorrosive coatings, based on international regulations. Initially, the guidelines established by regulations for each stage of the coating application process are reviewed and analyzed, from the preparation of the material to the optimal application conditions and the post-process inspection. Both international and national approvals are considered. Furthermore, this procedure has been developed in accordance with the standards defined by the ISO 9001 standard for the elements required in a standardized operating procedure (SOP), which is the regulations that govern organizations in Colombia.

This work presents a procedure that is useful for personnel who in their professional field are involved in the area of carbon steel coatings, from the selection, application or inspection thereof, it also aims to serve as a guide for the personnel who are not familiar with coatings. To facilitate its visualization and understanding, the body of the procedure has been structured through the use of tables, which makes it more accessible and practical.

*Degree Work

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Metallurgical Engineering and Materials Science. Director: Sergio Ismael Blanco Vásquez. PhD in Engineering.

Introducción

En un mundo donde la protección y durabilidad de los materiales son cruciales para la integridad de estructuras y componentes, la corrosión se presenta como una amenaza constante. La corrosión puede tener impactos devastadores en términos de seguridad, eficiencia y costos, ya que “los costos causados por la corrosión en todo el mundo son de aproximadamente 2,5 billones de dólares o el 3,4% del PIB mundial, estos costos no incluyen los daños medioambientales ni los riesgos para la seguridad de las personas.”(NACE, 2016, p.3). Para combatir esta problemática, la aplicación de recubrimientos anticorrosivos ha sido una de las principales estrategias en la protección de superficies metálicas expuestas a ambientes agresivos. Estos recubrimientos son aplicados para mejorar la resistencia a la corrosión, dureza, resistencia al desgaste o condición estética, “Se ha estimado que alrededor del 20% de las pérdidas en costos causados por la corrosión podría haberse evitado mediante un mejor uso de los conocimientos existentes en materia de protección contra la corrosión” (Bardal, 2004, p.2).

El proceso de aplicación e inspección de recubrimientos es una tarea compleja, la cual requiere considerar diferentes factores, como el tipo de limpieza que se debe implementar antes de la aplicación de un recubrimiento, condiciones ambientales en el momento de aplicación, como también a las que va a estar expuesto en su vida útil. Una vez aplicado el recubrimiento debe realizarse la inspección, la cual depende del tipo de acabado, espesor del recubrimiento, y el tiempo de curado, entre otros.

En busca de mejorar las condiciones estructurales y prolongar la vida útil de las estructuras, se han desarrollado diferentes tipos de procedimientos para optimizar los recubrimientos.

A su vez, cada procedimiento cumple un papel específico, de acuerdo con el objetivo que se desea lograr, para esto es común el uso de normas que dan indicaciones y parámetros de cómo se deben realizar determinados procesos.

Este trabajo, se enfoca en diseñar un procedimiento basado en la normativa nacional e internacional que permita de forma sistemática comprender la forma adecuada de aplicación y valoración de los recubrimientos. Este tendrá como objetivo ser una guía que permita tomar las decisiones más acertadas en base a los estándares establecidos, adicionalmente busca que los profesionales involucrados en la industria de recubrimientos tengan fácil acceso a las técnicas de aplicación de recubrimientos correctas, según el objetivo que desean cumplir.

A través de este trabajo se espera proporcionar una contribución significativa al campo de la selección, aplicación e inspección de recubrimientos, brindando un enfoque sistemático y práctico que pueda ser utilizado por profesionales en la industria, en la academia y todo aquel que necesite conocer del tema.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar un procedimiento para la selección, aplicación y evaluación de recubrimientos anticorrosivos basado en la normativa internacional.

1.2 Objetivos Específicos

Realizar una revisión de la normativa internacional (ASTM D/SSPC (homóloga a las Norma ISO- Sueca/ Norma americana NTC/Norma NACE) y nacional relacionada con la corrosión y protección contra la corrosión basada en recubrimientos.

Analizar a nivel jerárquico de las especificaciones y pasos a seguir en la selección, aplicación y evaluación de recubrimientos anticorrosivos.

Desarrollar un protocolo para la selección, aplicación y evaluación de recubrimientos.

2. Marco Teórico

2.1 Corrosión

La corrosión puede definirse de diversas maneras, pero en este contexto, centrado en los aceros al carbono, puede describirse como la reacción de un material metálico con su entorno, generando un proceso destructivo continuo. Este proceso implica una progresiva degradación del material a medida que reacciona con su ambiente, principalmente debido a la tendencia inherente del hierro a volver a su estado original, es decir, a oxidarse, ya que “para producir metales a partir de minerales y menas naturales, es necesario proporcionar una cierta cantidad de energía. Por lo tanto, es natural que cuando estos metales se exponen a su entorno vuelvan al estado original en el que se encontraron” (Roberge, 2008, p.19).

2.2 Corrosión de aceros en diferentes medios

La pérdida de integridad de un material, es decir, la corrosión, puede darse de varias formas, de forma física o mecánica, como la producida por el desgaste, el rozamiento, la fatiga, entre otras. Sin embargo, la forma de corrosión más común es la electroquímica, que es cuando el metal está en contacto con un electrolito, normalmente un medio acuoso. El entorno al cual está expuesto el material sirve como electrolito, que generalmente es la humedad en el ambiente, simultáneamente su tendencia a reaccionar con el oxígeno en la reacción química de oxidación-reducción completando la celda de corrosión natural y así generando la corrosión (Ahmad, 2006).

A su vez factores como la alta salinidad, la contaminación industrial y la temperatura son determinantes en la velocidad de la corrosión, es por esto que el ambiente en el cual está en servicio el material es fundamental para elegir un sistema de protección contra la corrosión. Los ambientes han sido clasificados de manera profesional para encasillar cada medio y así poder diseñar los sistemas para el control de la corrosión de la siguiente manera:

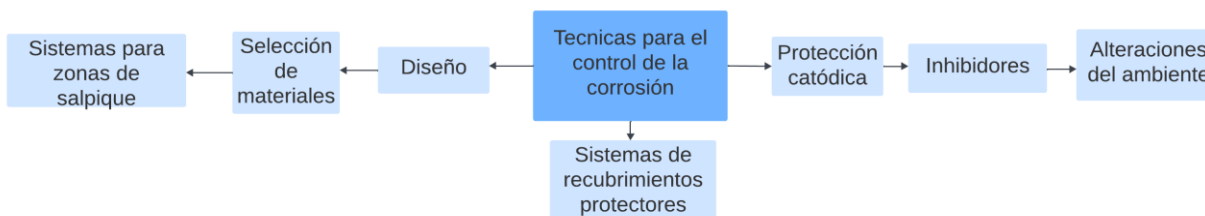
- Químico/marino
- Químico con alta humedad
- Marino con alta humedad
- Químico con baja humedad
- Rural con baja humedad
- Rural

2.3 Técnicas para el control de la corrosión

“Muchos creen que la corrosión es un enemigo universal que debe aceptarse como un proceso inevitable. En realidad, se pueden y se deben hacer algunas cosas para prolongar la vida útil de las estructuras y componentes metálicos expuestos al medio ambiente” (Roberge, 2008, p.13). El control de la corrosión es fundamental para la preservación y mantenimiento de los activos, actualmente existen diversas técnicas para este control, cada una con una aplicabilidad e importancia dependiendo del caso, las más comunes son las enunciadas a continuación. (Ver Figura 1).

Figura 1

Técnicas para el Control de la corrosión.



Nota. Esta figura muestra las técnicas para el control de la corrosión, tomadas de NACE (p, 76), 2010.

El control de la corrosión comienza en la etapa de diseño, que es un punto crucial. En esta fase, es esencial reducir los posibles puntos de corrosión creados por el diseño, así como prevenir la acumulación de sustancias, como agua y sales químicas, que pueden convertirse en focos de corrosión. Para lograrlo, se pueden eliminar elementos estructurales complejos, como bordes afilados, cavidades y orientaciones de componentes que puedan actuar como trampas para la corrosión. Además, es importante que el diseño este enfocado a la facilidad del acceso para futuras actividades de mantenimiento.

Un factor crucial en el diseño de estructuras es la elección del material que se va a utilizar. Esta elección es también una clave como técnica para el control de la corrosión. Una serie galvánica es una lista de materiales ordenados de acuerdo a sus potenciales de corrosión, comenzando con el que se corroe más fácilmente o el más activo, y terminando con el que se corroe con menos facilidad o el menos activo. Basado en esto, se puede seleccionar un material que sea

menos propenso a la corrosión según su aplicación y determinar de forma preliminar que materiales pueden generar pares galvánicos que promuevan el deterioro del más activo.

Una de las técnicas para el control de la corrosión utilizada ampliamente en ambientes marinos es la de un sistema de protección catódica, esta puede realizarse mediante sistemas de corriente impresa o con el uso de ánodos de sacrificio. Los ánodos de sacrificio están hechos de metales más activos, como aluminio, zinc o magnesio. Estos ánodos se conectan a la estructura y se corroen protegiendo al acero.

Otra técnica utilizada para minimizar la corrosión se basa en el uso de inhibidores, que son sustancias que, al agregarse a un ambiente corrosivo, se adsorben sobre la superficie de la estructura metálica, la bloquean parcialmente y reducen la velocidad de corrosión. Estos inhibidores suelen agregarse en cantidades pequeñas al electrolito, especialmente en sistemas cerrados como tuberías. Además, existen dos tipos de inhibidores adicionales: los inhibidores de fase de vapor (VPI) y los inhibidores de corrosión migrantes (MCI).

Una técnica no tan común pero utilizada para el control de la corrosión implica la manipulación del ambiente, principalmente con la deshumidificación. Esta práctica es común en espacios interiores o cuando se instala una contención de forma temporal, aunque no desempeña un papel importante en trabajos de control de corrosión en curso.

La implementación de sistemas de recubrimientos protectores se ha convertido en la técnica más ampliamente utilizada y extendida para el control de la corrosión. Esto puede variar

según el material utilizado y el mecanismo empleado para aislar el sustrato, lo que se conoce como protección por ((Uhlig & Revie, 2008).

2.4 Recubrimientos protectores contra la corrosión

La principal técnica para el control de la corrosión es la aplicación de recubrimientos. El objetivo principal es evitar que el material vuelva a su estado natural. Esto se logra mediante la implementación de un sistema que separa el material metálico del entorno corrosivo. Además, el material de recubrimiento puede actuar como ánodo de sacrificio, generando protección catódica (por ejemplo: pinturas metálicas ricas en zinc). Otra forma de prevenir la corrosión es a través de la inhibición/pasivación, que incluye casos de protección anódica (Bardal, 2004).

Existe una amplia variedad de recubrimientos cuya función principal es proteger el material base y prolongar su vida útil. Sin embargo, algunos de estos recubrimientos también desempeñan un papel crucial al mejorar las características del material, aportando, complementando o extendiendo ciertas propiedades. Por esta razón, se han desarrollado diversos tipos de recubrimientos que se pueden clasificar en dos categorías principales: orgánicos e inorgánicos.

Los recubrimientos orgánicos se definen como orgánicos porque sus aglutinantes están hechos de materia que en algún momento tuvo vida, actualmente la mayoría de los recubrimientos son derivados del petróleo siendo su principal componente el carbono. Para obtener las propiedades necesarias de un aglutinante orgánico se requiere productos refinados y modificados a partir del petróleo. Los más comunes de esta clase de recubrimientos, ya que son ampliamente

utilizados en la industria son los epoxi, poliuretanos, caucho clorado y cloruro de polivinilo (Ahmad, 2006).

Como su nombre lo indica los recubrimientos inorgánicos, están hechos a base de aglutinantes inorgánicos. Los más comunes son los aglutinantes de silicona o zinc, dentro de esta clasificación también abarca los recubrimientos metálicos y cerámicos (NACE, 2010).

3. Metodología

3.1 Búsqueda, clasificación y selección de normas nacionales e internacionales.

En este primer paso, fue fundamental la identificación de las necesidades que se debían cubrir, definiendo los criterios de selección. En este caso, inicialmente se analizaron las normas relacionadas con caracterización de superficies, seguidamente las enfocadas en la preparación de superficie, posteriormente del control de la aplicación de recubrimiento, y finalmente de la inspección del recubrimiento.

Se realizó la identificación de los organismos nacionales e internacionales encargados de emitir normas, en el caso de la normativa colombiana, este organismo es el Instituto colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), de manera internacional se tienen la Organización Internacional de Normalización (ISO), La Sociedad de Recubrimientos Protectores (SSPC), Asociación para la Protección y el Rendimiento de Materiales (AMPP), Asociación Nacional de Corrosión (NACE) y la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales (ASTM).

Se utilizaron bases de datos especializadas o plataformas en línea para acceder a las normas.

Se ejecutó una revisión de cada norma en detalle para evaluar su relevancia y aplicabilidad en cada área de interés, considerando la fecha de publicación, validez, requisitos técnicos, y otros factores relevantes.

Se seleccionaron las normas que cumplen con criterios y necesidades específicas, tales como la manera en que se selecciona y caracteriza un material, los tipos de materiales en los cuales se va a aplicar dicho recubrimiento, los principios de aplicación. Algunas de ellas difieren en sí, en su alcance y manera de implementación, pero coinciden en especificar los mismos resultados finales, por lo que pueden referirse y compararse unas con otras.

Se realizó una organización de las normas encontradas en una tabla dividida en categorías y temas específicos para facilitar su comparación y visualización.

3.2 Diseño de procedimiento para preparación, aplicación y evaluación de recubrimientos utilizados para la protección de aceros al carbono.

Fue necesario establecer con claridad los estándares y criterios según los cuales se diseñaría el procedimiento. Dado que la industria colombiana se rige por normativas específicas, se determinó que el diseño del procedimiento estaría basado en la especificación de un Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) de la normativa ISO 9001. Esta especificación indica la necesidad de crear una plantilla de procedimiento operativo estándar que contenga elementos definidos. (Ver Figura 2).

Figura 2

Flujograma, Pasos que debe tener un Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) según ISO 9001.



Nota. Esta figura muestra los ítems y la secuencia que debe tener un procedimiento POE según lo establece la ISO 9001, incluyendo parámetros reglamentarios, tales como resumen y fechas de aprobación y revisión.

4. Resultados

4.1 Búsqueda, clasificación y selección de normas nacionales e internacionales

En la tabla 1 se muestran las normas nacionales e internacionales relevantes para la selección, aplicación y evaluación de recubrimientos. Esta tabla se divide en tres secciones

principales: corrosión, limpieza y evaluación de los mismos. Cada sección comienza con el tema correspondiente, seguido de las cuatro normativas que se han tenido en cuenta.

Tabla 1

Clasificación y Selección de Normas Nacionales e Internacionales a tener en Consideración para la Selección, Aplicación y Evaluación de Recubrimientos.

Tema		Normas		
Descripción	Norma Americana (ASTM)	Norma Sueca (ISO)	Norma NACE (AMPP)	Normativa colombiana (ICONTEC)
CORROSIÓN				
Corrosión de metales y aleaciones, términos y definiciones básicos	-----	ISO 8044	NACE, Capítulo 2.	-----
Corrosión de metales y aleaciones (clasificación, determinación y estimación de la categoría corrosividad).	-----	ISO-9223-2012/ISO-12944	-----	NTC 6163
Categorías de corrosividad (efectos de la corrosión de primer año).	-----	ISO- 9226	-----	-----
Medición de parámetros ambientales relevantes.	ASTM E337	ISO-9225	-----	NTC 3951
Pasos en la elección de medidas optimizadas de protección contra la corrosión en entornos atmosféricos.	-----	ISO-11303	-----	NTC 6189
Corrosión de metales y aleaciones valores guía	-----	ISO 9224	-----	-----

para las categorías de corrosividad. Modelos de cálculo específicos atmósferas naturales al aire libre para exposiciones mayores a un año.

Grados de oxidación A/B/C/D/E	-----	ISO 8501- 1/ISO 4628-3	-----	-----
----------------------------------	-------	------------------------------	-------	-------

LIMPIEZA

Control preparación de superficies	-----	ISO 12944-4, parte 4/SIS 055900	NACE Capítulo 10.	-----
------------------------------------	-------	------------------------------------------	-------------------------	-------

Comparación patrones de limpieza

Limpieza con solventes	SP1	-----	-----	NTC 3891
Limpieza manual	SP2	St 2(Aprox)	-----	NTC 3892
Limpieza con herramienta mecánica, neumática o eléctrica.	SP3	-----	-----	NTC 3893
Limpieza con fuego.	SP4	-----	----- -	NTC 3894
Abrasivo metal blanco.	SP5	ISO Sa3	NACE 1	NTC 3895
Abrasivo nivel comercial.	SP6	ISO Sa2	NACE3	NTC 3896
Abrasivo ligero.	SP7	ISO Sa1	NACE4	NTC 3897
Limpieza con químicos	SP8	-----	----- -	NTC 3898
Limpieza con condiciones ambientales	SP9	-----	----- -	NTC 3899
Abrasivos metal casi blanco	SP10	ISO Sa2 1/2	NACE 2	NTC 3900
Limpieza mecánica o metal desnudo	SP11	-----	----- -	-----

Limpieza con chorro húmedo	SP12	-----	NACE 5	-----
Limpieza del concreto	SP13	-----	NACE 6	-----
Granalla chorreado industrial	SP14	-----	NACE 8	-----
Evaluación del perfil de anclaje	ASTM D4417	ISO 8503	NACE SP028	NTC 3951
APLICACIÓN DE PINTURA				
Aplicación de pintura	-----	SSPC-PA1	-----	-----
EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS				
Variables de evaluación en campo.	-----	-----	-----	NTC 3951
Espesor de película húmeda (EPH)	ASTM D 4414	-----	-----	NTC 3951
Espesor de película seca (EPS)	ASTMD1186/ASTM D7091	ISO 2808 ISO 19840	-----	NTC 591
Evaluación de adherencia del recubrimiento aplicado.	ASTM D4541/ASTM D3359	ISO 2409/ISO 4624	-----	NTC 3916
Medición de discontinuidades en recubrimientos no conductivos por el método (Holiday).	ASTM D5162	-----	NACE SP-0188	NTC 3951

Nota. Esta tabla muestra las normas que hacen referencia en un mismo tema bajo cuatro organismos reguladores diferentes, tres de manera internacional y uno nacional.

Las normas incluidas en la primera parte de la tabla están relacionadas con la definición de la corrosión de metales y aleaciones. Estas normas contienen los términos y definiciones básicos necesarios para comprender el concepto de corrosión. Es importante tener en cuenta este tipo de normas, ya que ofrecen definiciones previamente estudiadas y establecidas por sociedades especializadas. Esto permite contar con definiciones precisas y usar el lenguaje correcto en los informes o reportes técnicos.

Posteriormente, estas mismas sociedades han establecido una clasificación que permite categorizar la corrosividad en función de diversos factores, como la pérdida de material experimentada. En la ISO-9226 que se describen los posibles efectos de la corrosión en el primer año, facilitando la cuantificación y ayuda a comprender la influencia del entorno en el proceso de corrosión. Para llevar a cabo esta categorización, es fundamental medir los factores ambientales más relevantes.

Teniendo como base esta normativa y clasificación es posible seleccionar las medidas óptimas de protección. Las normas ISO 8501-1 e ISO 4628-3 también categorizan la corrosión en grados de oxidación, y en función de estos grados, se elige el grado de limpieza adecuado y se establecen pautas para la preparación de la superficie. Estos estándares de limpieza varían según la elección realizada.

Además, existen normas que describen cómo evaluar el perfil de anclaje tales como la ASTM D4417 la ISO 8503 y la NACE SP028 en cuanto a normativa internacional, y de manera nacional la NTC 3951, esto, siempre buscando la optimización en la aplicación de recubrimientos, como se describe en la SSPC-PA1, tanto en términos de rendimiento como de buenas prácticas.

En la norma NTC 3951 también define las variables que deben ser monitoreadas y los valores específicos que deben cumplirse para prevenir futuros defectos en el recubrimiento.

Finalmente, en el contexto de esta serie de normas estudiadas y analizadas, se incluyen pautas para la inspección de los recubrimientos, lo que garantiza que los recubrimientos se apliquen de manera correcta y cumplan con los estándares establecidos.

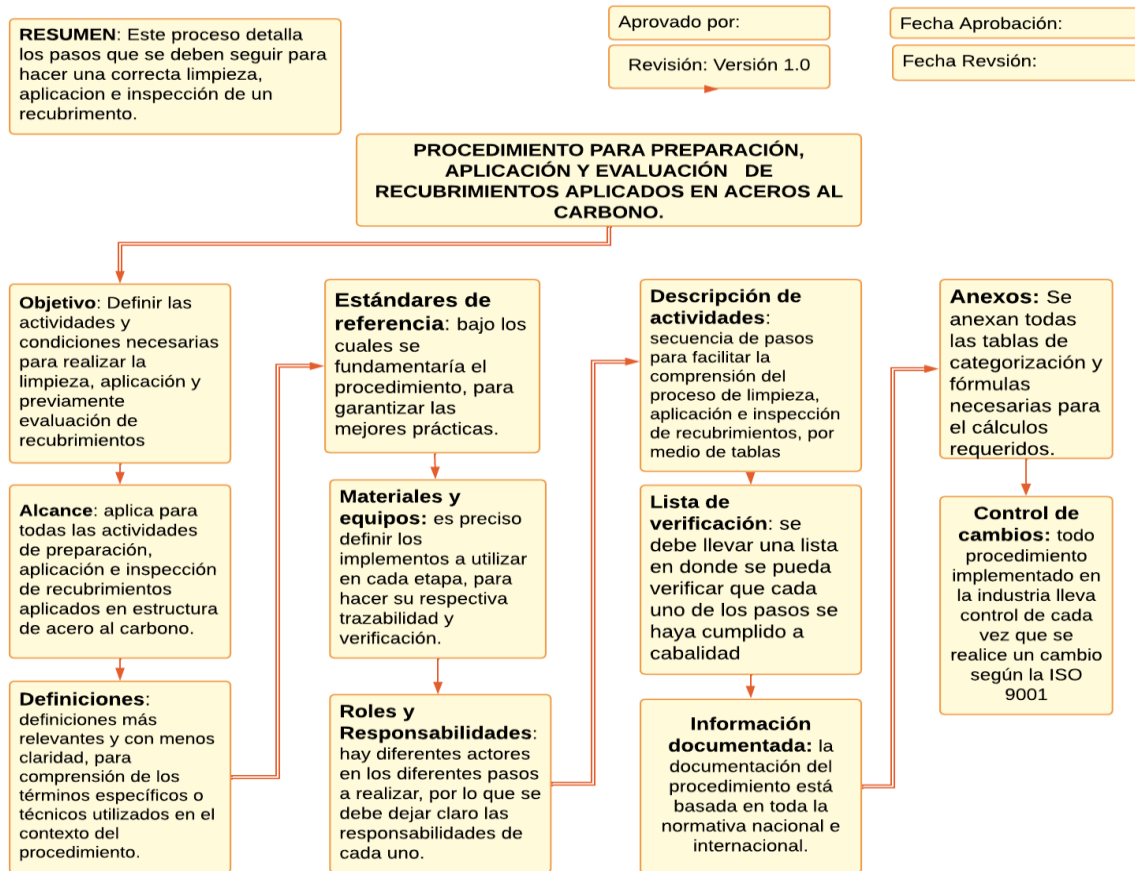
Estas pautas se encuentran en estándares como ASTM D4414, que proporciona directrices para evaluar el espesor de película húmeda (EPH), ISO 2808, que se enfoca en la evaluación del espesor de película seca (EPS), NTC 3916, que aborda la evaluación de la adherencia del recubrimiento aplicado, y ASTM D5162, que se utiliza para medir las discontinuidades en recubrimientos no conductivos mediante el método de Holiday. Cada una de estas normas tiene sus equivalentes en otros estándares.

4.2 Diseño de procedimiento para preparación, aplicación y evaluación de recubrimientos aplicados en aceros al carbono

La norma ISO 9001, establece un procedimiento como una serie de pasos documentados que describen cómo llevar a cabo una actividad o proceso específico en una organización. Estos procedimientos son esenciales para establecer estándares claros, garantizar la conformidad con los requisitos de calidad y facilitar la supervisión y mejora de los procesos con el objetivo de promover la calidad y la satisfacción del cliente, también nos ayudan a tener la secuencia correcta, en este caso en concordancia con las normas establecidas para cada uno de ellos (Ver Figura 3).

Figura 3

Flujograma, Pasos que debe tener un Procedimiento Operativo Estandarizado (POE) según ISO 9001 en la Aplicación de un Recubrimiento, según la Normativa Internacional.



Nota. Esta figura muestra los ítems, con el objetivo que se debe lograr en cada uno y la secuencia que debe tener un procedimiento POE según lo establece la ISO 9001, incluyendo parámetros reglamentarios, tales como resumen y fechas de aprobación y revisión.

4.2.1 Objetivo de procedimiento

Antes de comenzar el procedimiento, fue fundamental definir sus objetivos. En este caso, el objetivo principal era establecer similitudes entre las diferentes normas que abordan un mismo tema y definir el procedimiento de forma estructural y coherente. Aunque estas normas pueden variar en alcance, todas coinciden en especificar los mismos resultados finales, lo que permite referirlas y compararlas. Además, abordan los temas esenciales para lograr una práctica sólida en la aplicación e inspección de recubrimientos.

También se consideró factores importantes al seleccionar un sistema de recubrimiento, como las condiciones ambientales durante la aplicación y la influencia del entorno en la vida útil del recubrimiento.

Para este procedimiento el objetivo será, definir las actividades y condiciones necesarias para realizar la limpieza, aplicación y evaluación de recubrimientos en el material, cumpliendo con las especificaciones técnicas de la normativa, los estándares de calidad y los requerimientos del proyecto.

4.2.2 Alcance

En seguimiento a los requisitos establecidos por la ISO, se evaluó el alcance de este procedimiento generalizado, ya que se quiere dar a conocer de manera precisa cómo realizar correctamente la preparación de material, la aplicación y la inspección al aplicar un recubrimiento, siguiendo las especificaciones.

El alcance para este procedimiento será, el presente procedimiento aplica para todas las actividades de preparación, aplicación e inspección de recubrimientos aplicados en estructura de acero al carbono.

4.2.3 Definiciones

Se evaluaron y seleccionaron las definiciones más relevantes y con menos claridad, con el propósito que personas familiarizadas o no con la temática puedan comprender los términos específicos o técnicos utilizados en el contexto del procedimiento, y a su vez en cumplimiento de la especificación lo que ayudaría a la utilización de éste bajo una auditoria y la verificación de que se están siguiendo los procedimientos adecuadamente.

Para este procedimiento las definiciones más importantes seleccionadas fueron: tomadas de (Romero, 2022, p.109).

- **Especificación:** Documento técnico que describe todos los requisitos a observar cuando se tiene que proteger una estructura de acero frente a la corrosión mediante el uso de sistemas de pintura protector y que consiste en varias especificaciones individuales.

- **Corrosión:** Interacción físico-química entre un metal y su ambiente que resulta de cambios en las propiedades del metal, y que pueden llevar a menudo a una pérdida de la función del metal, del ambiente o del sistema técnico del que forma parte.

- **Pintura:** Material de recubrimiento pigmentado que, cuando se aplica a un sustrato, forma una película seca opaca que presenta propiedades protectoras, decorativas o específicas desde el punto de vista técnico.

- **Sistema de pintura protector/sistema de pintura anticorrosivo:** Suma total de las capas de pinturas o productos afines que se han aplicado o que se han de aplicar a un sustrato para proporcionar protección frente a la corrosión.

- **Sustrato:** La superficie sobre la que se aplica o se ha de aplicar el material de recubrimiento.

- **Arenado (Sandblasting):** Proceso de chorro abrasivo que remueve toda la corrosión, inclusive aquella de los cráteres más profundos sin desgastar de manera importante el material. Además, proporciona a la superficie un perfil de anclaje adecuado para que la pintura se adhiera de manera eficiente.

- **Perfil de rugosidad:** condición que presentan las superficies preparadas con chorro abrasivo, herramientas manuales y mecánicas y que se refiere principalmente a la altura medida desde las partes más profundas hasta los picos más altos. Las alturas de perfil más corrientes están comprendidas entre 1,5 y 4 mils.

- **Espesor de una película húmeda (WFT) o (EPH):** Espesor de una película de pintura medido mientras todavía está húmeda. El espesor de una película húmeda debe medirse justo después de su aplicación y antes de que los disolventes se evaporan o tenga lugar el encogimiento de la película al secarse.

- **Espesor de la película seca (EPS) (DFT):** Grosor de la película de pintura después de que todo el disolvente se ha evaporado.

•**Imprimante o pintura base:** Material de recubrimiento que es formulado y recomendado para uno o más de los siguientes propósitos: (i) proporcionar una unión firme entre el sustrato y el subsecuente recubrimiento; (ii) prevenir que un subsecuente recubrimiento sea absorbido dentro del sustrato; (iii) prevenir daño a un subsecuente recubrimiento a partir de materiales en el sustrato, y (iv) proporcionar una superficie lisa para la aplicación de un subsecuente recubrimiento.

•**Recubrimiento, revestimiento (Coating):** Película continua que se forma por una sola aplicación o aplicaciones múltiples de uno o varios materiales de recubrimiento sobre un sustrato. Es incorrecto el uso del término "recubrimiento" que se asocia al proceso de aplicación, por "material de recubrimiento" que se refiere a la pintura.

4.2.4 Estándares de referencia

Los estándares bajo los cuales se fundamenta el procedimiento, para garantizar las mejores prácticas que utilizan en la industria de los recubrimientos, se seleccionaron en la primera fase metodológica, en donde se hizo dicha búsqueda y comparación. Dichos estándares son:

- SSPC- Steel And Structures And Painting Council
- NACE- National Association Corrosión
- ASTM- American Society for Testing and Materials
- ISO- Organización Internacional de Normalización

4.2.3 Materiales y equipos

Es importante identificar los equipos que se utilizarán en el procedimiento, de modo que queden definidos y se puedan revisar al inicio y al final de su ejecución.

- Equipo AIRLESS para aplicación de pintura de acabado.
- Termohigrómetro para monitoreo de condiciones ambientales.
- Medidor de película seca de pinturas.
- Medidor de película húmeda de pinturas.
- Comprobador de adherencia por arranque.
- Herramientas menores.

4.2.4 Roles y responsabilidades

Para poder iniciar la aplicación de un recubrimiento se debe establecer el personal que estará en el proceso de control de calidad y el supervisor de pintura, los cuales tendrán labores específicas en cada parte del proceso, evitando posibles confusiones en cuanto a las tareas de cada actor.

- Inspector de calidad: evaluará cada labor realizada, bajo los estándares, y con la realización de las pruebas pertinentes para cada proceso.
- El Supervisor de limpieza y pintura: llevará control de las labores del personal encargado del proceso de limpieza, la aplicación, factores que influyen en el desempeño de estas, tales como las condiciones ambientales, también se obligará a corregir las zonas que no se encuentren bajo las especificaciones requeridas, señaladas por el inspector.
- Personal encargado de la limpieza: de acuerdo al grado de oxidación determinado, y los contaminantes presentes se determinará el patrón de limpieza, de acuerdo a esto el personal de limpieza deberá realizar esta.

- Aplicadores: Es responsabilidad del operario de pintura, realizar los procesos conforme a instrucciones del supervisor y/o a las indicaciones establecidas en los procedimientos.

4.2.5 Descripción de actividades

Para describir las actividades, considerando que el procedimiento se basa en la preparación adecuada del material, la aplicación del recubrimiento y su inspección, se dividió las actividades en una secuencia que refleja estos pasos, para facilitar la comprensión, se utilizó tablas separadas para cada uno de estos elementos.

Es preciso describir cada una de las actividades a realizar, para definir el orden en que se deben realizar, y la manera correcta como se deben ejecutar, bajo las normas establecidas para cada uno de los pasos.

4.2.5.1 Preparación de superficie. Antes de iniciar la aplicación de los recubrimientos y después de realizada la limpieza de la superficie, el supervisor deberá realizar un barrido con aire comprimido para retirar los restos de polvo, abrasivo o cualquier materia extraña desprendible que afecte el desempeño del recubrimiento. Si las superficies tratadas muestran esta presencia contaminante, la superficie afectada deberá ser limpiada y preparada nuevamente, de acuerdo con las especificaciones pertinentes.

4.2.5.1.1 Caracterización de superficie, control preparación de superficie.

Tabla 2

Actividades para la Caracterización de Superficie, Control Preparación de Superficie.

Caracterización de superficie, control preparación de superficie		
ITEM	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Inspección visual –	Recorrer, inspeccionar y registrar las áreas afectadas por corrosión y determinar el grado de oxidación A/B/C/D, de acuerdo a ISO 8501-1 y SSPC-VIS ver Tabla 6.
2	Limpieza	La superficie deberá estar completamente limpia, libre de partículas sueltas, grasa, polvo y demás contaminantes que puedan afectar la adherencia del producto. La superficie afectada deberá ser limpiada y preparada, de acuerdo con las especificaciones seleccionadas de las definidas por algunos comités, ver Tabla 7, patrones de limpieza con su respectiva descripción.
		Los grados de limpieza de acuerdo a la normativa internacional pueden compararse con la normativa americana SSPC, normativa SIS- sueca, norma NACE (Ver Tabla 1, sección comparación patrones de limpieza).
		Inmediatamente después de realizado el chorreado abrasivo, se procederá a limpiar con aire comprimido seco cualquier residuo de abrasivo, polvo, arena u otro contaminante.

3	Verificación de la limpieza	<p>De ser el caso, usar láminas abrasivas (lijas) antes de la aplicación de la primera capa, para remover las partículas de abrasivo que se incrustan en el perfil de anclaje y no son removidas con el aire.</p> <p>Los grados de limpieza y el perfil de anclaje para cada sistema será el anotado en la parte de preparación de superficies de cada sistema recomendado por el fabricante de las pinturas, se deberá verificar de acuerdo a la última versión del estándar SSPC.</p>
4	Determinación de perfil de anclaje.	<p>Para determinar el perfil de anclaje se utiliza cualquiera de los métodos presentados en la Tabla 8, según el método escogido se debe diligenciar el formato, de reporte de perfil de anclaje.</p>
5	Medida de perfil de anclaje	<p>Una vez seleccionado el método con el que se determinará el perfil de anclaje, se procederá a la medición del mismo.</p> <p>Si los Mils son medidos con cinta réplica, se deberá revisar la norma ASTM D 4417, y según NTC 3951, deberán estar entre 38 micrones y 63 micrones (1.5 mil a 2.5 mil).</p> <p>Una vez finalizada la preparación de superficie, máximo dos horas después se debe medir el perfil anclaje para evitar la oxidación ligera de la misma.</p>

Nota. En esta tabla se muestran las actividades en orden de ejecución, con su respectiva descripción, para la caracterización de superficie en el control que se debe hacer para la preparación de superficie.

4.2.5.2 Control de la aplicación de recubrimiento.

Tabla 3

Actividades para el Control de la Aplicación de Recubrimiento.

Control de la aplicación de recubrimiento		
ITEM	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
1.	Instrucciones de mezcla y preparación de producto.	<p>Se deberá realizar de acuerdo a las recomendaciones consignadas en cada una de las fichas técnicas y también seguir los lineamientos de la SSPC en su especificación SSPC- PA1</p> <p>Esto incluye el uso de equipos mecánicos para lograr una mezcla homogénea de los productos.</p> <p>Se deberán utilizar únicamente los solventes recomendados por el proveedor de pinturas para la mezcla de los productos.</p>
2.	Metodología de aplicación	<p>Se deberán seguir y cumplir estrictamente las recomendaciones consignadas en la última versión de los procedimientos de aplicación de la SSPC-PA1.</p> <p>Verifique que se disponga de todos los componentes y homogenice por separado previo a la mezcla empleando agitador manual o mecánico.</p> <p>Vierta el catalizador (Parte B) en el recipiente de la base (parte A), mezclando totalmente con el agitador los dos componentes.</p>
3.	Métodos de aplicación	<p>Actualmente hay varios métodos para aplicar recubrimientos, dentro de los que se encuentran: la brocha, el rodillo y los equipos de aspersión con aire y sin aire; cada método posee unas características específicas, ventajas, desventajas y limitaciones las cuales deben tenerse en cuenta en función de las necesidades específicas de los sistemas a recubrir, además de las razones operativas y ventajas económicas que brinda cada método.</p> <p>En la tabla 9 se describen estos métodos, y también se puede ver el rendimiento de cada uno.</p>

4. Aplicabilidad Los números de capas se determinarán por los espesores máximos de película estipulados en cada una de las fichas técnicas y/o recomendaciones del fabricante de los productos.

El procedimiento de aplicación deberá seguir los lineamientos establecidos en la especificación SSPC-SPA 1. Las recomendaciones anotadas en cada una de las fichas técnicas prevalecerán sobre cualquier otra indicación.

Aplique la pintura preparada antes de exceder su tiempo de vida útil.

5.	Tiempos de secado	Los tiempos de secado se deben respetar estrictamente y los tiempos de aplicación entre capas deben cumplir los lineamientos establecidos en las fichas técnicas de cada producto suministrado por el proveedor de pinturas.
6.	Medición de condiciones ambientales.	<p>Por medio de instrumentos (Termohigrómetro, termómetro magnético) medir: Humedad relativa, temperatura ambiente, punto de rocío, temperatura del metal.</p> <p>Las condiciones ambientales de aplicación son favorables cuando la temperatura de la superficie se encuentra por lo menos 3 °C sobre la temperatura del punto de rocío, la humedad relativa menor al 85% y la temperatura del ambiente entre 5 y 60 °C.</p> <p>Se deben seguir las recomendaciones consignadas en cada una de las fichas técnicas de los productos y ceñirse a las recomendaciones de la última versión de la SSPC-PA 1, especificación para la aplicación de pinturas en campo y taller de la SSPC. En caso de haber divergencias entre la especificación de la SSPC y la hoja técnica del producto prevalecerá la de la hoja técnica.</p>
7.	Medición de espesores de película de pintura húmeda (WFT) o (EPH).	Aplique el material de recubrimiento a un sustrato rígido y pruebe con la galga inmediatamente. La galga debe utilizarse inmediatamente después de la aplicación del recubrimiento. Algunos revestimientos pierden disolventes rápidamente y la aplicación por spray aumenta la velocidad. La rápida reducción resultante en el espesor de la película húmeda puede causar lecturas engañosas.

Localice un área suficientemente grande para permitir que las lengüetas extremas del calibrador descansen sobre el sustrato en el mismo plano y empújelo perpendicularmente a la película húmeda de modo que las dos lengüetas extremas se apoyan firmemente sobre el sustrato al mismo tiempo o fije una lengüeta de extremo firmemente en el sustrato y baje la galga hasta que la lengüeta del extremo esté firmemente en contacto con el sustrato.

Retire la galga de la película y examine las lengüetas. El grosor de la película se determina como la medida entre la lengüeta más corta humedecida y la separación de la siguiente lengüeta más corta no humedecida por la película.

Limpie el medidor inmediatamente después de cada lectura, frotándolo sobre un paño seco o un paño humedecido con disolvente para que las lecturas posteriores no se vean afectadas. No limpie con raspadores de metal.

Repita el procedimiento para al menos tres lugares en la película, preferiblemente sobre la pieza, perpendicular a ella y debajo de la misma. El número de lecturas necesarias para obtener una buena estimación del espesor de la película varía con la forma y el tamaño del artículo que se está recubriendo, con la experiencia del operador.

8. Cálculo de (WFT) o (EPH).

La relación wft/dft está basada en el porcentaje de sólidos por volumen de un material específico a ser aplicado (%spv). La cual se determina por la Ecuación 1.

La ecuación tendrá tanta precisión como sea preciso el valor de sólidos por volumen de la pintura. El porcentaje podría cambiar si es que se adiciona a la pintura un diluyente. En esos casos, el volumen total de material es incrementado sin un incremento correspondiente de la cantidad de sólidos. De esto obtendremos una pintura con una baja cantidad de sólidos. Así cuando comparamos una pintura diluida con una no diluida para alcanzar un espesor de película seca comparable, veremos que un mayor espesor de película húmeda será necesario aplicar en el caso de la pintura diluida. La fórmula Ecuación 2, incorpora este factor para determinar el wft cuando la pintura es diluida.

Nota. En esta tabla se muestran las actividades, en orden de ejecución con su respectiva descripción, para el control de la aplicación de recubrimiento.

4.2.5.3 Inspección del recubrimiento.

Tabla 4

Actividades para la Inspección del Recubrimiento.

Inspección del recubrimiento.		
ITEM	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Inspección visual	Se deberá hacer una inspección visual del 100% de los productos aplicados y se deberán corregir defectos como ojos de pescado, chorreos, piel de naranja (excesiva), cráteres, blanqueo, arrugamiento, “pinhole” u ojo de alfiler, entre otros, los que se pueden ver con mayor detalle, con sus respectivas características y soluciones en la Tabla 10 los cuales representan un riesgo para el desempeño del recubrimiento o presenten una mala apariencia.
2	Medición de espesores de película de pintura seca (EPS) (DFT)	<p>Se deberá hacer una inspección de acuerdo a los procedimientos para este tipo de pruebas consignados en la última versión de la norma SSPC-SPA2 para cada capa de pintura aplicada. Siguiendo las especificaciones del proyecto.</p> <p>Es una buena práctica usar el instrumento solamente después de que la calibración se haya verificado, para asegurar la fiabilidad de las lecturas.</p> <p>Se debe asegurar que el recubrimiento se encuentre seco antes de usar el instrumento, revisar el extremo de la sonda y la superficie que va ser medida para asegurar que están limpios.</p> <p>Tomar un número suficiente de lecturas para representar la superficie.</p>
3	Medición de adherencia por el método de resistencia a la tracción (PULL-OFF TEST)	De acuerdo a la última versión del método estándar de la ASTM D 4541 y la de SSPC-PA 2, se deberán realizar pruebas de adherencia sobre la superficie pintada. Ninguno de los resultados obtenidos debe ser inferior a lo estipulado en ASTM D 4541, en el sistema total o entre capas. En caso que algún resultado sea inferior al valor estipulado en la norma, dependiendo del sistema aplicado, se deberá proceder a realizar pruebas adicionales cubriendo radios de 500 mm tomando como centro la prueba defectuosa encontrada y realizando por lo menos cuatro pruebas por cada radio hasta obtener valores por encima de lo estipulado.

<p>4 Medición de discontinuidades en pinturas no conductoras por el método (HOLIDAY)</p>	<p>Se realizan ensayos eléctricos tipo Holiday para determinar la presencia y el número de discontinuidades en una película de recubrimiento sobre un revestimiento no conductor aplicado a una superficie conductora. Los recubrimientos que se apliquen con un espesor inferior a 20 milésimas de pulgada (0,5 mm) pueden ser dañados si se ensayan con equipos de prueba de chispas de alta tensión. Consulte al fabricante del revestimiento para obtener el equipo de prueba y las tensiones de inspección adecuadas. Para cada elemento estructural se deberá hacer el número de mediciones establecidas en el apéndice 3 de la norma SSPC-PA 2, siendo cada spot el promedio de 3 mediciones realizadas en un círculo de 4 cm de diámetro. Si se acuerda entre las partes, se podrán hacer más mediciones que las establecidas por la norma para cada elemento estructural.</p>
------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Nota. En esta tabla se muestran las actividades, en orden de ejecución con su respectiva descripción para la inspección del recubrimiento.

4.2.6 Lista de verificación

Se tuvo en cuenta la inclusión de actividades de carácter más general que son fundamentales para garantizar buenas prácticas. Estas actividades incluyen la creación de una lista de verificación.

Es importante en cada procedimiento de limpieza, aplicación e inspección realizar una lista de verificación, con el objetivo de no dejar ningún paso sin ejecutar, y a su vez llevar el registro de la actividad, cuando ya esté desempeñado. En la tabla 11 se presenta un formato de chequeo, como referencia.

4.2.7 Información documentada asociada

Toda la información para el planteamiento de procedimiento fue basada en información obtenida de documentos en este caso, normativa que es regulada por entidades, certificadas y reguladas, haciendo esta documentación verídica y certeza. En este caso dicha documentación es listada (Ver tabla 12).

4.2.8 Anexos

El procedimiento se ha desarrollado en base a normativas que establecen criterios específicos en diversos temas, como clasificaciones, patrones, métodos de implementación, entre otros, que ya están definidos. Estas normativas se incluyen como anexos para facilitar la consulta eficaz por parte de la persona encargada de llevar a cabo el procedimiento.

4.2.9 Control de cambios

Todo procedimiento debe llevar una trazabilidad para tener documentados los cambios que se le realizan y saber por qué se realizó, por eso es necesario tener un control de cambios. En este caso se diseñó una tabla para dicha control. (Ver Tabla 5).

Tabla 5

Control de cambios en procedimiento para la Selección, Aplicación y Evaluación de Recubrimientos.

VERSIÓN MODIFICADA	DESCRIPCIÓN DE LA MODIFICACIÓN	PASA A VERSIÓN	FECHA VIGENCIA
1	Se describe cualquier modificación que se realice al procedimiento, para llevar la trazabilidad del control de cambios y por qué se realizó.	2	12/11/2024

Nota. En esta tabla se muestran los ítems que deben tener en cuenta para el registro del control de cambios en un procedimiento POE según la ISO 9001.

5. Conclusiones

Durante la revisión de las normativas nacionales e internacionales de las organizaciones reguladoras de normas para la implementación y la inspección de recubrimientos con el fin de mitigar la corrosión, se identificaron varias normas con estructuras similares. Esto permitió la comparación de estas normativas y la extracción de los elementos más relevantes de cada una, que luego se utilizaron en el desarrollo del procedimiento.

Se diseñó un procedimiento para la selección, aplicación y evaluación de recubrimientos anticorrosivos. Este procedimiento se basó en la selección de diversas normativas internacionales

y nacionales. Aunque estas normativas abordan temas similares, se analizaron jerárquicamente, priorizando en primer lugar los estándares colombianos, seguidos de las normas establecidas por la Organización Internacional de Normalización, las asociaciones de normalización de recubrimientos y por último, las normativas estadounidenses.

El procedimiento desarrollado en este trabajo establece un protocolo completo para la selección, aplicación y evaluación de recubrimientos anticorrosivos en acero al carbono. Comienza con la categorización de los niveles de corrosión, lo que permite una elección adecuada del método de limpieza del material. A continuación, se detallan las técnicas de aplicación del recubrimiento y se destacan los factores que deben ser monitoreados durante este proceso para prevenir posibles defectos en el futuro. Finalmente, se describen algunas de las pruebas utilizadas para inspeccionar la calidad del recubrimiento. Este protocolo resulta útil tanto para personal experimentado en la implementación de recubrimientos como para aquellos que no lo están.

Referencias bibliográficas

(S/f-b). Edu.co. Recuperado el 7 de octubre de 2023, de https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/25083/0_1052401007.pdf?sequence=1&isAllowed=y

(S/f-b). Sikagua.com. Recuperado el 20 de septiembre de 2023, de https://sikagua.com/wpcontent/uploads/2020/02/MANUAL_2015.pdf de superficies metálicas.

Ahmad, Z. (2006). Principles of corrosion engineering and corrosion control. En *Elsevier eBooks*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-7506-5924-6.x5000-4>

American Society for Testing and Materials ASTM D5162 (2021). Standard Practice for Discontinuity (Holiday) Testing of Nonconductive Protective Coating on Metallic Substrates.

Aplicación de Recubrimientos Industriales. (s/f). Com.mx. Recuperado el 10 de agosto de 2023, de

Asale, R.-. (s. f.). Procedimiento | Diccionario de la Lengua Española. «Diccionario delalenguaespañola» Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/procedimiento?m=form>

Bardal, E. (2007). Corrosion and protection. Springer Science & Business Media.

Carbonell, J. C. (2011). *Pinturas y recubrimientos.: Introduccion a su tecnología.* Ediciones Díaz de Santos.

<https://www.psm-dupont.com.mx/es/axalta/servicios/aplicacion-de-recubrimientos.html>

ICCA. (2021). *Guías técnicas, Protección contra la corrosión- ICCA.* ICCA - Instituto Colombiano de la Construcción con Acero. <https://icca.com.co/guias-tecnicas/>

ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores Pinturas y barnices Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores (ISO). (2017).

ISO 9001. International Standarization Organization (ISO). (2015). Quality management systems. Requirements.

La Norma UNE EN ISO 12944 Explicada de Forma Sencilla. (s/f). BESA. Recuperado el 7 de octubre de 2023, de <https://www.bernardoecenarro.com/es/besa-lab/que-es-la-norma-une-en-iso-12944-pintura-industrial/>

Moghissi, O., Payer, J., & Jacobson, G. (s/f). International measures of prevention, application, and economics of corrosion technologies study. Nace.org. Recuperado el 27 de agosto de 2023, de <http://impact.nace.org/documents/Nace-International-Report.pdf>

NACE INTERNATIONAL. COATING INSPECTOR PROGRAM, LEVEL 1. HOUSTON: NACE, 2010.

Norma Técnica Colombiana NTC 2076. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2014). Galvanizado por inmersión en caliente para elementos en hierro y acero.

Norma Técnica Colombiana NTC 3951. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1996). Sistemas de pinturas protectoras variables de evaluación en campo.

Norma Técnica Colombiana NTC 591. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (1998). - Métodos de ensayo para la medición no destructiva del espesor de película seca de recubrimientos no magnéticos aplicados a una base ferrosa.

Norma Técnica Colombiana NTC-ISO 9000. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2015). Sistemas de calidad-fundamentos vocabulario.

P. (s/f). PREPARACIÓN DE SUPERFICIES METÁLICAS. Sika.com. Recuperado el 20 de septiembre de 2023, de <https://col.sika.com/dms/getdocument.get/cdbd8223-6802-3c99-a058-a013daac9e7b/PREPARACION%20DE%20SUPERFICIES%20%202008.pdf>

QuimiNet.com / Marketizer.com / eIndustria.com. (2023, 10 octubre). Glosario de términos relacionados con las pinturas y los recubrimientos (CONDENSACIÓN-DESENGRASANTE) | QuimiNet. 2000-2023 QuimiNet, S.A. de C.V. <https://www.quiminet.com/articulos/glosario-de-terminos-relacionados-con-las-pinturas-y-los-recubrimientos-condensacion-desengrasante-2570556.htm>

R. F. (s/f). Preparación de Superficie - Norma SSPC. Com.br. Recuperado el 7 de agosto de 2023, de <https://www.metalcym.com.br/intranet/Preparacion-de-superficies-norma-SSPC-granallado-cymmateriales-shotblasting.pdf>

Roberge, P. (2008). Corrosion Engineering : Principles and practice: Principles and Practice. McGraw Hill Professional.

Romero, H.O. (2022). Evaluación de recubrimientos y procedimiento de rehabilitación en tanques de estaciones de producción de hidrocarburos (Tesis de especialización). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/8959/Evaluacion_de_recubrimientos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sin título. (s/f). Iso.org. Recuperado el 1 de octubre de 2023, de <https://www.iso.org/obp/ui/es/>

Steel Structures Painting Council SSPC-PA2. (2015). Measurement of Dry Coating Thickness with Magnetic Gauges.


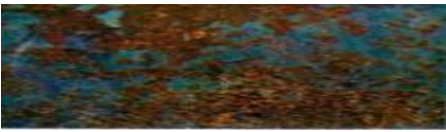


Uhlig, H. H., & Revie, R. W. (2008). Corrosion and corrosion control : An introduction to corrosion science and engineering. En *John Wiley & Sons eBooks*. <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA86338831>

Apéndices

Apéndice A. Clasificación grados de oxidación.

Tabla 6.

Clasificación grados de oxidación, según su exposición.

CLASIFICACIÓN GRADOS DE OXIDACIÓN			
GRADO	EXPOSICIÓN	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
A	Acero recién laminado	Superficie de acero revestido de calamina adherente y prácticamente sin corrosión.	
B	Acero después de 2-3 meses de exposición	Superficie de acero con oxidación residual y donde la calamina empieza a desprenderse.	
C	Acero después de 1 año de exposición	Superficie de acero cuya calamina ha desaparecido por la acción de la oxidación que se puede eliminar raspando, pero con leves picadas visibles.	
D	Acero después de 3 años de exposición	Superficie de acero cuya calamina ha desaparecido por acción de la oxidación y en la que se ven numerosas picadas.	

Apéndice B. Descripción de patrones de limpieza

Tabla 7.

Descripción de patrones de limpieza.

PATRONES DE LIMPIEZA		
NORMA SSPC	TIPO LIMPIEZA	DESCRIPCIÓN
SSPC-SP1	Limpieza con solventes	La limpieza con solventes es un procedimiento para eliminar materiales extraños perjudiciales tales como aceite, grasa, manchas y otras contaminaciones de las superficies de acero mediante el uso de solventes, emulsiones, compuestos limpiadores, limpieza con vapor o solventes clorados y métodos similares los cuales involucran una acción solvente o limpiadora.
SSPC-SP2	Limpieza manual	La limpieza manual es un método para preparar superficies metálicas para pintarlas, eliminando las cascarillas de laminado sueltas, la herrumbre y la pintura suelta con cepillo manual, lijado manual, raspado manual u otras herramientas de impacto o por combinación de varios métodos. La superficie debe quedar con un suave brillo metálico.
SSPC-SP3	Limpieza con herramientas eléctricas	La limpieza con herramientas eléctricas es un método para preparar una superficie metálica para pintarla, eliminando la cascarilla de laminado suelta, la herrumbre suelta y la pintura suelta con cepillos eléctricos, de impacto eléctrico, esmeril eléctrico, o mediante la combinación de varios de estos métodos. Al término de la limpieza, la superficie deberá presentarse rugosa y con un claro brillo metálico. En este tipo de limpieza hay que tener cuidado de no bruñir la superficie metálica a fin de lograr una buena adherencia de las pinturas a la base.

SSPC-SP4	Limpieza con llama y cepillado	<p>La limpieza con llama es un método para preparar superficies de metales no pintados, pasando la llama de oxiacetilénica de alta temperatura a gran velocidad sobre la superficie total y cepillando luego para eliminar las cascarillas y la herrumbre sueltas. Se intenta que toda la cascarilla, el óxido suelto y otros materiales extraños sean eliminados mediante este proceso, dejando la superficie caliente y seca a la cual se aplica la pintura anticorrosiva antes de que la superficie se enfríe.</p>
SSPC-SP5 / SA 3 / NACE 1	Limpieza por chorro abrasivo a metal blanco	<p>La limpieza por chorro abrasivo es un método para preparar superficies metálicas para pintarlas eliminando toda cascarilla de laminado, óxido o pintura vieja mediante el uso de un abrasivo impulsado a través de una tobera o mediante un par de ruedas centrífugas.</p> <p>Una superficie preparada A1 grado metal blanco con chorro abrasivo se define como una superficie con un tono uniforme gris-blanco metálico, ligeramente rugosa para formar conveniente el perfil de anclaje que permita una mejor adherencia de la pintura. La superficie quedará libre de cascarilla de laminado, óxido, productos de corrosión, pintura o cualquier otra materia extraña. El color de la superficie ya limpia puede verse afectado por el tipo del medio abrasivo usado.</p>
SSPC-SP6 / SA 2 / NACE 3	Limpieza por chorro abrasivo comercial	<p>La limpieza por chorro abrasivo a grado gris comercial se define como el método para preparar superficies de metal para pintarlas, eliminando las cascarilla de laminado, el óxido o las materias extrañas mediante el uso de abrasivos impulsados a través de toberas de aire comprimido o mediante el uso de una rueda centrífuga. El acabado final de una superficie que ha sido limpiada mediante chorro abrasivo comercial puede definirse como aquella en la cual todo el aceite, la grasa, la suciedad, la cascarilla de laminado, la herrumbre, la pintura vieja y las materias extrañas han sido completamente eliminados de la superficie, con la excepción de ligeras sombras, rayas o decoloraciones causadas por manchas de herrumbre y pintura. Si la superficie tiene picaduras, puede encontrarse herrumbre y restos de pintura en el fondo de las mismas. Por lo menos 2/3 de cada pulgada cuadrada de superficie estará libre de residuos visibles y el resto estará limitado a ligeras decoloraciones, ligeras sombras o ligeros residuos como los mencionados anteriormente.</p>

SSPC-SP7 / SA 1 / NACE 4	Limpieza por chorro abrasivo "Brush-off"	La limpieza por chorro abrasivo "brush-off" es un método para preparar una superficie de metal para pintarla mediante el impacto de abrasivos impulsados a través de una tobera de aire comprimido o mediante una rueda centrífuga, en donde no se pretende que la superficie debe estar totalmente libre de cascarilla de laminado, herrumbre y pintura. La cascarilla residual del laminado, la herrumbre y la pintura deberán ser muy delgadas y estar bien adheridas. Además la superficie debe presentar una ligera rugosidad para suministrar una buena adhesión y unión de la pintura.
SSPC-SP8	Decapado	La limpieza química o decapado es un método para preparar superficies metálicas para pintarlas, eliminando completamente el óxido de laminación y la herrumbre mediante reacción química con un ácido a un álcali.
SSPC-SP10 / SA 2 1/2 / NACE 2	Limpieza por chorro abrasivo a metal casi blanco	La limpieza por chorro abrasivo al grado casi blanco es un método de preparación de superficies metálicas para pintarlas, eliminando toda la cascarilla de laminado, la herrumbre, la pintura y las materias extrañas mediante el uso de un abrasivo impulsado a través de una tobera o mediante un par de ruedas centrífugas. El acabado final de una superficie que ha sido limpiada mediante chorro abrasivo al grado casi blanco se define como aquella en la cual toda pintura suelta, cascarilla de laminado, herrumbre, productos de corrosión, pinturas y otras materias extrañas han sido completamente eliminadas de la superficie, con la excepción de ligeras sombras, rayas o ligeras decoloraciones causadas por manchas de herrumbre. Por lo menos un 95% de la superficie estará libre de residuos visibles y el resto se limitará a las ligeras decoloraciones mencionadas anteriormente.
SSPC-SP14 / NACE 8	Granalla. Chorreado industrial	Limpieza Industrial se utiliza cuando el objetivo es eliminar la mayor parte de los recubrimientos, cascarilla, óxido. El objetivo de esta preparación de superficie es la limpieza industrial con chorro y cubre el uso de limpieza con chorro abrasivo para lograr un determinado grado de limpieza de las superficies de acero antes de la aplicación de un revestimiento protector. Esta norma está destinada para el uso por parte de aplicadores, inspectores o cuya responsabilidad en la que otros se pueden definir un estándar de limpieza superficial para posteriormente aplicación de recubrimientos.

SSPC-SP15	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).
SSPC-SP-16	Limpieza de metales 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.

Apéndice C. Métodos de determinación de perfil de anclaje

Tabla 8.

Métodos de determinación de perfil de anclaje.

FORMA IMPLEMENTACIÓN DE MÉTODOS DE PERFIL DE ANCLAJE

Método A

Seleccione el estándar comparador apropiado para el abrasivo utilizado para la limpieza por chorro. Coloque el comparador estándar directamente sobre la superficie a medir y comparar la rugosidad de la superficie preparada con la rugosidad de los segmentos comparadores. Esto se puede hacer a simple vista, con una ampliación de 5 a 10 aumentos o con el tacto. Cuando se usa la ampliación, la lupa debe ponerse en contacto íntimo con el estándar, y la profundidad de enfoque debe ser suficiente para que el estándar y la superficie estén enfocados simultáneamente. Seleccione el segmento de comparación que más se aproxima a la rugosidad de la superficie que se está evaluando o, si es necesario, a los dos segmentos a los que es intermedio. Evalúe la rugosidad en un número suficiente de ubicaciones para caracterizar la superficie según se especifique o acuerde entre las partes interesadas. Informe el rango de resultados de todas las ubicaciones así como el perfil de la superficie.

Método B

Antes de usar, ajuste el medidor a cero colocándolo en un trozo de vidrio sobre o cerca a la chapa. Sostenga el medidor por su base y presione firmemente contra el cristal. Ajuste el instrumento a cero. Para tomar lecturas, sujete firmemente el calibre contra el sustrato preparado. No arrastre el instrumento a través de la superficie entre las lecturas, ya que esto puede redondear la punta del instrumento o producir lecturas falsas. Mida el perfil en un número suficiente de ubicaciones para caracterizar la superficie, según se especifique o acuerde entre las partes interesadas. En cada localización hacer diez lecturas y determinar la media. A continuación, determine la media de todas las ubicaciones e informe como el perfil de la superficie.

Método C

Seleccione el rango de cinta correcto para el perfil que se va a medir: grueso, 0 a 2 mils (0 a 50 μm) y extra grueso, de 1,5 a 4,5 mils (40 a 115 μm). Retire el soporte de papel encerado y coloque la cinta en la superficie preparada con el lado de espuma hacia abajo, es decir, coloque el lado opaco hacia abajo; sostenga firmemente la cinta sobre la superficie y frote la porción de corte circular (aproximadamente 3/8 in o 6 mm de diámetro) con la herramienta de bruñido hasta que aparezca un color gris uniforme. Quite la cinta y colóquela entre los yunques de un micrómetro cargado por resorte. Mida el espesor de la cinta (espuma comprimida y película de plástico no compresible combinada). Reste el grosor de la película de plástico no compresible para obtener el perfil de la superficie. Mida el perfil en un número suficiente de lugares para caracterizar la superficie, según se especifique o acuerde entre las partes interesadas. En cada ubicación, haga tres lecturas y determine la media. A continuación, determine la media de todas las ubicaciones e informe como el perfil de la superficie.

Apéndice D. Métodos y rendimiento de aplicación de recubrimientos**Tabla 9.***Métodos y rendimiento de aplicación de recubrimientos.*

MÉTODO	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO
Brocha	Es el método más lento y más costoso. Aunque se consideraba el método más efectivo para la primera mano, debido a que el pintor puede alcanzar todos los rincones de la superficie, la aplicación por medio de este método deja irregularidades. Las brochas sintéticas o de Nylon son más durables que las brochas de fibras animales, pues conservan mejor su forma y además éstas son diseñadas para simular cerdas de cerdo al ser divididas las terminaciones de las fibras en varias secciones. Cuando se emplea brocha para aplicación de recubrimiento debe seleccionarse la brocha adecuada en función del área a recubrir y el tipo de pintura a usar para proporcionar buenos resultados en el acabado y evitar daño prematuro en las brochas; por ejemplo, los solventes fuertes como el epoxi, uretanos y vinilos deterioran las cerdas de nylon. La aplicación de pintura debe realizarse de manera longitudinal, después en forma cruzada y finalmente en la dirección original; debe revisarse frecuentemente las secciones terminadas examinando ondulaciones y corrigiéndolas mediante pinceladas hacia arriba. La brocha debe limpiarse para remover exceso de pintura, evitar presionar demasiado y revisar espesor de pintura. La brocha debe almacenarse adecuadamente (limpieza con el solvente recomendado, agua caliente jabonosa, enjuague y almacenar seca envuelta en papel pesado y en un lugar seco y frío) (PSM-DUPONT., 2016). La brocha se usa para trabajos pequeños y retoque de áreas dañadas, para esquinas o bordes, para alcanzar una buena penetración en fisuras y hoyos, en áreas donde el atomizado puede afectar otras superficies, para revestimiento de cinta de soldadura, remaches, pernos, tuercas, etc.; y en algunos casos para aplicación de imprimantes y de superficies que trabajan bajo el agua (NACE,2010).	90

Rodillo	<p>Es adecuado para cubrir áreas planas de gran tamaño en las que no se recomienda la aplicación por métodos como la aspersión. La longitud y tipo del mango del rodillo puede afectar la velocidad de aplicación, reducir el andamiaje y aumentar la producción. Su uso se limita a superficies planas y se usan frecuentemente en mantenimiento de tanques, barcos, áreas planas, estructuras de acero, tuberías, entre otras. Los rodillos están hechos de lana de cordero, prokmit, dynel, pronel, raynel, mohair, dacron, carpet, fireze, espuma plástica y piel de carnero. La selección del rodillo está determinada por la superficie a recubrir, el tipo de pintura a emplear y la uniformidad de película a obtener, puesto que la longitud de la fibra y la rugosidad de superficie están relacionados; una superficie muy rugosa requiere mayor longitud de la fibra en el tejido y una superficie lisa requiere longitudes de fibra corta. La selección del rodillo es diferente para recubrimientos base agua, base aceite y alquídicos, y tipo laca, epoxi catalizado y uretanos (PSM-DUPONT., 2016).</p>	185-370
Aspersión con aire	<p>Es el método más empleado por la versatilidad de aplicación en diferentes tipos de recubrimientos, en éste se utiliza aire comprimido para atomizar el recubrimiento en la tobera y suministrar recubrimiento bajo presión; este método permite variar los patrones respecto a la atomización y humedad del acabado. Aunque su eficiencia es inferior al método de aspersión sin aire, una adecuada combinación de presiones y selección de boquillas permite la aplicación de productos con alto peso específico y diferentes viscosidades. Para su aplicación debe considerarse la distancia entre la pistola y la superficie, la cual debe oscilar entre 15 y 20 centímetros; la pintura debe aplicarse a la mínima presión que permite su atomización de manera uniforme y la posición de la pistola debe ser perpendicular a la superficie por pintar. La pérdida de material por este método es de 25 a 35% (PSM-DUPONT., 2016).</p>	370-740

Aspersión sin aire	Este método emplea una bomba de alta presión, accionada hidráulicamente o por aire, para impulsar la pintura sin presencia de aire mediante un orificio a muy alta presión. Se caracteriza por utilizar menos adelgazador, proporcionar películas más gruesas por aplicación con el mínimo rocío o rebote respecto a otros métodos, logra mayor cubrimiento, mejor aplicación en rincones de difícil acceso y el rocío producido genera un patrón húmedo que influye en la rápida formación de la película y penetración de la superficie. El gasto de pintura se controla con el tamaño del orificio de la boquilla y la capacidad de la bomba impulsora. Las ventajas de la aspersión sin aire con respecto a la aspersión con aire son: aplicación más rápida, menos pérdida del material (entre el 5 al 15%), eliminación de contaminación por humedad del aire, menor volumen de aire requerido, mayores espesores con menos aplicaciones y mejor productividad en general; sin embargo, la aspersión sin aire o airless requiere cuidado con el traslapeo entre capas que pueden generar escurrimiento, depresiones y arrugas (PSM-DUPONT., 2016).	740-1100
--------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------

Nota: Fuente: (PSM-DUPONT., 2016).

Apéndice E. Fallas, características y posibles soluciones en recubrimientos más comunes

Tabla 10.

Fallas, características y posibles soluciones en recubrimientos más comunes.

Modo de falla	Características	Posible solución
---------------	-----------------	------------------

Blanqueado	No se considera un problema importante y se presenta a causa de luz ultravioleta y radiación del sol en el aglomerado orgánico. Las aminas curadas con epóxicos y ésteres de epóxicos se blanquean rápido; mientras que acrílicos y resinas modificadas con acrílicos son más resistentes a este modo de falla. Para evitar que se presente el blanqueado se seleccionan pigmentos que protejan las resinas, tales como láminas de pigmento de aluminio.	Selección de recubrimientos con buena resistencia al blanqueado y que contengan pigmentos que protejan el aglomerante. Uso de recubrimientos acrílicos debido a que no son susceptibles al blanqueado. La erosión puede disminuirse empleando resinas con calidad elastomérica.
Erosión	Es típico en recubrimientos aplicados con brocha, en la que se exponen las marcas con el tiempo; puede presentarse por lluvia intensa, vientos fuertes, su combinación, granizo, arena, tormentas de arena.	
Estrellamiento	Se presenta como grietas pequeñas en el recubrimiento con el paso del tiempo que se endurecen y se vuelven quebradizas. Para disminuir este modo de falla la formulación debe basarse en resinas resistentes al clima, pigmentos no reactivos, plastificantes estables y duraderos, y pigmentos de refuerzo. En algunos recubrimientos los pigmentos fibrosos y solventes de secado lento contribuyen con el control de secado y estrellamiento. Este modo de falla debe corregirse para evitar fractura y exposición de superficie.	Los recubrimientos seleccionados deben contener resinas resistentes a la intemperie y pigmentos de refuerzo. También debe considerarse una aplicación fina en varios pasos.
Agrietamiento	Se relaciona con el envejecimiento prematuro e intemperie, donde las grietas alcanzan el sustrato y son causadas por la tensión entre el recubrimiento y el sustrato. Para evitar que ocurra el agrietamiento en la formulación se consideran algunas resinas, plastificantes y colorantes (pigmentos de refuerzo fibroso o acicular).	Los recubrimientos seleccionados deben contener resinas no reactivas resistentes a la intemperie y pigmentos de refuerzo. Aplicación en varias capas y esperar su secado entre capas.

Arrugado	Se presenta si se aplican recubrimientos muy densos y este contiene demasiados secadores superficiales.	El recubrimiento debe aplicarse en varias capas y debe asegurarse el secado entre capas.
Falla bacteriológica	Las bacterias y hongos pueden estar sobre el recubrimiento y no afectar su resistencia, o alimentarse de él y desintegrarlo; la desintegración de los recubrimientos suele ocurrir debido a que son orgánicos (alquídicos o aceites, poliamidas epóxicas o que contienen plastificantes biodegradables).	El uso de epóxicos puede emplearse en áreas donde la humedad, bacterias y hongos pueden estar presentes; el óxido de zinc puede emplearse como pigmento con fungicidas y bactericidas.
Mala formulación	Para evitar una mala formulación se debe probar y evaluar adecuadamente el recubrimiento.	Conservar muestras de recubrimiento usado para posteriores consultas.

Nota: Fuente: (NACE. (s.f.))

Apéndice F. Formato lista de verificación inspección recubrimientos

Tabla 11.

Formato lista de verificación de verificación inspección recubrimientos.

	CUMPLE			OBSERVACIONES
	SI	NO	N/A	
Leer y comprender las fichas técnicas de cada recubrimiento. Verificar que el cliente tenga copia.				
Leer y comprender las especificaciones.				
LIMPIEZA PREVIA				
Observar y documentar la existencia de grasas, salpicaduras de soldadura, filos en bordes, delaminación y cualquier otro defecto				
Documentar la remoción de los defectos.				
Notificar al supervisor las no conformidades				

PREPARACIÓN DE SUPERFICIE

Medir y documentar las condiciones ambientales antes, durante y después de la preparación (Tamb - H% - Td Tcha).

Verificar y documentar la calidad y tipo de abrasivo.

Verificar y documentar proceso de reciclaje y alimentación de abrasivo nuevo para la preparación de superficie, cuando se trate de proceso reciclable

Verificar y documentar la calidad del aire para la preparación de superficie

Medir y documentar perfil de anclaje y verificar y verificar que estén en los rangos especificados.

Revisar las áreas preparadas para que estén acorde grado de limpieza especificado.

Observar y documentar la utilización de los EPP requeridos.

Notificar al supervisor las no conformidades

PREPARACIÓN RECUBRIMIENTO

Verificar que los componentes y proporciones de cada componente del recubrimiento sean los correctos.

Registrar y documentar medición de la temperatura del recubrimiento.

Verificar y documentar consumo del recubrimiento

Verificar recipientes adecuados para medición.

Verificar que las tapas de los tarros estén limpias.

Verificar como están agitando los componentes

Observar y documentar la adición del diluyente, y que sea el apropiado.

En caso de exceder vida útil durante la aplicación verificar y asegurar disposición y registrar cantidades

Registrar los números de lotes y la fecha de fabricación.

Observar y documentar el tiempo de mezclado.

Observar y documentar la velocidad de mezclado.

Registrar el tiempo final de la mezcla y tiempo transcurrido para inicio aplicación.

Confirmar y documentar si el recubrimiento es utilizado dentro del tiempo de vida útil.

Observar y documentar la utilización de los EPP requeridos.

Notificar al supervisor las no conformidades

APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO

Medición de las condiciones ambientales antes, durante y después de la aplicación. (Tamb - H% -Td -Tcha).

Observar y documentar el equipo de aplicación utilizado y si es el recomendado por el fabricante de pintura

Observar y documentar si el patrón de rociado es uniforme

Observar y documentar los EPH medidos por el aplicador.

Verificar y documentar el cumplimiento de los tiempos de secado (tacto, segundas manos, servicio) entre la aplicación de capas.

Observar y documentar el estado de los equipos de aplicación.

Observar y documentar la utilización de los EPP requeridos.

Notificar al supervisor las no conformidades.

INSPECCIÓN FINAL E INSPECCIONES PERIÓDICAS

Llevar registros diarios e informes semanales.

Observar y documentar fallas en la aplicación

Revisar inventario y advertir necesidades

Verificar y documentar los EPS en forma aleatoria

Revisar periódicamente residuos de recubrimiento en recipientes y procedimientos de disposición que sirvan para advertir problemas de homogenización o agitación durante la aplicación.

Realizar pruebas de adherencia de acuerdo ASTM D 4541 en forma periódica y por lote despacho

Solicitar trabajo adicional para las áreas defectuosas.

Verificar que las No Conformidades por aplicación sí hayan sido reparadas por el contratista.

Revisar vigencias y programar certificaciones de equipos de inspección periódicamente.

Nota: No es obligatorio realizar siempre todas las actividades listadas en este documento, pero sí ser conscientes de cada una de ellas.

Tabla 12.

Listado de normas tenidas en consideración en el desarrollo del procedimiento.

Norma	Definición
ISO 9224	Corrosividad de atmósferas. Valores de referencia para las categorías de corrosividad.
ISO 8044	Corrosión de metales y aleaciones. Vocabulario.
ISO-9223-2012	Corrosividad de atmósferas. Clasificación, determinación y estimación.
ISO-12944	Pinturas y barnices Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores.
ISO- 9226	Determinación de la velocidad de corrosión de las probetas de referencia para la evaluación de la corrosividad.
ISO-9225	Medida de los parámetros ambientales que afectan a la corrosividad de las atmósferas.
ISO-11303	Directrices para la selección de métodos de protección contra la corrosión atmosférica.
ISO 9224	Valores de referencia para las categorías de corrosividad.

ISO 8501-1	Evaluación visual de la limpieza de las superficies. Parte 1: Grados de óxido y de preparación de sustratos de acero no pintados después de eliminar totalmente los recubrimientos anteriores.
ISO 4628-3	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.
ISO 12944-4	Paints and Varnishes Corrosion Protection of Steel Structures by Protective Paint System.
ISO 12944-4, parte 4	Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores. Parte 4: Tipos y preparación de superficies.
SIS 055900	La metodología utilizada se basa en la comparación de la superficie tratada con el patrón de la norma con transparencias.
ISO 2808	Determinación del espesor de película.
ISO 19840	Protección contra la corrosión de estructuras de acero mediante sistemas de pintura protectora. Medición y criterios de aceptación del espesor de películas secas sobre superficies rugosas.
ISO 8503	Características de rugosidad de los sustratos de acero chorreados. Parte 1: Especificaciones y definiciones relativas a las muestras ISO de comparación táctil-visual para la evaluación de superficies preparadas mediante proyección de agentes abrasivos.
ISO 2409	Ensayo de corte por enrejado.
ISO 4624	Ensayo de adherencia por tracción.
SSPC-PA 1	Especificación para la aplicación de pintura.
SSPC-PA 2	Procedimientos para medir el espesor de una película seca (DFT).
NACE SP028	Inspección de la aplicación de recubrimiento interior en equipos de concreto (Hormigón) y acero.
NACE SP-0188	Prueba de discontinuidad (Hollyday) de nuevos revestimientos protectores en sustratos conductores.
NTC 6163	Corrosión de metales y aleaciones, corrosividad de atmósferas. clasificación, determinación y estimación.
NTC 3951	Pinturas y productos afines. Sistemas de pinturas protectoras. Variables de evaluación en campo.
NTC 6189	Corrosión de metales y aleaciones. directrices para la selección de métodos de protección contra la corrosión atmosférica.
NTC 3891	Preparación de superficies metálicas. Limpieza con solventes.
NTC 3892	Preparación de superficies metálicas. Limpieza con herramientas manuales.
NTC 3893	Preparación de superficies metálicas. Limpieza con herramienta eléctrica.
NTC 3894	Preparación de superficies metálicas. Limpieza de acero nuevo con llama.
NTC 3895	Preparación de superficies metálicas. Limpieza con chorro a metal blanco.

NTC 3896	Preparación de superficies metálicas. Limpieza con chorro a grado comercial.
NTC 3897	Preparación de superficies metálicas. Limpieza por areneado suave.
NTC 3898	Preparación de superficies metálicas. Decapado.
NTC 3899	Preparación de superficies metálicas. Limpieza por acción atmosférica seguida de limpieza con chorro.
NTC 3900	Preparación de superficies metálicas. Limpieza con chorro grado casi blanco.
NTC 3951	Pinturas y productos afines. Sistemas de pinturas protectoras. Variables de evaluación en campo.
NTC 591	Métodos de ensayo para la medición no destructiva del espesor de película seca de recubrimientos no magnéticos aplicados a una base ferrosa.
NTC 3916	Método de ensayo para la resistencia a la tracción de recubrimientos, utilizando probadores portátiles de adherencia.
ASTM E337	Método de prueba estándar para medir la humedad con un psicrómetro (la medición de las temperaturas de bulbo húmedo y seco).
ASTM D4417	Métodos de ensayo estándar para la medición en campo del perfil de la superficie del acero limpiado con chorro de arena.
ASTM D7091	Práctica estándar para la medición no destructiva del espesor de película seca de recubrimientos no magnéticos aplicados a metales ferrosos y recubrimientos no magnéticos y no conductores aplicados a metales no ferrosos.
ASTM D3359	Métodos de prueba estándar para calificar la adherencia mediante prueba de cinta.
ASTM D5162	Práctica estándar para pruebas de discontinuidad (holiday) de revestimientos protectores no conductores sobre sustratos metálicos.
ASTM D 4414	Espesor de película húmeda.
ASTMD1186	Medición no destructiva del espesor de película seca de recubrimientos No-Magnético aplicado a una base ferrosa.
ASTM D4541	Medición no destructiva del espesor de película seca de recubrimientos No-Magnético aplicado a una base ferrosa.

Apéndice G. Fórmulas para cálculos de espesores de película húmeda y seca

- Espesor de película seca, ESP {mils}

Sin adición de solvente

$$EPS = EPH * \text{Sólidos en volumen}$$

Ecuación (1)

Con adición de solvente

$$EPS = EPH * \frac{\text{Sólidos en volumen}}{(1 + \text{Solvente adicionado})} (\text{mils})$$

Ecuación (2)

- Espesor de película húmeda (EPH) {mils}

Sin adición de solvente

$$EPH = \frac{EPS * (1 + \text{Solventes adicionado})}{\text{Sólidos en volumen}}$$

Ecuación (3)

Con adición de solventes

- Rendimiento teórico de pinturas (RT).

$$RT = 1.5 * \% \text{ Sólidos en volumen}$$

Ecuación (4)

- Rendimiento práctico de pinturas (RP).

$$RP = RT * FCS * FCA$$

Ecuación (5)

Donde:

RP= Rendimiento práctico

RT= Rendimiento teórico.

FCS= Factor de corrección debido a la superficie a pintar.

FCA=Factor de corrección debido al equipo de aplicación a utilizar.

