

EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS Y PROCEDIMIENTO DE REHABILITACIÓN EN TANQUES DE ESTACIONES DE PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS



MONOGRAFÍA PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN GESTIÓN
DE LA INTEGRIDAD Y CORROSIÓN

PRESENTA:

ING. HENRY ORLANDO ROMERO ARIAS

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

BOGOTÁ

2022

EVALUACIÓN DE RECUBRIMIENTOS Y PROCEDIMIENTO DE
REHABILITACIÓN EN TANQUES DE ESTACIONES DE PRODUCCIÓN DE
HIDROCARBUROS

HENRY ORLANDO ROMERO ARIAS

MONOGRAFÍA PARA OBTENER EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN GESTIÓN
DE LA INTEGRIDAD Y CORROSIÓN

DIRECTOR:
PhD. JOSÉ ANÍBAL SERNA GIL

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA

BOGOTÁ

2022

Nota de aceptación

Firma: presidente del Jurado

Firma: Jurado

Firma: Jurado

Bogotá D.C. 10 de junio 2022

La autoridad científica de la Facultad de Ingeniería, reside en ella misma, por lo tanto, no responde por las opiniones expresadas en este trabajo de grado.

Tabla de contenido

LISTA FIGURAS.....	7
LISTA DE TABLAS.....	8
RESUMEN.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:.....	13
2. JUSTIFICACIÓN.....	14
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. OBJETIVO GENERAL:.....	15
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	15
4. MARCO TEÓRICO.....	16
4.1. ANTECEDENTES.....	16
4.2. BASES TEÓRICAS.....	20
4.2.1. CORROSIÓN.....	20
4.2.2. CORROSIÓN GENERAL O UNIFORME.....	20
4.2.3. CORROSIÓN POR PICADURA (PITTING).....	21
4.2.4. CORROSIÓN POR RENDIJAS.....	21
4.2.5. RECUBRIMIENTOS.....	21
4.2.6. APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS.....	31
4.2.7. PREPARACION DE SUPERFICIES.....	38
4.2.8. CLASIFICACIÓN DE AMBIENTES.....	57
4.2.9. TIPOS DE PINTURA.....	61
4.2.10. SISTEMAS DE PINTURAS.....	66
4.2.11. TABLAS PARA LOS SISTEMAS ANTI-CORROSIVOS PARA C2 A C5, IM 1, IM2 E IM3.....	68
4.2.12. INSPECCION.....	78
5. MARCO METODOLÓGICO.....	91
5.1. Enfoque metodológico.....	91

5.1.1.	Contexto.....	91
5.2.	Análisis de informes de inspección previos a mantenimiento	91
5.2.1.	Verificación de datos y análisis en tanque del departamento del Tolima, Colombia.	91
5.2.2.	Verificación de datos y análisis en tanque del departamento de Bolívar, Colombia.	98
5.3.	Aplicación de criterios para rehabilitar recubrimientos en mantenimiento.	
	104	
6.	<i>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA RECUBRIMIENTOS</i>	107
7.	<i>PROCEDIMIENTO DE EVALUACION Y REHABILITACION DE RECUBRIMIENTOS EN MANTENIMIENTO DE TANQUES.....</i>	109
7.1.	OBJETIVO.....	109
7.2.	ALCANCE.....	109
7.3.	DEFINICIONES.....	109
7.4.	DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.....	111
7.4.1.	Evaluación y valoración de recubrimiento actual.....	111
7.1.1.	Lista de verificación – clasificación de ambientes.....	113
7.1.2.	Proceso para rehabilitación parcial o completa de recubrimientos.....	114
7.1.3.	Materiales y equipos.....	119
7.1.4.	Elementos de Protección Personal.....	119
7.1.5.	Recurso humano.....	120
7.1.6.	Seguridad y salud en el trabajo.....	120
7.1.7.	Medidas ambientales.....	121
7.1.8.	Roles y responsabilidades.....	122
7.1.9.	Registros aplicables.....	126
8.	<i>RESULTADOS.....</i>	133
9.	<i>CONCLUSIÓN.....</i>	134
10.	<i>BIBLIOGRAFÍA.....</i>	135

LISTA FIGURAS

<i>Figura 1. Componentes de un recubrimiento.</i>	<i>22</i>
<i>Figura 2. Mecanismos formadores de película, secado y/o curado.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 3. Grados de limpieza.</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4. Grado A.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 5. Grado B.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 6. Grado C.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 7. Grado D.....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 8. Tk Tolima, Área general externa.</i>	<i>97</i>
<i>Figura 9. Tk Tolima, Tuberías externas.....</i>	<i>97</i>
<i>Figura 10. Tk Tolima, Área interna.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 11. Tk Bolívar. Área general externa.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 12. Tk Bolívar. Estructuras y escaleras.</i>	<i>102</i>
<i>Figura 13. Tk Bolívar. Tuberías y conexiones.....</i>	<i>102</i>
<i>Figura 14. Tk. Bolívar. Pestaña y tubería externa.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 15. Tk. Bolívar. Área interna - laminas cuerpo.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 16. Tk Bolívar. Área interna - columna central.....</i>	<i>103</i>
<i>Figura 17. Tk Bolívar. Área interna - sumidero.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 18. Tk Bolívar. Área interna - laminas del fondo.....</i>	<i>104</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Clasificación de recubrimientos</i>	22
<i>Tabla 2. Inconvenientes y soluciones referentes a mal diseño o fabricación.</i>	28
<i>Tabla 3. Fallas y posibles soluciones.</i>	29
<i>Tabla 4. Tabla de rendimiento de métodos de aplicación de pinturas</i>	34
<i>Tabla 5. Clasificación de ambientes para acero de bajo carbono y cinc</i>	35
<i>Tabla 6. Grados de limpieza a chorro</i>	41
<i>Tabla 7. Grados de limpieza de herramientas manuales y eléctricas</i>	42
<i>Tabla 8. Limpieza de llama.</i>	43
<i>Tabla 9. Designaciones del Steel Structures Painting Council (SSPC) de los métodos de preparación de superficies para revestimientos.</i>	46
<i>Tabla 10. Preparación de superficie mínima</i>	50
<i>Tabla 11. Características de las resinas</i>	50
<i>Tabla 12. Clasificación de recubrimientos de acuerdo al método de curado</i>	52
<i>Tabla 13. Vida estimada de sistemas de pintura en años</i>	54
<i>Tabla 14. Consejo de Pintura de Estructuras de Acero estándar SSPC-VIS2 para representación pictórica de clasificación de óxido para superficies a pintar</i>	55
<i>Tabla 15. Categorías de corrosividad atmosférica y ejemplos de ambientes habituales.</i>	58
<i>Tabla 16. Tiempo calculado de humedad y características seleccionadas de varios tipos de clima.</i>	59
<i>Tabla 17. Anexo A. Tabla A.1 - Términos abreviados y descripciones</i>	70
<i>Tabla 18. Anexo B. Tabla B.1 - Preparación superficial</i>	71
<i>Tabla 19. Tabla B.2 - Resumen del número mínimo de capas (MNOC en sus siglas en inglés) y mínimo NDFT del sistema de pintura dependiendo de la durabilidad y la categoría de corrosividad sobre sustratos chorreados con abrasivo</i>	71

Tabla 20. Tabla B.3 – Resumen del mínimo número de capas (MNOC) y mínimo NDFT del sistema de pintura dependiendo de la durabilidad y la categoría de corrosividad sobre acero galvanizado en caliente conforme a la Norma ISO 1461.	72
Tabla 21. Tabla B.4 – Resumen del mínimo número de capas (MNOC) y mínimo NDFT del sistema de pintura dependiendo de la durabilidad y la categoría de corrosividad sobre recubrimiento metálico térmicamente proyectado conforme a la Norma ISO 2063 (todas las partes).	73
Tabla 22. Tabla B.5 – Resumen del mínimo número de capas (MNOC) y mínimo NDFT del sistema de pintura para acero al carbono para las tres categorías de inmersión con dos diferentes durabilidades sobre sustratos de acero chorreado con abrasivos.	73
Tabla 23. Tabla C.1 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C1.	74
Tabla 24. Tabla C.2 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C2.	74
Tabla 25. Tabla C.3 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C3.	75
Tabla 26. Tabla C.4 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C4.	76
Tabla 27. Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C5.	77
Tabla 28. Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de inmersión Im1, Im2 e Im3.	78
Tabla 29. Resumen de datos redondos (Summary of Round-robin Data).	89
Tabla 30. Voltajes sugeridos para pruebas de chispas de alto voltaje (Suggested Voltages for high Voltaje Spark Testing).	90
Tabla 31. Datos generales informe de inspección de tanque en el departamento del Tolima, Colombia.	92

Tabla 32. Comentarios de inspección visual realizada a tanque en el departamento del Tolima, Colombia.	93
Tabla 33. Valoración general de inspección visual del tanque en el departamento del Tolima, Colombia.	95
Tabla 34. Datos generales informe de inspección de tanque en el departamento de Bolívar, Colombia	99
Tabla 35. Contenidos de una especificación de inspección y evaluación. Norma ISO 12944-8.	106
Tabla 36. Formato sugerido o guía de la norma ISO 12944-8.	108
Tabla 7.4.1. Evaluación y valoración de recubrimiento actual.	111
Tabla 7.1.2. Rehabilitación parcial o completa de recubrimiento.	114
Tabla 7.1.7. Medidas ambientales.	121

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, consiste en el análisis, evaluación y documentación de la rehabilitación de recubrimientos en tanques que han estado en servicio, basado en las variables de condiciones y diferentes normas que especifican o recomiendan el uso de los recubrimientos para diferentes aplicaciones, ambientes y de servicio.

El problema de investigación es considerado, a partir de que no existe una guía o procedimiento genérico en el cual se pueda parametrizar y evaluar los recubrimientos existentes o que han estado en servicio algún tiempo, con el fin de obtener los criterios para rehabilitar la protección de corrosión, y de esta manera elaborar especificaciones, planes de calidad y las propuestas de reparación.

La investigación se realiza con base a la metodología cualitativa, obteniendo información de fuentes, como estándares o normas de protección de corrosión e informes de inspección realizados a tanques con fallas de recubrimientos, para analizar y evaluar los defectos donde se buscan soluciones para rehabilitar y reparar las pinturas.

Lo anterior permite que el procedimiento de evaluación de recubrimientos aporte la información necesaria para hacer un correcto paso a paso del análisis, inspecciones, técnicas de reparaciones y recomendaciones de los esquemas de recubrimientos en superficies metálicas de tanques en estaciones de producción de hidrocarburos.

INTRODUCCIÓN

Esta monografía enfoca su importancia en la orientación y facilidad que proporcionara técnicamente para interpretar los informes de inspección preliminares a cualquier intervención de los tanques en estaciones de producción de hidrocarburos, teniendo como principio el análisis y evaluación de defectos de acuerdo a estándares internacionales y nacionales, con los cuales se obtendrán las alternativas y procedimiento para realizar las reparaciones en la rehabilitación de recubrimientos.

En la actualidad las empresas al realizar los mantenimientos de los tanques contratan empresas dedicadas a realizar inspecciones de integridad de activos y por lo general estas se ejecutan cuando los equipos aún se encuentran en servicio, por esta razón se usan equipos o herramientas de inspección no intrusivas y que se enfocan en medir la pérdida de espesores de los materiales metálicos para determinar la criticidad de las fallas por corrosión, y se ha notado en diferentes casos que no se da la importancia a verificar las condiciones en las que se encuentran los recubrimientos tanto en áreas internas como externas de los tanques, por esta razón se requiere un procedimiento que proporcione herramientas de guía que ayuden a identificar los defectos del recubrimiento, así como los ensayos de calidad y valoración, con el fin de obtener resultados que permitan evaluar el recubrimiento en deterioro y rehabilitar nuevamente las superficies metálicas para garantizar el tiempo de vida del tanque, de acuerdo a las pérdidas o fallas por corrosión identificadas con otros métodos.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:

En Colombia y su diversidad de industrias se usan diferentes tipos de aplicaciones de recubrimientos siendo una de las principales formas de proteger contra corrosión los tanques de proceso; en las estaciones de producción de hidrocarburos se ha notado la falta de una herramienta que permita seguir una serie de pasos y evaluar los recubrimientos en donde se determine las variables, inspecciones, medios y recomendaciones para rehabilitarlos.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

Generalmente en la gestión de integridad de activos se realizan de manera periódica inspecciones y paradas del servicio, en las cuales se determinan algunas fallas con diferentes métodos o técnicas de inspección, en estas se especifican o caracterizan las zonas de falla, aproximación de cantidad de fallas, sin embargo esto no es suficiente para analizar, evaluar y determinar con claridad las causas y las recomendaciones que permitan garantizar un correcto desempeño en las aplicaciones con recubrimientos.

Po consiguiendo la determinación de los criterios de evaluación para rehabilitar recubrimientos en tanques de proceso en estaciones de producción de hidrocarburos, basado en los diferentes estándares de preparación de superficies, clasificación de ambientes, condiciones de servicio, posibilidades de mantenimiento, esquemas de recubrimientos, inspección y aseguramiento de calidad en todo el proceso desde los datos para identificar los defectos hasta realizar las reparaciones y que se pueda poner en servicio nuevamente lo tanques.

Las principales variables que forman parte del análisis en la evaluación de recubrimientos son inspecciones, caracterización de ambientes y aplicación según estándares internacionales, guías y recomendaciones, con las cuales se definirá el procedimiento general para los criterios de rehabilitación de los recubrimientos.

2. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo está enfocado en el análisis de las inspecciones, evaluación y pasos para determinar o proponer las alternativas y diferentes posibilidades de los esquemas de rehabilitación de los recubrimientos, partiendo de los datos de entrada de inspecciones realizadas de manera general, lo cual permitirá obtener los parámetros para crear procedimiento de ejecución, plan de calidad y ensayos, ya que no existe una guía para determinar esos criterios técnicos con los cuales se pueda definir un esquema adecuado para el servicio de los tanques en estaciones de producción de hidrocarburos y en las zonas donde se encuentren.

A partir de esta monografía se podrá obtener una guía de aspectos técnicos y consideraciones basadas en los estándares nacionales e internacionales aplicables a la preparación de superficies, aplicación de recubrimientos y controles de calidad, los cuales proporcionan la caracterización, verificación y evaluación de los recubrimientos actuales con defectos y las alternativas que permitan una rehabilitación con el objetivo de proteger las superficies metálicas de los tanques de acuerdo a sus datos y zonas de operación.

Esta monografía hace uso de la información obtenida por su autor, en las diferentes obras de mantenimiento de tanques, permitiendo conocer todos los aspectos técnicos preliminares y de informes de inspección iniciales, que se entregan a una empresa contratista para que realice presupuestos y proporcione las posibilidades de evaluar y rehabilitar los recubrimientos, dado que en la mayoría de los casos las empresas operadoras no poseen especificaciones técnicas adecuadas y criterios para el aseguramiento de preparación de superficies y aplicación de recubrimientos; y esta es la razón principal con la que se busca definir o aportar criterios técnicos que mejoren la evaluación y facilidad de interpretar los requerimientos de cada caso donde se deba rehabilitar recubrimientos en superficies metálicas de tanques en estaciones de producción de hidrocarburos.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Elaborar el procedimiento con los criterios y alternativas de recubrimientos en la evaluación y rehabilitación de los sistemas de protección para tanques en mantenimiento, en estaciones de producción de hidrocarburos.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- 1- Analizar los informes de inspecciones generales que se realizan una vez el tanque es suspendido del servicio para mantenimiento, y que determinan las posibles fallas evidenciadas de manera visual en los recubrimientos.
- 2- Analizar y documentar los criterios de selección, evaluación y rehabilitación de recubrimientos de acuerdo a la norma ISO 12944.
- 3- Elaborar el paso a paso de descripción actividades, inspección y ensayo que permita evaluar los defectos de los recubrimientos que han estado en servicio, describiendo los métodos de pruebas y criterios de aceptación del recubrimiento nuevo durante el mantenimiento de tanques, de acuerdo a normas ICONTEC, SSPC, ASTM, ISO y NACE.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. ANTECEDENTES

Vargas Daza, Vinyenzo (2021). Impacto de los recubrimientos como alternativa de solución a la corrosión en los sistemas de transporte en la industria de hidrocarburos en Colombia.

Resumen: En esta monografía se considera profundizar el impacto que tienen los recubrimientos como alternativa de solución a los fenómenos más frecuentes de corrosión que se presentan en los sistemas de transporte de la industria de hidrocarburos en Colombia, con esta investigación se contribuye a identificar procedimientos prácticos que se utilizan hoy en día y que permiten mantener la operación de la industria de hidrocarburos activa vs los daños que se pueden presentar al no tener una idea clara de cómo hacer un buen uso de los recubrimientos. Se proyecta investigar las variables esenciales para tener un buen desempeño en la aplicación de los recubrimientos como lo son: la temperatura del ambiente, la temperatura del metal, la humedad relativa, el perfil de anclaje, el punto de Rocio, el tipo de superficie, el grado de oxidación; estas variables mencionadas afectan sin duda alguna en gran medida el desempeño y la aplicación de un recubrimiento. La importancia que han adquirido los recubrimientos a lo largo de los últimos tiempos es fundamental para el control de la corrosión, ya que cada empresa dedicada al transporte de hidrocarburos busca mejorar la vida útil del material que compone las tuberías que transportan los hidrocarburos, esto con el fin de mantener una condición controlada de la corrosión de tal manera que un mecanismo de falla no impacte la operación de los sistemas.

Morales López, L. N. y Talero Alba, J. C. (2020) Evaluación de agentes biocidas en el control e inhibición de microorganismos que generan desgaste en el recubrimiento de tanques de combustible (Trabajo de grado). Fundación Universidad de América. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.11839/7793>.

Resumen: Para diagnosticar el estado actual de los tanques de almacenamiento, se realizaron encuestas en diferentes EDS con el fin de evaluar las prácticas de manejo de control y calidad de combustible y así mismo indagar sobre el conocimiento que tiene el personal acerca de la contaminación microbiológica y sus

consecuencias. También, se realizaron muestreos con el objeto de evaluar las condiciones en las que se encuentra el combustible almacenado junto con inspecciones con cámara que permitieron comprobar el efecto indeseado de altas concentraciones microbiológicas en el material. Para profundizar acerca de la degradación del polímero reforzado, se realizaron pruebas mecánicas, químicas y térmicas con el fin evaluar su resistencia frente a diferentes condiciones que puede experimentar un tanque de almacenamiento y, por otra parte, el efecto que tienen los agentes biocidas sobre el mismo. Los análisis mostraron que los materiales compuestos resultaron más afectados en los medios diésel (B10) con carga microbiológica alta y biocida puro, esto se debe principalmente a la acción de los microorganismos en los puntos de mayor susceptibilidad de material y así mismo, por la agresividad de las soluciones alcalinas, afectando su estabilidad térmica, rigidez, resistencia y estructura química.

Rodriguez, J. A. & Martinez, R. D. (2014). Diseño de un plan de integridad contra la corrosión para los tanques de almacenamiento de crudo del campo QUIFA 4 en Pacific Energy Rubiales. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11371/3001>.

Resumen: Por medio de este proyecto daremos a conocer el concepto de la corrosión en la industria petrolera, el cual es un problema crítico que se afronta hoy en día en los campos de producción de petróleo, de la misma manera se llevara a cabo un estudio de los sistemas que se emplean para combatir la corrosión como lo son recubrimientos poliméricos, protección catódica o recubrimientos especiales entre otros, caracterizando el impacto que posee cada sistema para combatir el fenómeno de la corrosión en los metales, de esta misma manera podremos conocer los distintos tipos de corrosión que se abordan actualmente en campos de producción y almacenamiento de petróleo. Esta tesis nos permitirá analizar lo daños que causa la corrosión en los tanques de almacenamiento de crudo de la industria petrolera, especialmente en los tanques de almacenamiento de Pacific Energy Rubiales, en el campo de producción Quifa 4, generando un plan de integridad el cual ayude a combatir este fenómeno que afecta los activos y genera un golpe potencial económico en este campo de la industria petrolera. Este estudio realizado nos ayudara a conocer el estado general en el que se encuentran los tanques de almacenamiento del campo Quifa 4, de igual manera se hará las observaciones pertinentes, como posible solución para combatir los efectos de la corrosión en

estos activos de Pacific Energy Rubiales. A través del estudio y análisis de estos procesos aplicados contra este fenómeno y las distintas soluciones planteadas para las condiciones actuales en las que se encuentran los tanques, se realizara un plan de integridad por el cual se pueda combatir el deterioro en estos metales y se pueda mejorar el estado en el que se encuentran los tanques de almacenamiento de crudo del campo Quifa.

Serrano Díaz, J. M. (2021). "Selección de revestimiento interno para chimenea de calderas en un campo petrolero del Casanare". (Trabajo especialización). Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja. <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8427>.

Resumen: En un campo ubicado en el Casanare se ha evidenciado incidentes de caída de chimeneas de calderas asociadas a la corrosión en su parte interna, generando fragilización de la estructura que han colapsado ocasionando incidentes de alto potencial de afectación a los operadores y equipos, adicionalmente estos equipos salen de línea hasta que son reparados, en algunos campos no se cuenta con equipo de respaldo, lo cual genera sobrecostos en traslado de crudo a otros campos para ser tratado térmicamente y ponerlo en punto de venta. Las calderas son equipos esenciales para calentar el crudo y a su vez evitar el incremento de viscosidad permitiendo la deshidratación por lo cual son usadas constantemente y hacen parte de los equipos críticos de la facilidad. En este documento se busca identificar el mejor tipo de revestimiento interno en las chimeneas de las calderas utilizadas, para garantizar la integridad de estas estructuras, esto está enfocado al aseguramiento de las operaciones. Bajo este panorama se busca identificar las características de las emisiones y temperatura de las calderas para la correcta selección del recubrimiento que alargue la vida útil de la chimenea.

Yndigoyen Zúñiga, J. S. (2009). Protección contra la corrosión de interior de tanques de acero por medio de recubrimientos libre de solventes.

Resumen: El objetivo del informe, es dar a conocer cómo realizar el trabajo de protección del fondo de los tanques de almacenamiento de petróleo, siguiendo las siguientes reglas: pre inspección y evaluación de la condición del tanque, recomendación del sistema de pintura, pre limpieza y preparación de la superficie, aplicación y pruebas posteriores de la pintura y los cuidados durante el trabajo de

aplicación; diferenciando éstas de las que se realiza comúnmente con los sistemas de pinturas epóxica convencionales.

Ventura Pandura, D. R. (2013). Mejora en el proceso de aplicación de recubrimientos de protección anticorrosiva, de la superficie exterior de tanques de almacenamiento de combustibles en una empresa petrolera.

Resumen: La refinería ABC dentro de su infraestructura cuenta con cerca de 100 tanques para el almacenamiento de sus productos, cuyas capacidades oscilan entre 0.5MB y 268MB (MB: Miles de barriles). Con una periodicidad aproximada de 15 a 20 años, el Área de Mantenimiento tiene a su cargo la ejecución de un Plan de Mantenimiento Preventivo Integral para cada tanque, que se programa de acuerdo a una ventana establecida por el Área de Planificación y Control. Al revisar planes ya ejecutados para determinar las principales causas de retrasos en la entrega de un tanque post-mantenimiento, se encontró que, dentro de las actividades del plan, se encuentra la aplicación de recubrimientos de protección anticorrosiva, que actualmente presenta restricciones, pues no debe aplicarse bajo condiciones climatológicas determinadas, como es el caso de un porcentaje de humedad relativa superior al 85%. Tampoco se puede realizar trabajos en horario nocturno pues debido al descenso de la temperatura, se tiene una segunda restricción que es el no contar con un diferencial de temperatura entre la superficie exterior del tanque y la del ambiente (punto de rocío) mayor a 3°C. Durante la revisión del plan se encontró también que se continúa realizando una preparación de superficie mediante el uso de material abrasivo a alta presión, que genera polución y no está siendo controlada en su totalidad, al tener un sistema de encapsulamiento deficiente por las dimensiones de los tanques.

Carillo Meneses, José Armando (2021). Implementación y análisis de estudios de integridad mecánica en tanques de almacenamiento en la industria de sistemas de poliuretano.

Resumen: El objetivo del presente trabajo fue implementar de manera eficiente Estudios de Integridad Mecánica a través de Ensayos No Destructivos a tanques de almacenamiento presentes en la Industria de Sistemas de Poliuretano. Lo anterior surgió por un análisis interno en el departamento de Ingeniería (Proyectos y Mantenimiento) en el que se verificó la falta de documentación, bases técnicas y un

programa de mantenimiento a los equipos ante la adquisición de la planta en 2015. Una vez evaluada la necesidad de implementar los estudios, tanto para control interno de la organización como para dar cumplimiento a la vigente Norma Oficial Mexicana NOM-020-STPS-2011 recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas – Funcionamiento – Condiciones de Seguridad, se lograría con bases sólidas tener una correcta clasificación de los recipientes, se contaría con fundamentos técnicos para las condiciones tanto de diseño como de operación de los mismos y se conocerían las deficiencias o fallas en los equipos.

4.2. BASES TEÓRICAS

4.2.1. CORROSIÓN

La corrosión es el proceso de degradación de ciertos materiales, como consecuencia de una reacción electroquímica, o sea, de óxido-reducción, a partir de su entorno.

Se trata de un fenómeno natural, espontáneo, que afecta sobre todo (aunque no exclusivamente) a los metales. La velocidad de la reacción depende de la temperatura a la que ocurre, así como de las propiedades de los elementos involucrados, especialmente de su salinidad.

La corrosión es un proceso químico en el que suelen intervenir tres factores: el elemento corroído, el ambiente y generalmente el agua. Sin embargo, también existen sustancias corrosivas, o sea, capaces de producir la corrosión de los materiales con los que entren en contacto directo. **(Editorial Etecé, 2021)**

4.2.2. CORROSIÓN GENERAL O UNIFORME

Se produce por un adelgazamiento uniforme del área total de la superficie metálica o de gran parte de ella hasta presentar la falla. Este tipo de corrosión se conoce como el más importante debido a la dimensión de las pérdidas de metal que causa; sin embargo, cabe destacar que esta forma de corrosión permite la medición y predicción fácilmente, razón por la cual, las fallas catastróficas por su causa son muy raras. La principal causa que genera esta tipología de corrosión es la ruptura o falla en los sistemas de recubrimiento protector, en cualquier caso, la presencia y

avance de la corrosión debe examinarse detalladamente para detectar otros tipos de corrosión **(Pierre. R, 1999)**

4.2.3. CORROSIÓN POR PICADURA (PITTING)

Es una forma de corrosión localizada que se presenta en pequeñas zonas anódicas que dan lugar a cavidades circulares en la estructura metálica; es considerada más peligrosa que la corrosión uniforme debido a su dificultad para detectar y predecir que pueden conllevar a la falla de un sistema de ingeniería completo. Los productos de corrosión suelen cubrir las picaduras con una membrana permeable y algunas veces son descubiertos en forma de copa, irregular, subsuperficial, plana, entre otras. La presencia de microambientes corrosivos permite el inicio y propagación de las picaduras; dichas picaduras aumentan la tensión y pueden generar fatiga o agrietamiento por corrosión bajo tensión **(Pierre. R, 1999)**

4.2.4. CORROSIÓN POR RENDIJAS

Este tipo de corrosión se asocia con soluciones estancadas a nivel de microambientes y se presenta con frecuencia bajo juntas, arandelas, depósitos superficiales, zonas con el recubrimiento desprendido, roscas, abrazaderas, entre otras. La corrosión por rendijas ocurre cuando en dos superficies unidas se estanca una solución y produce una celda de concentración de oxígeno que genera una diferencia de potencial, que pueden generar microambientes altamente corrosivos y permiten la disolución del metal; la corrosión se presenta por picados en la superficie. La corrosión filiforme se relaciona con este tipo de corrosión, que se produce bajo películas de tipo protector y se caracteriza por presentar un rastro que interconecta los productos de corrosión; en donde la corrosión activa se genera en la cabeza del filamento a causa de un microambiente corrosivo y la cola de salida es de carácter inactivo; considerando a la corrosión filiforme un problema de tipo cosmético **(Pierre. R, 1999)**

4.2.5. RECUBRIMIENTOS

Los recubrimientos pueden definirse como mezcla heterogénea de componentes, que después de aplicados sobre la superficie a proteger, se seca formando una película continua sobre el sustrato. Las pinturas pueden clasificarse según sus fines:

decorativos, industriales, para suelos y de protección industrial. Ver tabla 1 y figura 1. (Calvo, 2011).

Tabla 1. Clasificación de recubrimientos

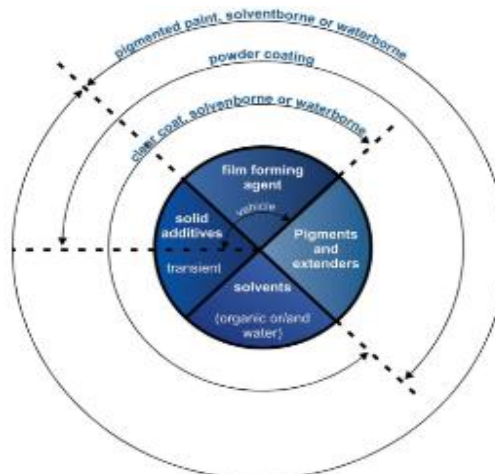
Recubrimientos metálicos	Recubrimientos orgánicos	Recubrimientos inorgánicos
Galvanoplastia	Vinílicos	Anodizado
Galvanización en caliente	Acrílicos	Película de cromato
Zinc electrolítico	Epóxicos	Recubrimientos de fosfato
Galvanizado (zinc, hierro-zinc, zinc-níquel)	Poliuretanos	Nitruración
Aluminio		Películas pasivas naturales de aceros inoxidable austeníticos y endurecibles, que algunas veces se forman por inmersión en soluciones de dicromato y acuosa de ácido nítrico.
Aluminio-zinc		
Mischmetal zinc-aluminio		
Laminado en frío (cold-rolled)		
Estañado		
Zincrometal		

Fuente: Basado en (Pierre. R, 1999)

4.2.5.1. Componentes de los recubrimientos

La composición típica de un recubrimiento se ilustra en la siguiente figura:

Figura 1. Componentes de un recubrimiento.



Fuente: **(Goldschmidt, 2007)**

Componentes de un recubrimiento:

- Pigmentos: compuestos orgánicos o inorgánicos que brindan color y poder de cubrición, se caracterizan por su opacidad. En los pigmentos inorgánicos se encuentran: bióxido de titanio (clasificado en cinco grupos por la norma ISO), óxido de zinc, litopón, óxidos de hierro, óxidos de cromo verde, silico aluminatos de sodio polisulfurados, cromatos de plomo, etc. Los pigmentos orgánicos son sales metálicas y el más empleado son los negros de humo. Los pigmentos con características anticorrosivas son: minio de plomo, cromato y tetra oxicromato de zinc, fosfato de zinc y óxido de zinc.
- Cargas: suelen ser inorgánicas y brindan masa y viscosidad a la pintura. Algunos recubrimientos no contienen cargas. Algunas cargas empleadas son: carbonato de calcio, dolomita, sulfato de bario, sulfato de calcio, caolín, talco, mica, sílice diatomeas, wollastonita, arenas de mármol y sílice, y las menos frecuentes son: cargas poliméricas, harinas de cuarzo y fibra de celulosa.
- Ligante, resina, polímero o vehículo fijo: se encargan de mantener unidas las partículas sólidas, pigmentos y cargas, después del secado de la pintura; sus características inciden en las características de secado y resistencia.
- Disolvente: aunque no todos los recubrimientos lo contienen, son orgánicos y se usan para proporcionar la viscosidad adecuada en función del tipo de aplicación, solubilizar resinas e influir en la velocidad de evaporación. Los cosolventes pertenecen a este tipo de componentes y se caracterizan por qué no disuelven el ligante.
- Aditivos: se usan durante la fabricación de la pintura y tienen como fin mantener la pintura en óptimas condiciones durante su almacenamiento e influye en el secado tras su aplicación **(Calvo, 2011)**.

4.2.5.2. Recubrimientos de protección

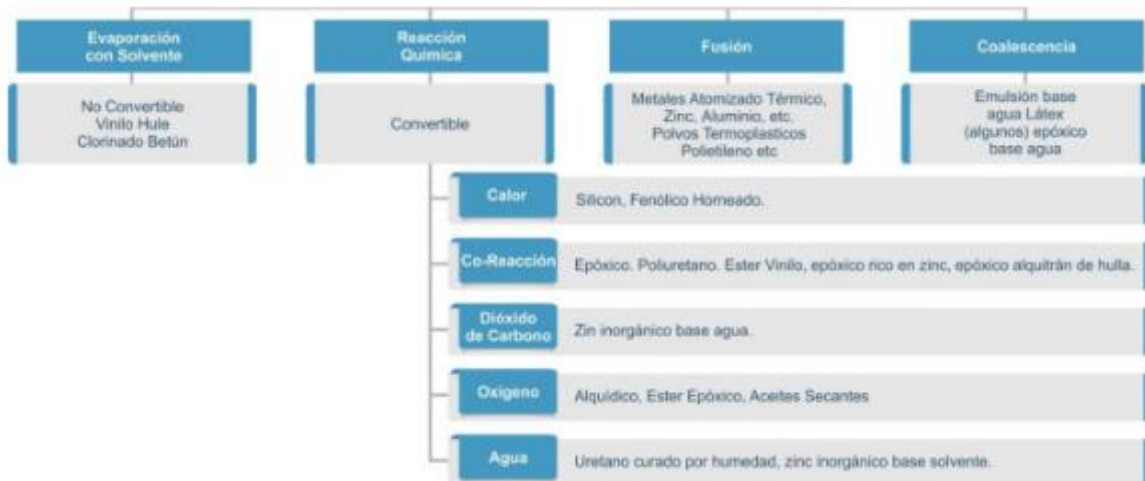
- Recubrimientos de sacrificio: son ricos en zinc y actúan como ánodos para proteger las superficies del acero.
- Recubrimientos de barrera: su función es evitar que la superficie metálica entre en contacto con humedad.

- Recubrimientos inhibidores: entre estos se puede citar los primers que actúan como barreras y emplea pigmentos (plomo rojo y fosfato de zinc) para causar el efecto inhibidor, en el cual, los pigmentos reaccionan con la humedad y el acero para pasivarlo. **(NACE. (s.f.).)**

4.2.5.3. Mecanismos formadores de película, secado y curado

Existen distintos mecanismos formadores de película, secado y/o curado, los cuales se muestran en la figura 2:

Figura 2. Mecanismos formadores de película, secado y/o curado



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

- Recubrimientos no convertibles: el proceso de curado se obtiene gracias a la evaporación del solvente y ocurre cuando se disuelve una resina (vinilo o hule clorado) en un solvente adecuado (xilol o toluol). La evaporación del solvente permite la formación de la película sobre la superficie, y la resina permanece sin cambios y puede redisolverse. Cuando se usa este tipo de recubrimientos, el acabado no debe realizarse con un recubrimiento de solvente fuerte, puesto que puede disolver el recubrimiento base. Este tipo de recubrimientos se consideran de baja resistencia a la exposición química y pueden aplicarse sobre un recubrimiento base diferente, aunque debe

tenerse cuidado con la adhesión entre los recubrimientos y la densidad para permitir el curado adecuado. A este tipo de recubrimientos pertenecen: hule clorado, vinilo, acrílicos y betunes.

- Recubrimientos de curado por coalescencia/evaporación: la evaporación por coalescencia ocurre en emulsiones, donde al evaporarse el agua se fusionan las partículas de resina para formar la película de recubrimiento. A este tipo de recubrimientos pertenecen: emulsión acrílica/látex y emulsión epóxica. Recubrimiento de curado por polimerización: la polimerización se presenta cuando dos o más moléculas de resina se unen en una sola, también puede definirse como reacción química en la que se unen grupos de monómeros. La polimerización influye en las características de curado y resistencia química y puede ser inducida:
 - **Por oxígeno:** se obtiene la película sólida a causa de la oxidación de cadena cruzada y empleando catalizadores metálicos (compuestos de cobalto, plomo y manganeso); esta película puede tardar 2 o más días en formarse y, debido a la interacción del oxígeno con la película se establece un límite máximo aproximado de 5 mils (125 μm). La temperatura acelera las reacciones químicas y por tanto su secado. Estos recubrimientos contienen materiales que impiden la reacción del oxígeno mientras se almacena, sin embargo, una vez abierto reacciona con el oxígeno y puede generar una capa firme, entonces se retira y filtra el recubrimiento para usarlo. Este tipo de recubrimiento no se recomienda para contrarrestar una elevada tasa de corrosión, ni debe aplicarse en superficies alcalinas (concreto nuevo, recubrimientos de zinc), ya que pueden saponificarse y desprenderse. En este grupo se encuentran los recubrimientos alquídicos, aceites secadores, ester epóxico, uretano modificado con aceite y fenólicos modificados con aceite.
 - **Químicamente:** recubrimientos formados cuando la resina reacciona con un agente de curado o activador. A este grupo pertenecen los epóxicos, poliuretanos y primers de lavado de vinilo. Por calor: los recubrimientos que presentan este tipo de curado son los fenólicos, fenólicos modificados por epóxicos, silicones y algunos recubrimientos en polvo, como el epóxico adherido por fusión. Algunos de estos se

forman a temperaturas comprendidas entre 95 a 245°C en el que se libera agua cuando se polimeriza la resina.

- **Por humedad (hidrólisis):** ocurre cuando las resinas activas se mezclan con la humedad del aire y forman una película químicamente resistente; tal es el caso de algunos uretanos y recubrimientos de zinc inorgánicos **(NACE. (s.f.).)**

4.2.5.4. Sistemas de recubrimientos

❖ Sistemas de una capa

Los sistemas de recubrimiento monocapa se emplean cuando se requiere protección por corto tiempo, como estructuras de acero estructural que no han llegado al sitio de construcción, entonces, se protegen temporalmente hasta limpieza por soplado y recubrimiento en la ubicación; uso decorativo (interior de edificaciones), y en la formulación específica de recubrimiento simple. En estos sistemas se puede presentar entrapado de solvente, dificultad para obtener espesor de recubrimiento y uniformidad, y discontinuidades. En este tipo de recubrimiento sería recomendable aplicar revestimientos de cintas en soldaduras, bordes y esquinas. **(NACE. (s.f.).)**

❖ Sistema multicapa del mismo tipo genérico

Este sistema emplea dos o más capas del mismo tipo de recubrimiento, que puede ser en distintos colores, y es usual cuando un recubrimiento puede actuar tanto de imprimante o primer como de acabado, por ejemplo, los epóxicos. Las barreras de recubrimiento multicapa buscan ser inmunes al aire, agua, oxígeno, dióxido de carbono y paso de iones y electrones mediante la barrera inerte que se forma en la superficie; puesto que su uso es común para servicio en inmersión. Estas barreras deben caracterizarse por una alta resistencia dieléctrica, buena adhesión con la superficie, ausencia de huecos entre el sustrato y el recubrimiento, y buena resistencia a la absorción de agua y otros líquidos. **(NACE. (s.f.).)**

❖ **Sistemas multicapa de diferentes tipos**

Este sistema es común en las aplicaciones de acero estructural, donde se emplean dos o más tipos de recubrimientos; por ejemplo, combinación de imprimante rico en zinc con acabado epóxico u imprimante rico en zinc, intermedio epóxico y acabado de uretano **(NACE. (s.f.))**

❖ **Primers o imprimantes**

El imprimante se define como la primera capa de recubrimiento que se aplica sobre un componente, que se caracterizan por adherencia al substrato, base para siguientes capas de recubrimiento y protección contra la corrosión (por inhibición, barrera o recubrimiento de sacrificio).

Los imprimantes se clasifican en:

- ✓ Imprimante galvánico: la protección que brinda al acero es similar al galvanizado por zinc dada su elevada protección de polvo de zinc. Su protección electroquímica también es proporcionada a pequeñas discontinuidades (iguales o inferiores a una fracción de pulgada) en el acero.
- ✓ Imprimante inhibidor: su característica como inhibidor de óxido se debe a la presencia de pigmentos inhibidores, los cuales, se encargan de retardar o evitar la corrosión por interacción con los agentes que facilitan la corrosión. Los pigmentos inhibidores típicos son plomo rojo, fosfato de zinc, metaborato de bario, cromato de estroncio y cromato de zinc.
- ✓ Imprimante de barrera (no inhibidor): generan una barrera protectora y en este grupo se encuentran imprimantes altamente fenólicos de cadena cruzada (tipo epóxico) y recubrimientos tipo laca **(NACE. (s.f.))**

❖ **Recubrimientos intermedios o de barrera**

Se emplean para mejorar características de barrera del sistema. Debido a la permeabilidad de los recubrimientos orgánicos se usan recubrimientos con colorantes laminados añadidos que disminuyen la permeabilidad de la película, y el espesor se incrementa con relleno inerte o agente espesante que proporciona buenas propiedades **(NACE. (s.f.))**

❖ Recubrimientos de acabado

Se selecciona según apariencia para la retención de color, niveles bajos de blanqueado y brillantez; se busca acabado suave para retener contaminación en la superficie y facilitar el lavado por agua lluvia en pro de la apariencia y resistencia a la corrosión. En algunos casos la resistencia química, a los solventes o a los rayos ultravioleta puede ser clave para seleccionar el recubrimiento de acabado adecuado **(NACE. (s.f.))**

4.2.5.5. Fallas en recubrimientos

Las fallas en el recubrimiento pueden ser reparables o no reparables y se pueden presentar por distintas circunstancias; a continuación, se describen algunas fallas.

Selección incorrecta del recubrimiento: cuando se aplica un recubrimiento en una aplicación diferente a la especificada se puede presentar falla prematura. También debe considerarse las condiciones en servicio en la selección del recubrimiento.

Mal diseño o fabricación de la estructura: algunos errores de diseño como discontinuidad en soldaduras, bordes afilados, fisuras, entre otros, pueden influir en la falla prematura del recubrimiento. Ver tabla 2 y tabla 3. **(NACE. (s.f.))**

Tabla 2. Inconvenientes y soluciones referentes a mal diseño o fabricación.

Tipo de inconveniente	Posible solución
Bordes afilados	Redondeo con esmeril. Uso de revestimientos de cinta a través de espesor extra en área crítica.
Salpicaduras, escoria y residuos en soldaduras	Limpieza de soldaduras en tanques y recipientes con agua o arena y cubrirse con revestimiento de cintas. El esmerilado debe consultarse con ingeniero estructural.
Soldadura discontinua	Llenar espacios empleando un compuesto sellador adecuado.
Preparación incompleta a causa de apoyos temporales de construcción	Cuando se usan andamios u otros apoyos se pueden quedar áreas sin la preparación adecuada, por lo cual, estos se deben retirar cuando se realice protección.
Drenado deficiente	En todas las instalaciones debe procurarse canales para el drenado o recubrimientos adecuados.
Mala ventilación	Debido al incremento bacteriano a causa de vapores condensados de líquidos corrosivos se debe procurar una ventilación adecuada, y en caso de no contar con esta, deben identificarse las zonas con fallas de diseño para revisión, evaluación y corrección (si es posible).

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

Tabla 3. Fallas y posibles soluciones.

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
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.	empleando resinas con calidad elastomérica.
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.
Escamas (piel de cocodrilo)	Se define como un macro-agrietamiento a causa de los esfuerzos de superficie y se presenta cuando el secado ocurre en la superficie exterior del recubrimiento antes que el cuerpo; las escamas suelen presentarse cuando se aplican capas de recubrimiento duro sobre un recubrimiento suave. Un caso típico ocurre con el alquitrán de hulla; y se presenta a causa de una formulación incorrecta (imprimante blando con	No debe realizarse aplicaciones densas y debe realizarse en varios pasos. Evitar deslizamientos y tener precaución si se calienta la superficie.

	recubrimiento de acabado duro) y/o aplicación de capas muy gruesas	
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 pigmentador 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.

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

4.2.5.6. Selección del Recubrimiento

Las principales características que deben tenerse en cuenta en el momento de seleccionar el recubrimiento son:

- Composición química y propiedades físicas.
- Resultados de pruebas de exposición.

- Resultados de pruebas de rendimiento acelerado.
- Rendimiento genérico del recubrimiento en ambientes parecidos.
- Compatibilidad del recubrimiento con las condiciones de servicio y superficie.
- Facilidad de aplicación.
- Fechas de fabricación y fabricantes a causa de características de aplicación diferentes.
- Mano de obra calificada.
- Socialización de características y especificaciones **(NACE. (s.f.))**

4.2.6. APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS

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 **(PSM-DUPONT., 2016)**

4.2.6.1. Métodos de aplicación de recubrimientos

- 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 podía alcanzar todos los rincones de la superficie, la aplicación por medio de este método deja irregularidades. Es quizás el método más antiguo de aplicación de pinturas; inicialmente las brochas eran artesanales hechas con las colas de algunos animales; en la actualidad, se emplean brochas de Nylon y brochas con cerdas de cerdo provenientes de Rusia, China y Europa Occidental. 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. (s.f.))**

- Guantes para pintar: Son guantes de lana con resistencia al solvente y se emplean en proyectos pequeños. El guante es sumergido en el recubrimiento para posteriormente frotar la superficie, aunque debe tenerse en cuenta que la calidad final no es confiable **(NACE., 2013)**
- Rodillo: Es adecuado para recubrir áreas planas de gran tamaño en las que no se recomienda la aplicación por métodos como la aspersion. 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 son hechos de lana de cordero, proknit, 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)**

- **Aspersión con aire:** 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)**
- **Aspersión sin aire “airless”:** 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)**
- **Otros métodos:** Existen otros métodos, como la aplicación por inmersión, electrodeposición, electrostática y demás, que son de amplio uso a nivel industrial y que son poco prácticos para el mantenimiento industrial y el área de construcción. La aplicación por inmersión y flujo recubre artículos que deben ser sumergidos en un tanque que posea el recubrimiento a una

viscosidad y temperatura adecuada, posteriormente, el artículo será retirado y se drenará el exceso de pintura. La aplicación por lecho fluidizado se realiza en artículos pequeños que puedan ser horneados; aunque también puede aplicarse recubrimientos en polvo tipo FBE en tuberías exteriores por este método. La aplicación con barnizadoras de rodillos implica aplicar el recubrimiento mediante rodillos giratorios impregnados con el recubrimiento sobre láminas planas de hojalata, cromadas o estañadas; las barnizadoras de rodillos permiten pintar ambos lados de las láminas y los recubrimientos deben proporcionar excelente flujo, flexibilidad, troquelado y dureza. Ver tabla 4. **(PSM-DUPONT., 2016)**

Tabla 4. Tabla de rendimiento de métodos de aplicación de pinturas

METODO	RENDIMIENTO DIARIO (Metros cuadrados)
Brocha	90
Rodillo	185 - 370
Aspersión con aire	370 - 740
Aspersión sin aire	740 - 1100

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

4.2.6.2. Selección del sistema de recubrimientos

Hay una serie de características que debe conocerse para realizar una selección adecuada del sistema de recubrimientos; entre estas se encuentran:

Medio ambiente reinante en el área (clasificación de ambientes): se refiere al clima predominante que comprende: temperatura, humedad, periodicidad de lluvias, proximidad del mar **(Sika., 2015)**

Se puede realizar una clasificación de ambientes según la norma UNE-EN ISO 12944, la cual presenta seis categorías de corrosividad, desde muy baja hasta muy alta en ambiente industrial y muy alta en ambiente marino. Esta norma indica que la corrosión metálica es función de la corrosividad de las atmosferas y considera aspectos como: el clima, el ambiente, el tipo de atmósfera (rural, urbana, industrial y marina) y otros aspectos; con el fin de determinar alternativas de solución contra la corrosión específicas a cada zona.

La clasificación de la corrosividad debe realizarse según el ambiente circundante de la estructura o microclima, puesto que es más importante en el control de la corrosión. **(Celis, 2018)**

En la tabla 5 se muestra la clasificación de ambientes para aceros de bajo carbono y zinc:

Tabla 5. Clasificación de ambientes para acero de bajo carbono y cinc

Categoría de corrosividad	Pérdida de masa por unidad de superficie/pérdida de espesor			
	Acero de bajo contenido en carbono		Cinc	
	Pérdida de masa g/m ²	Pérdida de espesor μm	Pérdida de masa g/m ²	Pérdida de espesor μm
C1 muy baja	≤ 10	≤ 1.3	≤ 0.7	≤ 0.1
C2 baja	<10 y hasta 200	>1.3 y hasta 25	>0.7 y hasta 5	>0.1 y hasta 0.7
C3 media	>200 y hasta 400	>25 y hasta 50	>5 y hasta 15	>0.7 y hasta 2.1
C4 alta	>400 y hasta 650	>50 y hasta 80	>15 y hasta 30	>2.1 y hasta 4.2
C5-I muy alta (industrial)	>650 y hasta 1500	>80 y hasta 200	>30 y hasta 60	>4.2 y hasta 8.4
C5-M muy alto (marino)	>650 y hasta 1500	>80 y hasta 200	>30 y hasta 60	>4.2 y hasta 8.4

Fuente: **(Norma UNE-EN-ISO 12944-5., 2008)**

- Temperatura de los diferentes equipos: cuando un equipo opera a elevadas temperaturas (superiores a 600°F) y se encuentra ubicado en una zona de elevada corrosividad, entonces la selección del sistema de recubrimiento debe basarse en función de la temperatura y la corrosión.
- Recursos de preparación de superficies y factores limitantes: la preparación de superficies influye en gran parte en el desempeño final del sistema de recubrimiento. Sin embargo, factores como costos, falta de equipo para limpieza por chorro abrasivo, entre otros impiden la realización adecuada de la limpieza superficial de los equipos.
- Colores a usar: es importante conocer los códigos internacionales de color para identificación de tuberías y los colores que permiten la disipación de calor por radiación (el blanco la disipa, pero el negro no); aunque, a veces el sistema de recubrimientos seleccionado no se encuentra en el color requerido y debe elegirse la calidad.
- Costos: a veces es un limitante en la selección del sistema de recubrimientos a emplear.
- Recubrimientos anteriores y compatibilidad con el sistema a usar: cuando el recubrimiento antiguo no se retira se debe realizar pruebas de compatibilidad.
- Tipo de superficie a recubrir (acero, aluminio, concreto, madera, etc.): es importante conocer el tipo de material de la superficie a recubrir, puesto que los sistemas de recubrimientos se comportan diferente en materiales distintos **(Sika., 2015)**

4.2.6.3. Condiciones que influyen en las características finales del recubrimiento

Las condiciones que pueden afectar la aplicación de un recubrimiento son:

- Temperatura: la temperatura óptima para la aplicación de recubrimiento oscila entre 15°C y 32°C. Por lo general, no es recomendable aplicar los recubrimientos a temperatura ambiente inferior a 4°C o superior a 43°C. Si la pintura se aplica a temperaturas superiores a 32°C puede producirse un secado demasiado rápido y por ende falta de uniformidad en la película y

mala adherencia. Si la temperatura es inferior a 10°C el tiempo de secado y curado puede prolongarse demasiado. La pintura no debe aplicarse si la temperatura puede bajar hasta al punto de congelación, antes de que se haya secado por completo.

- Humedad: la adherencia de algunas pinturas se ve afectada si la superficie a recubrir está contaminada con agua. Se recomienda evitar pintar cuando la humedad relativa supera el 85%. La probabilidad de que la humedad se condense sobre una superficie a recubrir depende de la temperatura de superficie y del punto de rocío de la atmósfera circundante. El punto de rocío debe ser medido cuando exista humedad en el ambiente, mediante un termómetro de bulbo seco y bulbo húmedo y una tabla psicrométrica. La temperatura superficial debe medirse con un termómetro de superficie; si la temperatura de superficie está disminuyendo y se encuentra dentro de los 5 grados Fahrenheit (2.7°C) del punto de rocío, no debe realizarse la aplicación, puesto que puede presentarse condensación del agua sobre la superficie. Así también la humedad excesiva evita que la pintura seque y cure en forma regular, excepto en casos particulares, en los que la humedad favorece su curado.
- Viento: algunas operaciones de pintura como las aplicaciones por aspersión, se dificultan cuando la velocidad del viento aumenta. Además del desperdicio de pintura cuando hay viento fuerte, la apariencia de la superficie recubierta no alcanza la conformidad deseada, debido a que las partículas atomizadas secan antes de tocar la superficie. Asimismo, las partículas en suspensión en el aire pueden contaminar áreas adyacentes.
- Precipitación: no se recomienda la aplicación de recubrimientos en presencia de precipitación o cuando esta es inminente; ya que puede:
 - o Causar mala adherencia.
 - o Erosionar la pintura fresca.
 - o Depositar contaminantes químicos.
 - o Causar manchas en la pintura.
 - o Alterar las propiedades de la película.
- Instrucciones de aplicación: es importante leer las instrucciones de aplicación de la pintura proporcionadas por las etiquetas de los recipientes y la información técnica respectiva. Las esquinas y bordes son lugares de difícil

acceso para recubrir y son susceptibles de generar problemas, por ello, es conveniente hacer énfasis en estos lugares durante la aplicación. También conviene verificar los aspersores durante la aplicación de capas de pintura para asegurar la funcionalidad del sistema protector **(PSM-DUPONT., 2016)**

4.2.7. PREPARACION DE SUPERFICIES

Figura 3. Grados de limpieza.

Procedimiento de limpieza	Grado de limpieza alcanzado
Chorreado abrasivo Disolvente Desengrase de vapor de solvente Remojo de emulsión Remojo alcalino Electro-limpieza alcalina Limpieza alcalina y ácida Ultrasonidos	Grado más bajo de limpieza  Grado más alto de limpieza

Fuente: (Celis, 2018) (ASM International Handbook Committee, 1994)

4.2.7.1. Procedimientos de limpieza

- Limpieza con solvente: emplea solventes orgánicos para la disolución de los contaminantes, se realiza mediante inmersión en tanque, rociado, flujo de corriente sólida o condensación de vapor, y como disolvente emplea tricloroetileno, cloruro de metileno, tolueno o benceno. En el desengrasado el componente se dispone en una nube de vapor del solvente para su condensación sobre la superficie y disolución de contaminantes; posteriormente, se realiza un enjuague con solvente líquido. Entre las desventajas se encuentra, que puede dejar residuos del disolvente en la superficie, siendo requeridos procesos adicionales de limpieza; y además genera un impacto ambiental.
- Limpieza con emulsión: emplea la acción física de la emulsión, puesto que las partículas de contaminantes se suspenden en el medio y

se separan de la superficie; pueden ser soluciones basadas en solventes de agua o agua, como queroseno y agua con tensoactivo emulsionable.

- Limpieza alcalina: se basa en acciones físicas y químicas, y pueden contener agentes tensoactivos, secuestrantes, saponificantes, emulsionantes, quelantes y estabilizantes y extensores. Funciona cuando las partículas sólidas se atraen a la superficie rodeadas por agentes humectantes y se eliminan por flotación.
- Limpieza electrolítica: Es similar a la limpieza alcalina, pero se impone corriente eléctrica para promover un gaseado y liberar la suciedad.
- Limpieza por abrasión: emplea pequeñas partículas, que se impulsan mediante una corriente de aire o chorro de agua que al entrar en contacto con la superficie elimina los contaminantes a causa del impacto causado. Este tipo de limpieza se emplea para remoción de incrustaciones y pintura; para limpiar aceros sensibles a la fragilización por hidrógeno y preparación de adhesión de aceros inoxidables y titanio que se van a pintar.
- Limpieza con ácido: suele usarse complementario a otros tipos de limpieza y se emplean para disolver óxidos.
- Otros tipos de limpieza: entre estos se encuentran la limpieza por ácido fosfórico, con baño de sales, ultrasonido, etc.; el uso de ácido fosfórico puede emplearse para limpieza y perfil de anclaje; la limpieza con baño de sales fundidas se usa en la eliminación de tierra, pinturas y escamas; la limpieza ultrasónica usa ondas de sonido a frecuencias elevadas. Ver figura 3.

4.2.7.2. Tipos de contaminantes a remover

Los tipos de suciedad o contaminantes que pueden encontrarse en una superficie metálica a limpiar pueden ser:

- Pigmentos trazados
- Aceite y grasa en pigmentos
- Virutas y residuos de corte
- Compuestos para pulir
- Óxido e incrustaciones
- Otros contaminantes superficiales, tales como compuestos de pulido y residuos de inspección de partículas magnéticas (**Celis, 2018**)

4.2.7.3. Grados de óxido

Se especifican cuatro grados de herrumbre, designados A, B, C y D respectivamente. Los grados de herrumbre se definen mediante descripciones escritas.

A: Superficie de acero cubierta en gran parte por cascarilla de laminación adherida, pero poca o ninguna óxido.

B: Superficie de acero que ha comenzado a oxidarse y de donde sale la cascarilla de laminación ha comenzado a descamarse.

C: Superficie de acero en la que la cascarilla de laminación se ha oxidado o de la que se puede raspar, pero con una ligera picadura visible bajo una visión normal.

D: Superficie de acero en la que la cascarilla de laminación se ha oxidado y en la que las picaduras generales son visibles bajo una visión normal. **(INTERNATIONAL STANDARD ISO 8501-1, 2007)**

4.2.7.4. Grados de preparación

Cada grado de preparación se designa con las letras correspondientes "Sa", "St" o "Fl" para indicar el tipo de método de limpieza utilizado. El número siguiente, en su caso, indica el grado de limpieza de la cascarilla de laminación, óxido y anteriores revestimientos.

Las fotografías están designadas por el grado de óxido original antes de la limpieza. y la designación del grado de preparación, por ejemplo, B Sa 2½. **(INTERNATIONAL STANDARD ISO 8501-1, 2007)**

- ✓ **Limpieza a presión, Sa:** La preparación de la superficie mediante chorreado se designa con las letras "Sa". Las descripciones de los grados de limpieza a chorro se dan en la Tabla 6.

Antes de la limpieza con chorro, se eliminarán las capas gruesas de óxido mediante astillado También se eliminarán el aceite, la grasa y la suciedad visibles.

Después del chorreado, la superficie debe limpiarse de polvo suelto y escombros.

Tabla 6. Grados de limpieza a chorro

Sa 1 - Limpieza con chorro ligero	Cuando se ve sin aumento, la superficie debe estar libre de aceite, grasa y suciedad visibles, y de estar mal escamas de laminación adheridas, óxido, revestimientos de pintura y materia. Ver fotografías B Sa 1, C Sa 1 y D Sa 1.
Sa 2 - Limpieza a fondo	Cuando se ve sin aumento, la superficie debe estar libre de aceite, grasa y suciedad visibles, y de la mayor parte de la cascarilla de laminación, óxido, revestimientos de pintura y materias extrañas. Cualquier contaminación residual deberá estar firmemente adherida. Ver fotografías B Sa 2, C Sa 2 y D Sa 2.
Sa 2-1/2 - Granallado muy completo	Cuando se ve sin aumento, la superficie debe estar libre de aceite, grasa y suciedad visibles, y de escamas de laminación, óxido, revestimientos de pintura y materias extrañas. Cualquier rastro restante de contaminación se mostrará solo como manchas leves en forma de manchas o rayas. Ver fotografías A Sa 2½, B Sa 2½, C Sa 2½ y D Sa 2½.
Sa 3 - Limpieza a chorro para limpiar visualmente el acero	Cuando se ve sin aumento, la superficie debe estar libre de aceite, grasa y suciedad visibles, y debe estar libre de escamas de laminación, óxido, revestimientos de pintura y materias extrañas. Tendrá un color metálico uniforme. Ver fotografías A Sa 3, B Sa 3, C Sa 3 y D Sa 3.

Fuente: (INTERNATIONAL STANDARD ISO 8501-1, 2007)

- ✓ **Limpieza de herramientas manuales y eléctricas, St.:** La preparación de la superficie mediante limpieza manual y con herramientas eléctricas, como raspado, cepillado con alambre, cepillado a máquina y esmerilado, se designa con las letras "St". Las descripciones de los grados de limpieza de herramientas manuales y eléctricas se dan en la Tabla 7.

Antes de la limpieza manual y con herramientas eléctricas, se eliminarán las capas gruesas de óxido mediante astillado. También se eliminarán el aceite, la grasa y la suciedad visibles.

Después de la limpieza manual y con herramientas eléctricas, la superficie debe limpiarse de polvo y herrumbre.

Tabla 7. Grados de limpieza de herramientas manuales y eléctricas

St 2 - Limpieza a fondo de herramientas eléctricas y manuales	Cuando se observa sin aumento, la superficie debe estar libre de aceite, grasa y suciedad visibles, así como de escamas de laminación, óxido, revestimientos de pintura y materias extrañas mal adheridas. Ver fotografías B St 2, C St 2 y D St 2.
St 3 - Limpieza muy profunda de herramientas manuales y eléctricas.	Igual que St 2, pero la superficie se tratará mucho más a fondo para dar un brillo metálico que surge del sustrato metálico. Ver fotografías B St 3, C St 3 y D St 3.

Fuente: (INTERNATIONAL STANDARD ISO 8501-1, 2007)

- ✓ **Limpieza de llama, FI:** La preparación de la superficie mediante limpieza con llama se designa con las letras "FI". Las descripciones de los grados de limpieza de llama se dan en la Tabla 8.

Antes de la limpieza con llama, se eliminarán las capas gruesas de óxido mediante astillado.

Después de la limpieza con llama, la superficie debe limpiarse con un cepillo de alambre con herramienta eléctrica.

Nota: La limpieza con llama incluye el cepillado final con herramienta eléctrica para eliminar los productos del proceso de limpieza; el cepillado manual con alambre no logra una superficie satisfactoria para pintar.

Tabla 8. Limpieza de llama.

FI - Limpieza de llama	Cuando se ve sin aumento, la superficie debe estar libre de escamas de laminación, óxido, revestimientos de pintura y materias extrañas. Cualquier residuo remanente se mostrará solo como una decoloración de la superficie (tonos de diferentes colores). Ver fotografías A FI, B FI, C FI y D FI
------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: (INTERNATIONAL STANDARD ISO 8501-1, 2007)

- ✓ **Procedimiento para la evaluación visual de sustratos de acero:** Ya sea con buena luz diurna difusa o con iluminación artificial equivalente, examine la superficie de acero y compárela con cada una de las fotografías de la Norma ISO 8501, utilizando una visión normal. Coloque la fotografía apropiada cerca y en el plano de la superficie de acero a evaluar. Para los grados de herrumbre, registre la evaluación como el peor grado que sea evidente. Para los grados de preparación, registre la evaluación como el grado más cercano en apariencia al de la superficie de acero.

Nota: Además del tipo de método de limpieza utilizado, por ejemplo, limpieza con chorro de arena en seco con un tipo particular de abrasivo, los siguientes factores pueden influir en el resultado de la evaluación visual:

- a- estado inicial de la superficie del acero que no sea cualquiera de los grados de oxidación estándar A, B, C y D; ver figuras 4,5,6 y 7.
- b- color del propio acero;
- c- regiones de diferentes rugosidades, resultantes del ataque de corrosión diferencial o eliminación desigual de material;
- d- irregularidades superficiales como abolladuras;
- e- marcas de herramientas;
- f- iluminación desigual;
- g- sombreado del perfil de la superficie causado por la proyección angular del abrasivo;
- h- abrasivos incrustados. **(INTERNATIONAL STANDARD ISO 8501-1, 2007)**

✓ Estándares pictóricos de limpieza

Figura 4. Grado A.

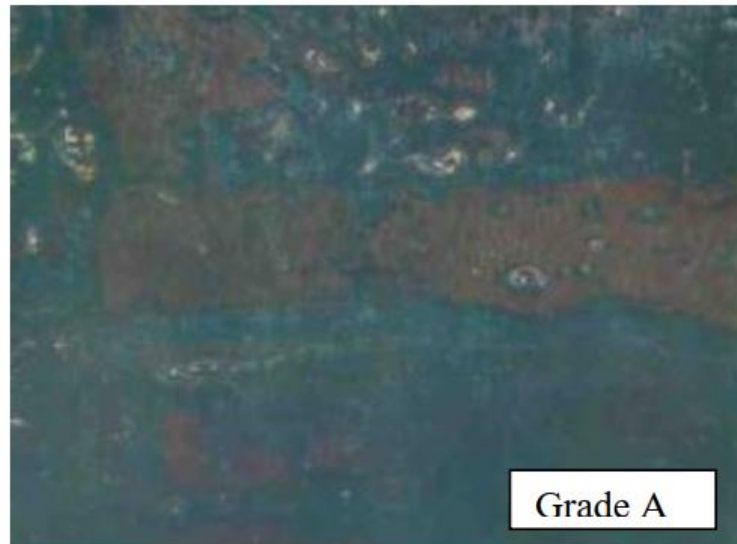


Figura 5. Grado B.

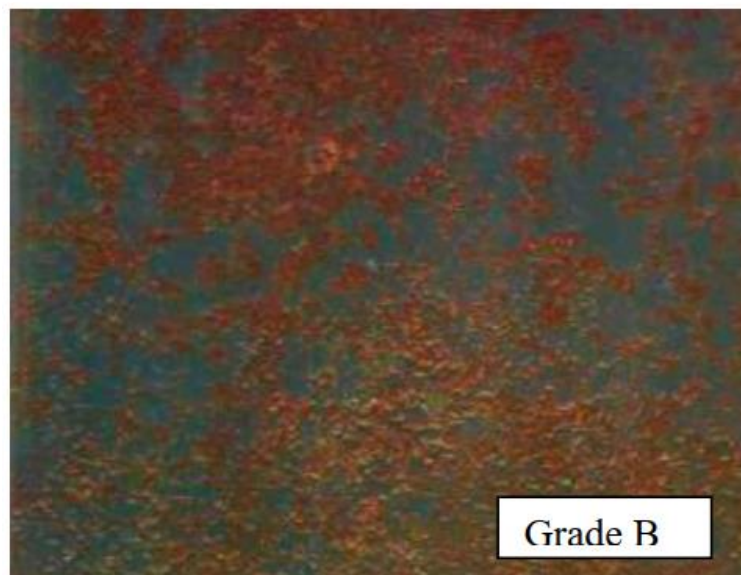
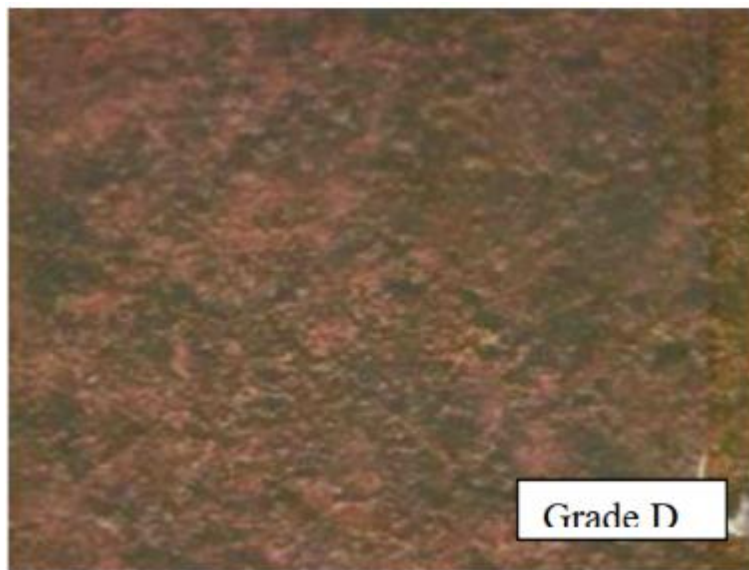


Figura 6. Grado C.



Figura 7. Grado D.



4.2.7.5. Designaciones SSPC de preparación

El SSPC (Steel Structures Painting Council) presenta unas designaciones para la preparación de superficies, las cuales se muestran en la tabla 9:

Tabla 9. Designaciones del Steel Structures Painting Council (SSPC) de los métodos de preparación de superficies para revestimientos.

Designación SSPC	Método de preparación de superficie	Designación NACE	Equipo y materiales	Observaciones
SP1	Limpieza con solvente	-----	Alcoholes minerales, disolventes clorados, disolventes de alquitrán de carbón, usando trapos o tanques de inmersión	Para la eliminación de grasa, aceite u otros materiales solubles antes de eliminar la escala, óxido y los revestimientos por otros métodos. Los limpiadores alcalinos saponifican aceites y grasas, pero estos limpiadores deben neutralizarse con 0.1% en peso de ácido crómico, dicromato de sodio o dicromato de potasio
SP2	Limpieza con herramientas manuales	-----	Raspadores de mano	La limpieza de la herramienta manual se limita a eliminar material suelto para mantenimiento y exposición atmosférica normal; los revestimientos con buenas propiedades humectantes se aplican con pincel
SP3	Limpieza con herramientas eléctricas	-----	Cepillos de alambre eléctrico, amoladora,	Para eliminar el óxido suelto, escama y pintura suelta, descalcificación, lijado, cepillado con alambre y rectificado de la

			lijadoras, herramientas de impacto	herramienta eléctrica sin un desbaste excesivo que provoque crestas, rebabas o bruñido. Se usa cuando la imprimación debe aplicarse con pincel
SP4	Limpieza con llama	-----	-----	La eliminación de contaminantes se realiza mediante quemadores de llama de oxiacetileno de alta velocidad. Generalmente, tras un cepillado con alambre
SP5	Soplado a metal blanco	1	Soplado abrasivo	Eliminación del 100% del aceite, la grasa, la suciedad, el óxido, cáscara y pintura. La tasa de limpieza es de 9.3 m ² /h (100 pies ² /h), usando una boquilla de 7.94 mm (5/16 pulg) con 690 kPa (100 psig) en la boquilla. La contaminación atmosférica, dificulta el mantenimiento de este grado de limpieza antes de aplicar el imprimador.
SP6	Limpieza a grado comercial	3	Soplado abrasivo	Eliminación del 67% de aceite, grasa, suciedad, óxido, incrustaciones y pintura. La velocidad de limpieza es de 34 m ² /h (370 pies ² /h), usando una boquilla de 7.94 mm (5/16 pulg) con 690 kPa (100 psig) en la boquilla. Se utiliza para la limpieza de chorro de fines generales para eliminar toda la materia perjudicial de la

				superficie, pero deja manchas desde herrumbre a cáscara
SP7	Limpieza con chorro de aire comprimido	4	Soplado abrasivo	Se eliminan todas las incrustaciones y el óxido suelto, con escamas, pintura y pequeñas cantidades de óxido y otras materias extrañas. Este nivel de preparación de la superficie se Usa para exposición leve y es adecuado cuando se puede anticipar un cambio de temperatura de menos de 11° C/h (20°F/h). La tasa de limpieza es de 81 m2/h (870 ft2/h) con una boquilla de 7.94 mm (5/16 pulg)
SP8	Decapado	-----	Ácido clorhídrico ácido sulfúrico con inhibidores o ácido fosfórico con un tratamiento final con fosfato	Un método comercial de preparación de superficies para eliminación de óxido y la escama de formas estructurales, vigas y placas donde hay pocas grietas para atrapar el ácido. El exceso de ácido debe enjuagarse con agua, y se debe pintar lo antes posible para evitar la recontaminación de la superficie.
SP9	Desgaste	-----	-----	Este proceso es perjudicial porque la contaminación de la superficie es más difícil de eliminar cuando se somete a desgaste
SP10	Limpieza a grado metal casi blanco	2	Soplado abrasivo	Eliminación del 95% de aceite, grasa, suciedad, óxido, escamas y pintura. Este nivel de limpieza

				<p>puede ahorrar cerca de un 25% de costos.</p> <p>Las sombras, rayas o decoloraciones se distribuyen en la superficie sin distribución específica en el área. La velocidad de limpieza es de 16m²/h usando una boquilla de 7.94 mm y 690 KPa</p>
	Limpieza de soplado con agua	-----	Agua inhibida a presiones de 6900 a 69,000 kPa (1000 a 10,000psig)	<p>La remoción es lenta y se debe especificar el grado de limpieza.</p> <p>Las altas presiones pueden dañar el sustrato o las estructuras.</p>
SP11	Herramienta eléctrica que limpia al metal desnudo	-----	Cepillos de alambre eléctrico, amoladoras, lijadoras, herramientas de impacto. (Igual a SP3)	<p>Eliminación de toda la escama, óxido, pintura vieja y aceite, exponiendo el metal desnudo. La superficie resultante debe ser rugosa según sea necesario para obtener un perfil de superficie de 25 µm (1 mil)</p>

Fuente: **(ASM International Handbook Committee, 1994)**

4.2.7.6. Selección de la preparación de superficies

Es importante tener en cuenta que la calidad final del recubrimiento depende de múltiples factores, desde la preparación mínima de superficies requerida en función del recubrimiento a aplicar (tabla 10), características de las resinas (tabla 11), métodos de curado (tabla 12), condiciones climáticas (tabla 13), entre otros.

Tabla 10. Preparación de superficie mínima

Recubrimiento	Preparación de superficie mínima
Aceite secante (Drying oil)	Limpieza con herramientas manuales o mecánicas (SSPC-SP2 o 3) ^(a)
Alquídico	Soplado comercial (SSPC-SP6)
Fenólicos oleoresinos	Soplado comercial (SSPC-SP6)
Coaltar	Soplado comercial (SSPC-SP6)
Asfáltico	Soplado comercial o casi blanco (SSPC-SP10 o 6)
Vinilo	Soplado comercial o casi blanco (SSPC-SP10 o 6)
Caucho clorado	Soplado comercial o casi blanco (SSPC-SP10 o 6)
Epóxico	Soplado comercial o casi blanco (SSPC-SP10 o 6) ^(b)
Coaltar epóxico	Soplado comercial o casi blanco (SSPC-SP10 o 6)
Uretano	Soplado comercial o casi blanco (SSPC-SP10 o 6)

Nota: no hay criterios establecidos disponibles para las pinturas de látex que incrementan su uso en acero.

- a. SSPX--SP Steel Structures Painting Council Surface Preparation
- b. Los epóxicos curados con poliamida requieren solo soplado a grado comercial
(Celis, 2018) (ASM International Handbook Committee, 1994)

Tabla 11. Características de las resinas

Resin	Curing method	solvents	Chemical and weather resistance					Remarks
			acid	alkali	Solvent	water	Weather	
Raw and boiled linseed oil	Air drying oxidative polymerization	Aliphatic hydrocarbons	Fair	Poor	Poor	Fair	Fair	Vehicle for corrosion inhibitive primers for wire-brushed Steel, slow drying.
Oleoresinous varnishes	Air drying condensation and / or oxidative polymerization	Aliphatic hydrocarbons and/or aromatic hydrocarbons	Fair	Poor	Poor	Good	Good	Pale-colored finishes that yellow on exposure

alkyds	Air drying oxidation polymerization	Aliphatic hydrocarbons	Fair	Poor	Poor	Fair	Very good	Long oil alkyds are generally used, although these alkyds may be blended with medium oil alkyds
Modified alkyds	Air drying oxidative polymerization	Dependent on modification a wide variety of solvents	Fair	Fair	Fair	Good	Very good	...
Epoxy, aliphatic amine or polyamide blends	Air drying addition polymerization	Blends rich in high ketones	Good	Very good	Very good	Very good	Good	Two-component compositions
Epoxy, fatty acid esters	Air drying oxidative polymerization	Aliphatic and/or aromatic hydrocarbons	Fair	Fair	Poor	Fair to good	Fair	...
Polyester urethane	Addition polymerization	Blend rich in ketones and esters	Fair to good	Good	Very good	Fair to good	Very good	Two-component compositions
Vinyl resins	Air drying solvent evaporation	Blends usually rich in ketones	Very good	Very good	Poor	Very good	Good	Fire hazard, unless high solids compositions are used
Chlorinated rubber	Air drying solvent evaporation	Aromatic hydrocarbons	Good	Good	Poor	Very good	Good	Very poor heat resistance
Acrylic resins (water emulsion)	Water evaporation and coalescing	Water dispersant	Fair	Fair	Very good	Fair	Good	Used as a maintenance coating system. Porosity of film results

Fuente: (ASM International Handbook Committee, 1994)

Tabla 12. Clasificación de recubrimientos de acuerdo al método de curado

Method of curing	Generic type	comments
Evaporation of water (latex, emulsion, water-thinned)	acrylic	Recommended in normal environments only
	Epoxy	Recommended in normal environments only
Chemical reaction	Coal tar epoxy	Good water, chemical, abrasion, and solvent resistance, chalks freely on exterior exposure, difficult to topcoat
	Polyester	Frequently used with glass fibers to give abrasion- and water-resistant coating. Only fair alkali resistance
	Zinc inorganic	Requires adequate surface preparation (SSPC No. 10, Near White blast cleaning); adequate curing time required; excellent corrosion protection; good abrasion, solvent, and high-temperature resistance; must be topcoated in aggressive environments; reacts with alkali-sensitive topcoats
	cementitious urethane	Inexpensive, requires adequate curing for best performance, and tends to chalk with aging, poor corrosion resistance Good water, chemical, abrasion, and solvent resistance. Difficult to topcoat
Air oxidation of drying oils (solvent thinned)	Oleoresinous	Good wetting, slow curing, soft film recommended in normal environments only
	alkyd	Good wetting and appearance, poor in alkaline or solvent environments
	Silicone alkyd	Improved durability, gloss, and chemical resistance compared to alkyds, but still poor in alkaline or solvent environments
	Phenolic oleoresinous	Good resistance to abrasion and mild chemical environments; however, dark color of binder precludes use in White or light tints

Solvent evaporation (lacquers)	Vinyl (polyvinyl chloride-acetate)	Good water resistance, limited solvent resistance, poor adhesion unless surface has been properly prepared with abrasive blast cleaning
	Chlorinated rubber	Good water resistance, limited solvent resistance
	Styrene-butadiene, styrene-acrylate	Good water resistance, limited solvent resistance
	Coal tar	Spft, black only; of limited use, mostly on mechanically cleaned surfaces
	Polyvinyl-butyrac	Exclusively used in pretreatment (wash) primers

Fuente: (ASM International Handbook Committee, 1994)

Tabla 13. Vida estimada de sistemas de pintura en años


Paint System	Cleaning SSPC designation	Average dry film thickness		Climatic conditions			Immersion service			Splashes and spills		
		µm	Mils	mild	moderate	Severe	Fresh water	Salt water	Petroleum products	Acid	Alkaline	Halos
Alkyd:												
3 coat	SP3	114	4.5	4	2	1.5	...	...	...	...	...	...
3 coat	SP6	114	4.5	6	4	2	...	...	...	...	...	...
Latex (acrylic):												
3 coat	SP3	127	5.0	6	3	1.5	...	...	...	...	...	...
3 coat	SP6	127	5.0	10	5	3	...	...	...	...	...	...
Epoxy polyamide:												
2 coat	SP6	152	6.0	7	6	5	...	...	...	...	...	...
3 coat	SP6	254	10.0	10	8	5	5	...	...	5	6	5
Inorganic Zinc:												
+3 coat	SP10	254	10.0	12	10	6	6	5	...	6	7	6
3 coat	SP10	305	12.0	14	10	7	6	...	12	5	6	5
Urethane-epoxy:												
Inorganic zinc + 2 coat epoxy + urethane	SP10	305	12.0	15	12	10	...	...	...	...	...	4



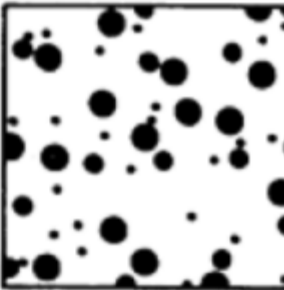
2 coat epoxy + urethane	SP10	25 4	10 .0	15	10	8	...	...	20	7	7	5
Vinyl:												
Inorganic zinc + 3 coat	SP10	30 5	12 .0	15	10	8	8	6	...	...	...	...
3 coat	SP10	25 4	10 .0	12	8	6	6	4	...	3	5	4
Chlorinated rubber	SP6	30 5	10 .0	10	9	8	5	5	...	9	6	9
Coal tar epoxy	SP6	40 6	16 .0	8	7	6	8	6	...	4	...	4

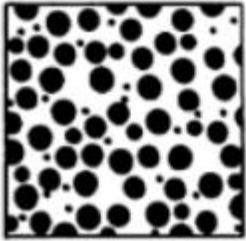
Fuente: (ASM International Handbook Committee, 1994)

4.2.7.7. Grado de oxidación de acero recubierto previamente. Ver tabla 14.

Tabla 14. Consejo de Pintura de Estructuras de Acero estándar SSPC-VIS2 para representación pictórica de clasificación de óxido para superficies a pintar

Condición del sistema de pintura	Limpieza y pintura recomendada	Grados de óxido	Área de ejemplo (%)
No deteriorado, 0 a 0.1% de óxido			
Pintura casi intacto; puede mostrar algún imprimante; el óxido cubre menos del 0.1% de la superficie	Limpieza completa con solvente (SSPC-SP1) del área de repintado y si se requiere de puntos de manchas. Si es necesario para mantener el espesor o la continuidad de la película, aplicar la capa de acabado en los puntos de manchas y luego aplicar 38-51 μm (1.5-2.0 mils) de la capa de acabado sobre toda el área de repintado	10-8	

Ligeramente a moderadamente deteriorado, 0,1 a 1% de óxido			
<p>El acabado del recubrimiento presenta el recubrimiento con algo de desgaste; la imprimación puede mostrar ligeras manchas o ampollas; después de eliminar las manchas, menos del 1% del área muestra óxido; ampollas, cáscara suelta o película de pintura suelta</p>	<p>Limpieza de manchas (mínimo SSPC-SP2) del área completa de repintado. Si es necesario el espesor mínimo de película o la continuidad se mantiene si se aplica capa de acabado en manchas y luego de 38-51 μm (1.5-2.0 mils) de acabado sobre toda el área de repintado</p>	<p>8 - 6</p>	
Deteriorado, 1 a 10% de óxido			
<p>Pintura completamente degradada, con ampollas o manchas; hasta 10% de la superficie tiene óxido, ampollas de óxido, escamas duras o película de pintura suelta, con muy poca picadura visible</p>	<p>Limpiar minuciosamente (mínimo SSPC-SP2) el área completa de repintado. Si es necesario para mantener el espesor o la continuidad de la película, aplicar la capa de acabado sobre las manchas y luego aplicar de 38-51 μm (1.5-2.0 mils) de acabado sobre toda el área de repintado</p>	<p>6 - 4</p>	
Severamente deteriorado, 10 a 50% de óxido			
<p>Gran parte de la superficie está cubierta de óxido, fosas, picaduras de óxido y pintura no adherente. Se observan picaduras</p>	<p>Limpiar (SSPC-SP6 mínimo) área completa de repintado. Si es necesario mantener el espesor o continuidad de la película, se aplica la capa de acabado sobre las manchas y luego de 38-51 μm (1.5-2.0 mils) de capa de acabado sobre el área completa de repintado</p>	<p>4 - 1</p>	

Totalmente deteriorado, 50 a 100% de óxido			
	Limpieza de área completa de repintado (mínimo SSPC-SP6) y aplicar imprimación, intermedia y acabado en toda la superficie	1 - 0	

Fuente: (Celis, 2018)

4.2.8. CLASIFICACIÓN DE AMBIENTES

4.2.8.1. Categorías de corrosividad atmosférica

Conforme a la Norma ISO 9223, los ambientes atmosféricos se clasifican en seis categorías de corrosividad atmosférica: Ver tabla 15.

- C1 corrosividad muy baja
- C2 corrosividad baja
- C3 corrosividad media
- C4 corrosividad alta
- C5 corrosividad muy alta
- CX corrosividad extrema

NOTA CX abarca diferentes ambientes extremos. Un ambiente extremo específico es el ambiente de ultramar que es objeto de la Norma ISO 12944-9. Otros ambientes extremos no se encuentran incluidos en las otras partes de la Norma ISO 12944. **(ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, 2017)**

Tabla 15. Categorías de corrosividad atmosférica y ejemplos de ambientes habituales.

Categoría de corrosividad	Pérdida de masa por unidad de superficie/ pérdida de espesor (después del primer año de exposición)				Ejemplos de ambientes habituales (sólo informativo)	
	Acero de bajo contenido de carbono		Zinc		Exterior	Interior
	Pérdida de masa g/m ²	Pérdida de espesor µm	Pérdida de masa g/m ²	Pérdida de espesor µm		
C1 Muy baja	≤ 10	≤ 1,3	≤ 0,7	≤ 0,1	-	Edificios acondicionados con atmósferas limpias, por ejemplo, oficinas, tiendas, escuelas, hoteles
C2 Baja	> 10 a 200	> 1,3 a 25	> 0,7 a 5	> 0,1 a 0,7	Atmósferas con un nivel bajo de contaminación: básicamente áreas rurales	Edificios sin acondicionamiento donde se puede dar condensación, por ejemplo, depósitos, polideportivos
C3 Media	> 200 a 400	> 25 a 50	> 5 a 15	> 0,7 a 2,1	Atmósferas urbanas e industriales, contaminación moderada de dióxido de azufre: áreas costeras con baja salinidad	Áreas de producción con humedad elevada y con cierta contaminación, por ejemplo, plantas de procesamiento alimentaria, tintorerías, destiladoras, empresas lácteas
C4 Alta	> 400 a 650	> 50 a 80	> 15 a 30	> 2,1 a 4,2	Áreas industriales y áreas costeras con salinidad moderada	Plantas químicas, piscinas, embarcaderos y astilleros
C5 Muy alta	> 650 a 1 500	> 80 a 200	> 30 a 60	> 4,2 a 8,4	Áreas industriales con elevada humedad y atmósfera agresiva y áreas costeras con elevada salinidad	Edificios o áreas con condensación casi permanente y con elevada contaminación
CX Extrema	> 1 500 a 5 500	> 200 a 700	> 60 a 180	> 8,4 a 25	Áreas de ultramar con elevada salinidad y áreas industriales con humedad extrema y atmósfera agresiva y atmósferas subtropical y tropical	Áreas industriales con humedad extrema y atmósfera agresiva

NOTA Los valores de pérdida utilizados para la categoría de corrosividad son idénticos de aquellos mostrados en la Norma ISO 9223.

Fuente: (ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, 2017)

4.2.8.2. Condiciones climáticas

Habitualmente, solo se pueden esbozar conclusiones generales sobre el supuesto comportamiento corrosivo del tipo de clima. En un clima frío o seco, la velocidad de corrosión será más lenta que en un clima atemperado; será superior en un clima cálido y húmedo y en un clima marino, aunque se puedan dar diferencias locales considerables.

La principal preocupación es el tiempo que una estructura está expuesta a humedades elevadas, también descrito como tiempo húmedo. La tabla 16 proporciona información sobre el tiempo calculado de humedad y las características seleccionadas de varios tipos de clima. **(ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, 2017)**

Tabla 16. Tiempo calculado de humedad y características seleccionadas de varios tipos de clima.

Tabla A.1 - Tiempo calculado de humedad y características seleccionadas de varios tipos de clima

Tipo de clima	Valor medio de valores extremos anuales			Tiempo calculado húmedo a una humedad relativa > 80% y temperatura > 0 °C h/año
	Baja temperatura °C	Alta temperatura °C	Temperatura más alta con humedad relativa > 95% °C	
Frío extremo	- 65	+ 32	+ 20	0 a 100
Frío	- 50	+ 32	+ 20	150 a 2 500
Templado frío	- 33	+ 34	+ 23	2 500 a 4 200
Templado caliente	- 20	+ 35	+ 25	
Seco cálido	- 20	+ 40	+ 27	10 a 1 600
Seco moderadamente cálido	- 5	+ 40	+ 27	
Seco extremadamente cálido	+ 3	+ 55	+ 28	
Húmedo cálido	+ 5	+ 40	+ 31	4 200 a 6 000
Húmedo cálido, constante	+ 13	+ 35	+ 33	

Fuente: (ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, 2017)

4.2.8.3. Trabajo nuevo y remodelación

❖ Trabajo nuevo y remodelación

Las superficies a recubrir que se encuentren en estructuras nuevas son acero al carbono de grado de oxidación A, B y C según se define en la Norma ISO 8501-1, así como el acero galvanizado en caliente, y recubrimiento metálico térmicamente proyectado (véase la Norma ISO 12944-1). La posible preparación superficial se describe en la Norma ISO 12944-4. El sustrato y el grado de preparación superficial recomendado se muestran en la tabla B.1. La calidad de la preparación superficial es esencial para la durabilidad de un sistema de recubrimiento. Los sistemas de pintura enumerados en el anexo C, anexo D y anexo E son ejemplos habituales de sistemas utilizados en los ambientes enumerados en el capítulo 4 al aplicar sobre superficies de acero con grados de óxido de A a C, según se definen en la Norma ISO 8501-1, o sobre acero galvanizado o recubierto mediante proyección térmica. Donde se ha deteriorado el acero hasta el punto de que desarrolla corrosión por puntos (grado de óxido D según se define en la Norma ISO 8501-1), el espesor de película seca o el número de capas se debe incrementar por compensar por la rugosidad superficial incrementada y se debería consultar al fabricante de la pintura sobre las recomendaciones.

En principio, no se necesita protección anticorrosiva para la categoría de corrosión C1. Si, por razones estéticas, es necesario, el pintado se puede elegir un sistema pretendido para categoría C2 (con una durabilidad baja).

Si un acero no protegido destinado a una categoría de corrosión C1 se transporta en un inicio, se almacena temporalmente o se monta expuesto al ambiente (por ejemplo, un ambiente costero C4/C5), la corrosión comenzará debido a las sales/contaminantes presentes en el aire y continuarán incluso cuando el trabajo se mueve a su localización final de categoría C1. Para evitar este problema, el trabajo debería o protegerse durante el almacenamiento in situ o se le da una capa de imprimación adecuada. El espesor de película seca debería ser el adecuado para el tiempo de almacenamiento esperado y la severidad del ambiente de almacenamiento. **(ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, 2017)**

❖ Remodelación parcial

Los sistemas para la remodelación parcial deberían especificarse y acordarse de manera separada para todos los objetos entre las partes involucradas. Los sistemas de pintura enumerados en el anexo C, anexo D y anexo E se pueden utilizar, si son adecuados. En casos especiales, se pueden necesitar otros tipos de sistemas para los trabajos de reparación.

La preparación superficial necesaria de cualquier recubrimiento viejo y la compatibilidad del sistema de recubrimiento para aplicarse se debería probar de una manera adecuada antes de empezar los trabajos de reparación.

Las áreas de ensayo que se pueden preparar para comprobar las recomendaciones del fabricante y/o la compatibilidad en el sistema de pintura previo. **(ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, 2017)**

4.2.9. TIPOS DE PINTURA

4.2.9.1. Generalidades

Se muestran en las tablas C.1 a C.6, tabla D.1 y tabla E.1 en relación a la durabilidad esperada, varios ejemplos de los sistemas de pintura, que son de naturaleza informativa, basados en la categoría de corrosión. Los sistemas se han incluido debido a su historial comprobado, pero la lista no pretende ser exhaustiva y se aceptan también otros sistemas similares. Únicamente los tipos genéricos de ligantes mencionados en los sistemas en las tablas C.1 a C.6, tabla D.1 y tabla E.1 se describen en este capítulo. Los pigmentos, las cargas, y los aditivos son también ingredientes importantes de una pintura. Dependiendo de la composición de la pintura, el comportamiento del recubrimiento puede variar radicalmente dentro de la tecnología del ligante. Los tipos de ligante descritos en el capítulo 6 son sólo ejemplos, se pueden utilizar también otros tipos genéricos de recubrimientos.

4.2.9.2. Ejemplos de tipo genérico de pintura

- **Pinturas alquídicas (AK en sus siglas en inglés)**

En estas pinturas de un solo componente, la película endurece/se forma por evaporación del disolvente y/o agua, y por reacción del ligante con el oxígeno de la atmósfera.

- **Pinturas acrílicas (AY en sus siglas en inglés)**

Las pinturas acrílicas son materiales de recubrimiento de un solo componente disponibles en las versiones de base agua y base disolvente. La película de las pinturas acrílicas en base disolvente seca por evaporación de disolvente sin más cambio de estado, es decir, el proceso es reversible y se puede volver a disolver la película en el disolvente original en cualquier momento. En las pinturas acrílicas en base agua el ligante se encuentra dispersado en agua. La película endurece por evaporación del agua y por la coalescencia del ligante disperso para formar una película. El proceso es irreversible, es decir, este tipo de recubrimiento no se vuelve a dispersar en agua después del secado.

El tiempo de secado dependerá, entre otros factores, del movimiento del aire, la humedad relativa y la temperatura.

- **Pinturas de etil silicato (ESI en sus siglas en inglés)**

Las imprimaciones de etil silicato de zinc se suministran como materiales de recubrimiento de uno o de dos componentes. Estas películas secan/se forman mediante evaporación de disolvente y curado químico al reaccionar con la humedad del aire. Los materiales de recubrimiento de dos componentes consisten en un líquido (que contiene el ligante) y un componente en polvo (que contiene polvo de zinc). La mezcla del líquido y el polvo tiene una vida de la mezcla limitada.

El tiempo de secado dependerá, entre otras cosas, de la temperatura, del movimiento del aire, de la humedad y del espesor de película. Cuanto más baja sea la humedad relativa, más lento será el proceso de curado.

Es importante que se cumplan las instrucciones del fabricante de pintura en referencia a los límites de la humedad relativa y las películas húmedas y secas, para evitar la formación de burbujas, puntos de aguja, u otros defectos en el recubrimiento. En particular, se tienen que considerar los límites del NDFT, debido al riesgo de cuarteamiento si se exceden los límites.

- **Pinturas para recubrimientos epoxi (EP en sus siglas en inglés)**

Las pinturas para recubrimientos epoxi son materiales de recubrimiento de dos componentes. La pintura seca por evaporación de los disolventes, si están presentes, y seca por curado mediante reacción química entre una base y un componente con un agente de curado o endurecedor. La mezcla de la base y el endurecedor tiene una vida de la mezcla limitada.

Los ligantes en el componente base son polímeros que presentan grupos epóxidos, por ejemplo, epoxi, epoxi vinil/epoxi acrílico o combinaciones epoxi (por ejemplo, resinas de hidrocarburo epoxi).

El componente del agente de curado puede consistir en, por ejemplo, poliaminas, poliamidas o aductos.

El tiempo de secado dependerá, entre otros factores, del movimiento del aire, y de la temperatura.

Las fórmulas pueden ser base disolvente, base agua o exenta de disolvente.

La mayoría de recubrimientos epoxi presenta caleo al exponerlos a la luz solar. Si se necesita retención de brillo o de color, se debería aplicar una capa de acabado adecuada.

- **Pinturas para recubrimientos de poliuretano (PUR en inglés)**

Las pinturas de poliuretano de un componente secan inicialmente por evaporación de disolvente (donde el disolvente está presente) y mediante reacción química con

la humedad del aire. El proceso es irreversible que significa que el recubrimiento no se puede disolver en el disolvente original. Están disponibles los tipos de recubrimientos de poliuretanos alifáticos y también aromáticos. No se recomiendan los tipos aromáticos para capas de acabado, ya que tienden a presentar caleo.

Las pinturas de poliuretano de dos componentes secan por evaporación de disolventes, si están presentes, y secan por curado a través de una reacción química entre una base y un componente con el agente de curado. La mezcla de la base y el endurecedor tiene una vida de la mezcla limitada.

Los ligantes del componente base son polímeros con grupos hidróxilos libres, por ejemplo, poliéster, acrílico, epoxi, poliéter, resina fluorada, que reaccionan con los agentes de curado adecuados a base de isocianato. Se pueden combinar con ligantes no reactivos, por ejemplo, resinas de hidrocarburo.

El endurecedor contiene un poli-isocianato aromático o alifático.

Un tipo especial de PUR se basa en fluoropolímeros.

Las pinturas para recubrimientos de copolímero de vinil éter/fluoropolímero (FEVE en sus siglas en inglés) son materiales de recubrimiento de dos componentes y están disponibles ambas versiones en base agua y en base disolvente. Las pinturas en base disolvente secan mediante evaporación del disolvente y secan por curado mediante una reacción química entre una resina de base y un componente de curado. Las pinturas para los recubrimientos FEVE son materiales de recubrimiento que se pueden secar por curado a temperatura ambiente mediante reticulación con un endurecedor a base de isocianato.

La resina del componente base es fluoropolímero con grupos hidroxilo libres que reaccionan con agentes de curado adecuados a base de isocianato.

El tiempo de secado dependerá, entre otros factores, del movimiento del aire, la humedad relativa y la temperatura.

- **Pintura para recubrimientos poliaspárticos (PAS)**

Las pinturas de dos componentes para recubrimientos poliaspárticos secan por la evaporación de disolventes, si están presentes, y secan por curado mediante una reacción química entre una base y un componente con el agente de curado. La mezcla de la base y el endurecedor tiene una vida de la mezcla limitada.

El proceso es irreversible, que significa que el recubrimiento no puede disolverse en el disolvente original.

Los ligantes del componente base son aspartatos monofuncionales que reaccionan con poli-isocianatos adecuados. Estos pueden combinarse con ligantes no reactivos, por ejemplo, resinas de hidrocarburos.

El componente del agente de curado contiene un poli-isocianato alifático.

El tiempo de secado dependerá, entre otros factores, del movimiento del aire, la humedad relativa y la temperatura.

- **Pinturas para recubrimientos de polisiloxano (PS)**

Las pinturas para recubrimientos de polisiloxano pueden ser materiales de recubrimiento de uno o de dos componentes.

Los polisiloxanos son parte inorgánicos utilizando resina de silicona y parte orgánicos utilizando una resina modificada que habitualmente es base acrílica, de base acrilato, o de base epoxi.

Las pinturas de un componente secan inicialmente a través de la evaporación de disolvente y una reacción de curado químico con la humedad del aire. Como en el caso de pinturas de un componente para recubrimientos de poliuretano la reacción es irreversible, que significa que el recubrimiento no puede disolverse en el disolvente original.

Las pinturas de dos componentes secan mediante combinación de la evaporación de disolvente y una reacción de curado químico entre el componente base y el agente de curado. El material mezclado tendrá una vida de la mezcla limitada. **(ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, 2017)**

4.2.10. SISTEMAS DE PINTURAS

4.2.10.1. Capas de imprimación y tipos de imprimación

Como primera capa de los sistemas de recubrimiento, las capas de imprimación deben proporcionar adherencia al metal limpio y suficientemente rugoso. La capa de imprimación debe proporcionar adherencia a las capas siguientes.

En las tablas C.1 a C.6 y la tabla D.1 se describen sistemas de recubrimiento con un mínimo de una capa. En estos casos, la capa de imprimación debe actuar también como capa de acabado.

El anexo A proporciona una visión general de los términos y definiciones abreviados.

4.2.10.2. Tipos de imprimación

Las tablas C.1 a C.6 proporcionan información sobre el tipo de imprimación a utilizar. Para el fin de este documento, se definen dos categorías importantes de la imprimación conforme el tipo de pigmento que contienen.

- Las imprimaciones ricas en zinc, Zn (R), son aquellas que forman una capa con un contenido de pigmento a base de polvo de zinc igual o superior al 80% en peso en la película seca.
- Otras imprimaciones (miscelánea) son todas las otras categorías de las imprimaciones.

4.2.10.3. Capas subsiguientes

Las tablas C.1 a C.6, la tabla D.1 y la tabla E.1 muestran información sobre los tipos genéricos de capas subsiguientes si el número de capas es superior a 1. Para una mejor lectura de las tablas C.1 a C.6, la tabla D.1 y la tabla E.1 se introdujo el término capas subsiguientes. Resume todas las capas adicionales como intermedias y capas de acabado aplicadas sobre la imprimación.

- **Capas intermedias**

Las capas intermedias se utilizan en los sistemas de pintura con tres o más capas entre la imprimación y la capa de acabado esencialmente como barrera para los medios corrosivos.

- **Capas de acabado**

Las capas de acabado, como la última capa de un sistema de pintura, determinan el diseño de una construcción de acero. Al seleccionar el tipo de ligante se tiene que considerar el brillo y la retención de color y la resistencia a productos químicos.

4.2.10.4. Espesor de película seca

Los espesores de película seca indicados en las tablas B.2 a B.5 son espesores de película seca nominales. Los espesores de película seca se comprueban generalmente sobre el sistema de pintura completo. Cuando se considera adecuado, el espesor de película seca de la capa de imprimación o de otras partes del sistema de pintura se puede medir de manera separada.

Se deben tomar precauciones para obtener el espesor de película y evitar áreas con un espesor excesivo. Se recomienda que el espesor máximo de película (valor DFT individual) no sea superior a tres veces el espesor de película nominal. En aquellos casos que el espesor de película es superior al espesor máximo de película, se debe lograr un acuerdo experto entre las partes. Para algunos productos o sistemas,

existe un espesor crítico. A dichos productos o sistemas debe aplicarse la información mostrada en las fichas técnicas de fabricante de la pintura.

El número de capas y los espesores de película nominales establecidos en las tablas B.2 a B.5 se basan en la aplicación de pulverización airless. La aplicación a rodillo, brocha o equipo de pulverización convencional producirá habitualmente espesores de película inferiores y serán necesarias más capas para obtener el mismo espesor de película para el sistema. Se consulta al fabricante de pintura para más información. **(ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, 2017)**

4.2.10.5. Durabilidad

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

- ✓ el tipo de sistema de pintura;
- ✓ el diseño de la estructura;
- ✓ la condición del sustrato antes de la preparación;
- ✓ el grado de preparación superficial;
- ✓ la calidad del trabajo de preparación superficial;
- ✓ la condición de cualquier junta, borde y soldadura antes de la preparación;
- ✓ la calidad del trabajo de aplicación;
- ✓ las condiciones durante la aplicación;
- ✓ las condiciones de exposición después de la aplicación.

4.2.11. TABLAS PARA LOS SISTEMAS ANTI-CORROSIVOS PARA C2 A C5, IM 1, IM2 E IM3

4.2.11.1. Lectura de las tablas

Las tablas mostradas en el anexo C al E presentan ejemplos de sistemas de pintura para ambientes diferentes. El sombreado utilizado en las líneas alternas es únicamente para la facilidad de la lectura. Las pinturas utilizadas para todos estos

sistemas deben ser adecuadas para la tensión de la corrosión superior de la categoría de corrosión o inmersión solicitadas. El especificador debe asegurar que la documentación o una declaración del fabricante de la pintura está disponible y que confirma la idoneidad o la durabilidad de un sistema de pintura para utilizar en una determinada categoría de corrosión o de inmersión.

4.2.11.2. Parámetros que influyen en la durabilidad

En la práctica, algunos sistemas presentan una durabilidad probada muy superior a los 25 años. Al incrementar el espesor de película, se incrementará la protección por efecto barrera (pero a partir de cierto nivel puede tener un efecto negativo debido a un empeoramiento de sus propiedades mecánicas y un incremento de la retención de disolvente). Al incrementar el número de capas individuales pueden decrecer las tensiones internas causadas por la evaporación de disolvente. También, las variaciones en el espesor de película causado por la pérdida en la pulverización tienden a decrecer con un incremento del número de capas. Además, la elección de un sistema diseñado para una categoría de corrosividad “superior” a la prevista proporcionará una durabilidad superior cuando dicho sistema se utilice en un ambiente de corrosividad inferior.

4.2.11.3. Directrices para la elección del sistema de pintura adecuado

- ✓ Se determina la categoría de corrosión del ambiente (macro clima) donde se colocará la estructura, según se describe en la Norma ISO 12944-2.
- ✓ Se establece si existen condiciones especiales (microclima) que pueden resultar en una categoría de corrosividad superior (véase la Norma ISO 12944-2).
- ✓ Se busca en los anexos B al E la tabla relevante de la norma ISO 12944-5. El anexo B establece una serie de requisitos mínimos para los sistemas protectores en las categorías diferentes de corrosión e inmersión y las durabilidades. Las tablas 17 a 28 ofrecen propuestas para diferentes tipos genéricos de sistemas de pintura para las categorías de corrosión de C 2 a C 5 y de Im1 a Im3.

- ✓ Se identifica en la tabla aquellos sistemas de pintura con la durabilidad requerida.
- ✓ Se consulta al fabricante de la pintura para confirmar la elección y determinar qué sistema(s) de pintura disponible(s) corresponde(n) al sistema de pintura seleccionado. **(ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, 2017)**

4.2.11.4. Tablas Norma ISO 12944-5

Tabla 17. Anexo A. Tabla A.1 – Términos abreviados y descripciones

Tabla A.1 - Términos abreviados y descripciones

	Término abreviado	Descripción			
Tipo de imprimación	Zn (R)	La imprimación rica en zinc, véase apartado 7.1.2 para ampliación de detalles. El espesor nominal de película seca habitual varía desde 40 µm hasta 80 µm.			
	Miscel.	Todas las otras categorías de las imprimaciones			
Base ligante para imprimaciones y capas siguientes		Ligante principal	Tipo	Posibilidad de base agua	Comentarios adicionales
	AK	Alcídico	Un componente	X	
	AY	Acrílico	Un componente	X	Habitualmente base agua
	EP	Epoxi	Dos componentes	X	Pobre resistencia al UV
	PUR	Poliuretano	Uno o dos componentes	X	Únicamente tipos alifáticos para capas de acabado
	ESI	Silicato de etilo	Uno o dos componentes		Se recomienda el uso de una capa de enganche compatible con la siguiente capa
	C2 a C5	Categorías de corrosividad, véase la Norma ISO 12944-2.			
	Im1 a Im3	Categorías de inmersión, véase la Norma ISO 12944-2.			
	NDFT	Espesor de película seca nominal. Véase 7.3 para más detalles.			
	MNOC	Mínimo número de capas. Dependiendo del material de recubrimiento, el método de aplicación y el diseño de las partes, puede ser necesario aplicar un número superior de capas.			

Tabla 18. Anexo B. Tabla B.1 – Preparación superficial

Tabla B.1 – Preparación superficial

Sustrato	Grado de preparación superficial mínimo (salvo indicación en contra)	Primera capa del sistema anti-corrosiva
Grados A, B, C o D ^a de grados de oxidación de acero al carbono conforme a la Norma ISO 8501-1	Sa 2 ½ conforme a la Norma ISO 8501-1 medio (G) conforme a la Norma ISO 8503-1	Imprimación Zn (R)
	Sa 2 ½ conforme a la Norma ISO 8501-1 debería mostrarse en las hojas técnicas información adicional	Imprimación miscelánea
	Conforme a la Norma ISO 2063 (todas las partes)	Recubrimiento metálico proyectado térmicamente y sellador (conforme a todas las partes de la Norma ISO 2063)
a Para el grado de oxidación D, se necesita especial cuidado para asegurar la preparación superficial adecuada.		

Tabla 19. Tabla B.2 – Resumen del número mínimo de capas (MNOG en sus siglas en inglés) y mínimo NDFT del sistema de pintura dependiendo de la durabilidad y la categoría de corrosividad sobre sustratos chorreados con abrasivo

Durabilidad	Baja (B)			Media (M)			Alta (A)			Muy alta (MA)			
	Zn(R)	Misc		Zn(R)	Misc		Zn(R)	Misc		Zn(R)	Misc		
Tipo de imprimación	Zn(R)	Misc		Zn(R)	Misc		Zn(R)	Misc		Zn(R)	Misc		
Base ligante de la imprimación	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	ESI, EP, PUR	EP, PUR, ESI	AK, AY	
Base ligante de las siguientes capas	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	EP, PUR, AY	EP, PUR, AY	AK, AY	
C2	MNOG	a			-	-	1	1	1	1	2	2	2
	NDFT	a			-	-	100	60	120	160	160	180	200
C3	MNOG	-	-	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	NDFT	-	-	100	60	120	160	160	180	200	200	240	260
C4	MNOG	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	2	-
	NDFT	60	120	160	160	180	200	200	240	260	260	300	-
C5	MNOG	2	2	-	2	2	-	3	2	-	3	3	-
	NDFT	160	180	-	200	240	-	260	300	-	320	360	-
Las abreviaturas se describen en la tabla A.1. Para capas individuales, se recomienda la base de ligante de la imprimación. Además de la tecnología de poliuretano, pueden ser adecuadas otras tecnologías de recubrimiento, por ejemplo, polisiloxanos, poliaspárticos, y fluoropolímeros [fluoroetileno/co-polímero éter vinílico (FEVE en sus siglas en inglés)].													
a Si se desea un recubrimiento, se utiliza un sistema de categoría de corrosividad o durabilidad superior, por ejemplo, C2 alto o C3 medio.													

Tabla 20. Tabla B.3 – Resumen del mínimo número de capas (MNOC) y mínimo NDFT del sistema de pintura dependiendo de la durabilidad y la categoría de corrosividad sobre acero galvanizado en caliente conforme a la Norma ISO 1461.

Durabilidad		Baja (B)		Media (M)		Alta (A)		Muy alta (MA)	
		EP, PUR	AY	EP, PUR	AY	EP, PUR	AY	EP, PUR	AY
Base ligante de la imprimación		EP, PUR	AY	EP, PUR	AY	EP, PUR	AY	EP, PUR	AY
Base ligante de las siguientes capas		EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY	EP, PUR, AY	AY
C2	MNOC	a		a		1	1	1	2
	NDFT					80	80	120	160
C3	MNOC	a		1	1	1	2	2	2
	NDFT			80	80	120	160	160	200
C4	MNOC	1	1	1	2	2	2	2	-
	NDFT	80	80	120	160	160	200	200	-
C5	MNOC	1	2	2	2	2	-	2	-
	NDFT	120	160	160	200	200	-	240	-

Además de la tecnología de poliuretano, pueden ser adecuadas otras tecnologías de recubrimiento, por ejemplo, polisiloxanos, poliaspárticos, y fluoropolímeros [fluoroetileno/co-polímero éter vinílico (FEVE en sus siglas en inglés)].

NOTA 1 Las abreviaturas se describen en la tabla A.1. Para capas simples se recomienda la base ligante.

NOTA 2 La durabilidad está en este caso relacionado con la adherencia del sistema de pintura a la superficie galvanizada. En el caso de que el sistema de pintura esté dañado, la capa galvanizada restante presenta una protección adicional al acero.

a Si se desea un recubrimiento, se utiliza un sistema de categoría de corrosividad o durabilidad superior, por ejemplo, C2 alto o C3 medio.

Tabla 21. Tabla B.4 – Resumen del mínimo número de capas (MNOC) y mínimo NDFT del sistema de pintura dependiendo de la durabilidad y la categoría de corrosividad sobre recubrimiento metálico térmicamente proyectado conforme a la Norma ISO 2063 (todas las partes).

Durabilidad		Alta (A)	Muy alta (MA)
Base del ligante de las siguientes capas		EP, PUR	EP, PUR
C3	MNOC	1	2
	NDFT	120	160
C4	MNOC	2	2
	NDFT	160	200
C5	MNOC	2	2
	NDFT	200	240

Se debería tener especial cuidado al recubrir en exceso con aluminio proyectado térmicamente en un ambiente de cloruro ya que se ha documentado como fallo prematuro. Véase también la Referencia ^[13].

NOTA Las abreviaturas se describen en la tabla A.1.

Tabla 22. Tabla B.5 – Resumen del mínimo número de capas (MNOC) y mínimo NDFT del sistema de pintura para acero al carbono para las tres categorías de inmersión con dos diferentes durabilidades sobre sustratos de acero chorreado con abrasivos.

Durabilidad	Alta (A)			Muy alta (MA)		
	Zn(R)	Misc.	-	Zn(R)	Misc.	-
Tipo de imprimación	Zn(R)	Misc.	-	Zn(R)	Misc.	-
Base ligante de la imprimación	ESI, EP, PUR	EP, PUR	-	ESI, EP, PUR	EP, PUR	-
Base ligante de las siguientes capas	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR
MNOC	2	2	1	2	2	1
NDFT	360	380	400	500	540	600

Los requisitos mínimos para durabilidades inferiores deben acordarse entre las partes involucradas.

NOTA Para las abreviaturas véase la tabla A.1.

Tabla 23. Tabla C.1 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C1.

Nº de sistema	Capa de imprimación				Capa(s) siguiente(s)	Sistema de pintura		Durabilidad			
	Ligante	Tipo de imprimación	Nº de capas	NDFT en µm	Tipo de ligante	Nº total de capas	NDFT en µm	b	m	a	ma
Para cualquier sistema C1 utilizado se puede utilizar para una categoría de corrosividad superior, preferiblemente para C2.											

Tabla 24. Tabla C.2 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C2.

Nº de sistema	Capa de imprimación				Capa(s) siguiente(s)	Sistema de pintura		Durabilidad			
	Ligante	Tipo de imprimación	Nº de capas	NDFT en µm	Tipo de ligante	Nº total de capas	NDFT en µm	b	m	a	ma
C2.01	AK, AY	Misc.	1	40 a 80	AK, AY	1 a 2	80	X			
C2.02	AK, AY	Misc.	1	40 a 100	AK, AY	1 a 2	100	X	X		
C2.03	AK, AY	Misc.	1	60 a 160	AK, AY	1 a 2	160	X	X	X	
C2.04	AK, AY	Misc.	1	60 a 80	AK, AY	2 a 3	200	X	X	X	X
C2.05	EP, PUR, ESI	Misc.	1	60 a 120	EP, PUR, AY	1 a 2	120	X	X	X	
C2.06	EP, PUR, ESI	Misc.	1	80 a 100	EP, PUR, AY	2	180	X	X	X	X
C2.07	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	-	1	60	X	X	X	
C2.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	2	160	X	X	X	X

Además de la tecnología de poliuretano, pueden ser adecuadas otras tecnologías de recubrimiento, por ejemplo, polisiloxanos, poliaspárticos, y fluoropolímeros [fluoroetileno/co-polímero éter vinílico (FEVE en sus siglas en inglés)].

NOTA Para las abreviaturas véase la tabla A.1.

Tabla 25. Tabla C.3 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C3.

Tabla C.3 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C3

N° de sistema	Capa de imprimación				Capa(s) siguiente(s)	Sistema de pintura		Durabilidad			
	Ligante	Tipo de imprimación	N° de capas	NDFT en μm	Tipo de ligante	N° total de capas	NDFT en μm	b	m	a	ma
C3.01	AK, AY	Misceláneo	1	80 a 100	AK, AY	1 a 2	100	X			
C3.02	AK, AY	Misceláneo	1	60 a 160	AK, AY	1 a 2	160	X	X		
C3.03	AK, AY	Misceláneo	1	60 a 80	AK, AY	2 a 3	200	X	X	X	
C3.04	AK, AY	Misceláneo	1	60 a 80	AK, AY	2 a 4	260	X	X	X	X
C3.05	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 120	EP, PUR, AY	1 a 2	120	X	X		
C3.06	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 160	EP, PUR, AY	2	180	X	X	X	
C3.07	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 160	EP, PUR, AY	2 a 3	240	X	X	X	X
C3.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	—	1	60	X	X		
C3.09	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	2	160	X	X	X	
C3.10	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	2 a 3	200	X	X	X	X

Además de la tecnología de poliuretano, pueden ser adecuadas otras tecnologías de recubrimiento, por ejemplo, polisiloxanos, poliaspárticos, y fluoropolímeros [fluoroetileno/co-polímero éter vinílico (FEVE en sus siglas en inglés)].

NOTA Para las abreviaturas véase la tabla A.1.

Tabla 26. Tabla C.4 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C4.

Tabla C.4 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C4

N° de sistema	Capa de imprimación				Capa(s) siguiente(s)	Sistema de pintura		Durabilidad			
	Ligante	Tipo de imprimación	N° de capas	NDFT en μm	Tipo de ligante	N° total de capas	NDFT en μm	b	m	a	ma
C4.01	AK, AY	Misceláneo	1	60 a 160	AK, AY	1 a 2	160	X			
C4.02	AK, AY	Misceláneo	1	60 a 80	AK, AY	2 a 3	200	X	X		
C4.03	AK, AY	Misceláneo	1	60 a 80	AK, AY	2 a 4	260	X	X	X	
C4.04	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 120	EP, PUR, AY	1 a 2	120	X			
C4.05	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 160	EP, PUR, AY	2	180	X	X		
C4.06	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 160	EP, PUR, AY	2 a 3	240	X	X	X	
C4.07	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 240	EP, PUR, AY	2 a 4	300	X	X	X	X
C4.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	-	1	60	X			
C4.09	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	2	160	X	X		
C4.10	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	2 a 3	200	X	X	X	
C4.11	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	3 a 4	260	X	X	X	X

Además de la tecnología de poliuretano, pueden ser adecuadas otras tecnologías de recubrimiento, por ejemplo, polisiloxanos, poliaspárticos, y fluoropolímeros [fluoroetileno/co-polímero éter vinílico (FEVE en sus siglas en inglés)].

NOTA Para las abreviaturas véase la tabla A.1.

Tabla 27. Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C5.

Tabla C.5 - Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C5

Nº de sistema	Capa de imprimación				Capa(s) siguiente(s)	Sistema de pintura		Durabilidad			
	Ligante	Tipo de imprimación	Nº de capas	NDFT en µm	Tipo de ligante	Nº total de capas	NDFT en µm	b	m	a	ma
C5.01	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 160	EP, PUR, AY	2	180	X			
C5.02	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 160	EP, PUR, AY	2 a 3	240	X	X		
C5.03	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 240	EP, PUR, AY	2 a 4	300	X	X	X	
C5.04	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 200	EP, PUR, AY	3 a 4	360	X	X	X	X
C5.05	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	2	160	X			
C5.06	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	2 a 3	200	X	X		
C5.07	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	3 a 4	260	X	X	X	
C5.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	3 a 4	320	X	X	X	X

Además de la tecnología de poliuretano, pueden ser adecuadas otras tecnologías de recubrimiento, por ejemplo, polisiloxanos, poliaspárticos, y fluoropolímeros [fluoroetileno/co-polímero éter vinílico (FEVE en sus siglas en inglés)].

NOTA Para las abreviaturas véase la tabla A.1.

Tabla 28. Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de inmersión Im1, Im2 e Im3.

Tabla C.6 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de inmersión Im1, Im2 e Im3

Nº de sistema	Capa de imprimación				Capa(s) siguiente(s)	Sistema de pintura		Durabilidad			
	Ligante	Tipo de imprimación	Nº de capas	NDFT en µm	Tipo de ligante	Nº total de capas	NDFT en µm	b	m	a	ma
I.01	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR	2 a 4	360	X	X	X	
I.02	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR	2 a 5	500	X	X	X	X
I.03	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80	EP, PUR	2 a 4	380	X	X	X	
I.04	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80	EP, PUR	2 a 4	540	X	X	X	X
I.05			-	-	EP, PUR	1 a 3	400	X	X	X	
I.06			-	-	EP, PUR	1 a 3	600	X	X	X	X

Dependiendo de las cargas mecánicas y abrasivas, puede ser necesario incrementar el NDFT de los sistemas para asegurar la durabilidad. Para casos más abrasivos, se recomienda un NDFT hasta 1 000 µm, y para los casos extremos de abrasión incluso 2 000 µm.

Además de la tecnología de poliuretano, pueden ser adecuadas otras tecnologías de recubrimiento, por ejemplo, polisiloxanos, poliaspárticos, y fluoropolímeros [fluoroetileno/co-polímero éter vinílico (FEVE en sus siglas en inglés)].

NOTA 1 Los productos en base agua no son todavía adecuados para inmersión.

NOTA 2 Las categorías de inmersión consideran únicamente la exposición exterior. Los espacios confinados y los interiores de tanques están fuera del campo de aplicación de este documento (véase la Norma ISO 12944-2).

NOTA 3 Para las abreviaturas véase la tabla A.1.

Fuente: (ISO 12944 Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura protectores, 2017)

4.2.12. INSPECCION

4.2.12.1. Función del inspector de recubrimientos

El término "inspector" se utilizará para indicar un individuo o un grupo de individuos cuyo trabajo es presenciar, informar y documentar el trabajo de recubrimiento de manera formal.

Los inspectores de control de calidad son personal del contratista especialmente capacitado o empleados de un tercero contratado por el contratista o propietario para proporcionar servicios de control de calidad. El personal de control de calidad

(QA) que trabaja para la instalación o la empresa también puede realizar verificaciones puntuales del trabajo o cualquiera o todos los pasos de inspección.

El propósito del inspector es verificar que se cumplan los requisitos de la especificación del recubrimiento. Esto es análogo al de un oficial de policía: el inspector hace cumplir las reglas (especificación) sin excepción, incluso si estas reglas se consideran inadecuadas. Una autorización para desviarse de la especificación es responsabilidad del "juez", generalmente el escritor de la especificación, el administrador del contrato o el ingeniero a cargo del trabajo. El inspector ciertamente puede aventurar una opinión al ingeniero y brindar recomendaciones, pero no puede desviarse unilateralmente de las especificaciones a nivel de trabajo.

Además de hacer cumplir las especificaciones, un inspector de recubrimientos de control de calidad proporciona una documentación completa del proyecto que incluye un comentario sobre el tipo y la idoneidad del equipo en el lugar de trabajo, la tasa de progreso del trabajo, información sobre las condiciones ambientales y los controles, y la verificación de la preparación de la superficie, la aplicación del recubrimiento, el espesor del recubrimiento y el curado son según se requiera. Esto se complementa con cualquier otra información que se considere de importancia para la calidad y el progreso del trabajo. **(SSPC Painting Manual Vol1)**

4.2.12.2. Secuencia de inspección

La inspección a menudo comienza con una reunión previa al trabajo donde se establecen las reglas básicas. El inspector es responsable de atestiguar, verificar, inspeccionar y documentar el trabajo en varios puntos de inspección:

- Inspección de la preparación previa a la superficie
- Medición de las condiciones ambientales y la temperatura superficial
- Evaluación del compresor (limpieza del aire) y equipo de preparación de superficies
- Determinación de la preparación de la superficie (limpieza y perfil)
- Inspección de equipos de aplicación
- Testigo de la mezcla de recubrimientos

- Inspección de técnicas de aplicación de revestimientos
- Determinación del espesor de película húmeda y seca
- Evaluación de la limpieza entre capas
- Pruebas de poros y continuidad
- Prueba de adherencia
- Evaluación de curado

4.2.12.3. Inspección de la preparación previa a la superficie

Antes de la preparación de la superficie u otras actividades de revestimiento, puede ser necesario confirmar que el trabajo está listo para ser preparado y pintado. Los depósitos pesados de grasa, tierra, polvo, suciedad, salpicaduras de cemento y otros contaminantes deben eliminarse, de acuerdo con SSPC-SP 1, para que no se vuelvan a depositar en superficies recién limpiadas. Esto es particularmente importante cuando se utilizan abrasivos reciclados para que el propio abrasivo no se contamine.

La especificación puede requerir que las salpicaduras de soldadura se esmerilen o se eliminen de otra manera y que los bordes afilados se redondeen. Las laminaciones en placas de acero, si se detectan antes de la limpieza con chorro, pueden tener que abrirse y, si son lo suficientemente profundas, podrían requerir relleno con soldadura si se ha producido suficiente deterioro en la estructura, puede ser necesario reemplazar algunos miembros estructurales, "recubrimiento de pescado" u otras reparaciones. La responsabilidad de dicha reparación debe especificarse en los documentos de adquisición.

Aunque este trabajo normalmente no se considera parte del contrato de revestimiento, el inspector debe confirmar que se ha realizado antes del trabajo de preparación y pintura de la superficie. Como preludio a la mayoría de las operaciones de pintura, se utilizan cintas adhesivas y máscaras para proteger las superficies adyacentes que no se pintarán. El comparador visual NACE para el acabado superficial de soldaduras antes del recubrimiento, como se indica en NACE RP 0178, se puede usar para inspeccionar soldaduras traslapadas y a tope, principalmente para sistemas de revestimiento de servicio de inmersión.

Si el trabajo involucra pintura de mantenimiento, puede ser útil determinar el porcentaje de oxidación en un área. Las evaluaciones se pueden realizar de acuerdo con SSPC-Vis 2, Método estándar para evaluar el grado de oxidación en superficies de acero pintadas.

Quizás el mejor método para determinar la compatibilidad del revestimiento es una aplicación de parche de prueba del nuevo revestimiento sobre el antiguo, unos meses o más antes de la producción de pintura. A continuación, se evalúa la adhesión del parche de prueba y se examina en busca de signos de arrugas, levantamiento u otra evidencia de incompatibilidad.

Los detalles sobre las evaluaciones de parches de prueba y recubrimiento se pueden encontrar en SSPC TU 3, Recubrimiento y ASTM D5064, Práctica para realizar una prueba de parche para evaluar la compatibilidad del recubrimiento. **(SSPC Painting Manual Vol1)**

4.2.12.4. Medición de las condiciones ambientales

Está implícito que la preparación de la superficie y el trabajo de recubrimiento se realicen solo en condiciones ambientales adecuadas de temperatura, humedad y punto de rocío. Para la mayoría de los recubrimientos catalizados, se deben cumplir temperaturas mínimas específicas. Muchos recubrimientos inorgánicos ricos en zinc (silicato de etilo) o uretanos de curado por humedad también requieren niveles mínimos de humedad. El inspector debe estar al tanto de los pronósticos del tiempo (particularmente si el trabajo de recubrimiento se va a realizar al aire libre) y las restricciones de temperatura y humedad de los materiales de recubrimiento específicos que se aplican a las superficies.

Se deben tener en cuenta otras condiciones ambientales que podrían afectar las operaciones de pintura, como la posible contaminación industrial o química transportada por el aire, el rocío de agua a favor del viento desde una torre de enfriamiento, las fugas de vapor o líneas químicas y la contaminación de la planta normal u operaciones adyacentes.

Variables de control de condiciones ambientales

- Temperatura Ambiente
- Humedad Relativa
- Velocidad del Viento
- Punto de Rocío
- Contaminantes Atmosféricos

Equipos de control de condiciones ambientales

- Termómetro Magnético
- Termómetro Sonda
- Termo Higrómetro
- Psicrómetro de Honda
- Tablas Psicrométricas

4.2.12.5. Evaluación del equipo de preparación de superficies

Se debe inspeccionar el compresor de aire y otros equipos utilizados para la limpieza a chorro y cualquier herramienta manual o eléctrica. El inspector no necesita tener una gran experiencia técnica en el equipo, pero debe tener la suficiente familiaridad para verificar su idoneidad.

Elementos de verificación en preparación de superficies

- Compresor
- Máquina de soplado
- Manguera de sandblasting
- Manguera de aire
- Boquilla y presión de limpieza
- Abrasivo
- Grados de preparación de superficies

4.2.12.6. Determinación de la limpieza y el perfil de la preparación de la superficie

- **Limpieza**

Todas las superficies deben inspeccionarse después de la preparación de la superficie para garantizar el cumplimiento de la especificación. Las especificaciones de preparación de superficies de SSPC describen la limpieza manual y con herramientas eléctricas, la limpieza con chorro abrasivo, el chorro de agua, etc., incluido el tipo y el porcentaje de residuos que se permite que permanezcan en la superficie. Es importante que esta inspección sea oportuna para evitar la oxidación de las superficies limpiadas antes de aplicar la imprimación. Ver figura 3.

- **Perfil**

El perfil de la superficie, el patrón de anclaje o la rugosidad se definen como la profundidad promedio máxima de pico a valle (o altura de valle a pico) creada durante la preparación de la superficie. Los términos se asocian más comúnmente con la limpieza con chorro abrasivo y son el resultado del impacto del abrasivo sobre el sustrato. Un grado de metal blanco puede tener un perfil de 1, 2, 3 o 4 mil; del mismo modo, un grado comercial puede tener un perfil de 1, 2, 3 o 4 mil. Especificar una cierta limpieza de granallado no dice nada del requisito del perfil.

El perfil de la superficie es importante porque aumenta el área superficial a la que se pueden adherir los revestimientos y proporciona un anclaje mecánico para mejorar la adhesión del revestimiento. Como regla general, los recubrimientos más pesados requieren un perfil de superficie más profundo que los recubrimientos más delgados. Las determinaciones del perfil de superficie generalmente se realizan en el campo o en el taller utilizando uno de tres instrumentos: un comparador de perfil de superficie, un micrómetro de profundidad o una cinta de réplica. Los tres métodos se describen en la norma ASTM D 4417. Ver tabla 6. **(SSPC Painting Manual Vol1)**

- **Estándares y normas de preparación de superficies**

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

2. ISO 8501-2. Limpieza localizada con Chorreado - P Sa
3. SSPC -VIS 1. Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared.
4. SSPC VIS 2. Standard Method of Evaluating Degree of Rusting on Painted.
5. SSPC VIS 3. Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared.
6. SSPC-VIS 4/NACE VIS 7. Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared by Water jetting.
7. SSPC-VIS 5/NACE VIS 9. Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared by Wet Abrasive Blast Cleaning.
8. SSPC SP1. Limpieza con solventes.
9. SSPC SP2. Limpieza con herramienta manual.
10. SSPC SP3. Limpieza con herramienta mecánica.
11. SSPC SP5/NACE No 1. Limpieza grado metal blanco.
12. SSPC SP6/NACE No 3. Limpieza grado comercial.
13. SSPC SP7. Limpieza ligera.
14. SSPC SP10/NACE No 2. Limpieza grado metal casi blanco.
15. SSPC SP11. Limpieza con herramienta mecánica grado metal descubierto.
16. SSPC SP14/NACE No 8. Limpieza industrial a chorro.
17. ASTM D 714. Grado ampollamiento pintura.

4.2.12.7. Aplicación de recubrimiento

La aplicación real del revestimiento es el aspecto más visible del proyecto de pintura y es tan importante como la preparación de la superficie. En consecuencia, el inspector de recubrimientos debe estar familiarizado con varias técnicas de aplicación.

Al rociar con equipo de atomización por aire (convencional o HVLP), la pistola rociadora generalmente debe sostenerse a una distancia de 6 a 10 pulgadas de la superficie y mantenerse perpendicular a la superficie durante todo el recorrido. Para la aplicación sin aire, la distancia debe ser de 12 a 18 pulgadas. Al final de cada

pasada, se debe soltar el gatillo de la pistola. Cada pasada de rociado debe superponerse con la anterior en un 50 % y, cuando sea posible, se debe utilizar una técnica de sombreado cruzado. Esto requiere una serie duplicada de pases de 90° con respecto a la primera serie para garantizar una cobertura completa y uniforme.

En la aplicación con brocha, la brocha debe sumergirse aproximadamente dos tercios de la longitud de sus cerdas en el recubrimiento. Las puntas de las cerdas deben cepillarse ligeramente contra el costado del recipiente para evitar el goteo, manteniendo el cepillo lo más cargado posible. El cepillado es más efectivo que el rociado para trabajar con pintura en irregularidades hundidas, hoyos o hendiduras, y es efectivo para decapar soldaduras y alrededor de remaches, cabezas de pernos y tuercas. Sin embargo, se debe tener cuidado al decapar los bordes para asegurarse de que el revestimiento no quede demasiado delgado y se separe de la superficie.

Además de garantizar una técnica de aplicación adecuada, es necesario tener cuidado adicional al inspeccionar el trabajo de recubrimiento donde hay contaminación atmosférica. A menudo, es necesario lavar con agua entre capas o aplicar la capa de acabado en un intervalo de tiempo mínimo. De lo contrario, los contaminantes que a menudo son invisibles a simple vista pueden recubrirse, lo que reduce la vida útil del recubrimiento o falla prematura del recubrimiento.

4.2.12.8. Determinación del espesor de película húmeda

Las lecturas de espesor de película húmeda se utilizan para ayudar al pintor (y en algunos casos al inspector) a determinar cuánto material aplicar para lograr el espesor de película seca especificado. Los espesores de película húmeda sobre acero y la mayoría de los otros sustratos metálicos se consideran espesores de "guía", siendo el espesor de película seca el espesor de registro. Sin embargo, cuando se recubren sustratos de concreto o no metálicos, el espesor de película húmeda se usa a menudo como el valor aceptado.

Las lecturas de espesor de película húmeda se utilizan para ayudar al pintor (y en algunos casos al inspector) a determinar cuánto material aplicar para lograr el

espesor de película seca especificado. Los espesores de película húmeda sobre acero y la mayoría de los otros sustratos metálicos se consideran espesores de "guía", siendo el espesor de película seca el espesor de registro. Sin embargo, cuando se recubren sustratos de concreto o no metálicos, el espesor de película húmeda se usa a menudo como el valor aceptado.

El calibrador de muesca consta de dos puntos finales en el mismo plano con pasos de muesca progresivamente más profundos en el medio. Cada paso se designa con un número que representa la distancia en milésimas de pulgada (o micras) entre el paso y el plano creado por los dos puntos finales. El instrumento se presiona firmemente en la película húmeda perpendicular al sustrato y se retira. En todos los casos, los dos puntos finales serán humedecidos por el material de revestimiento. Se considera que el espesor de la película húmeda está entre el último paso mojado y el siguiente paso seco superior adyacente. Por ejemplo, si el paso de "3 mil" está mojado y el paso de "4 mil" está seco, el espesor de la película húmeda es de entre 3 y 4 mil. Si ninguno de los pasos o todos los pasos entre los puntos finales están mojados, es necesario cambiar el indicador a una cara diferente, ya que el espesor de la película húmeda está fuera de ese rango en particular.

Al usar este instrumento, es necesario mantenerse alejado de cualquier irregularidad en la superficie que pueda distorsionar las lecturas. Si las determinaciones se realizan en superficies curvas, es importante que el medidor se utilice a lo largo de la curva en lugar de a lo ancho, ya que la curva en sí podría causar un mojado irregular. La galga también debe limpiarse a fondo después de cada uso para garantizar la precisión de las mediciones futuras.

Los medidores de espesor de película húmeda son valiosos solo si el aplicador sabe qué tan pesada es la película húmeda que debe aplicar. La relación espesor de película húmeda/espesor de película seca se basa en el porcentaje de sólidos por volumen del material específico que se está aplicando. **(SSPC Painting Manual Vol1)**

4.2.12.9. Determinación del espesor de película seca

Las lecturas de espesor de película seca en sustratos de acero se obtienen comúnmente de forma no destructiva utilizando medidores magnéticos. Para sustratos metálicos no ferrosos, se utilizan equipos de corriente de Foucault. Calibre los medidores de espesor magnéticos de acuerdo con SSPC-PA 2, Método para medir el espesor de pintura seca con medidores magnéticos. Aunque el estándar está escrito para medidores magnéticos, muchos de los principios de operación y calibración también se aplican a los instrumentos de corriente de Foucault.

Determinar el espesor de cada capa en un sistema multicapa debe ser un "punto de espera" de inspección. Cuando se utilizan medidores magnéticos para medir sistemas multicapa, se debe determinar el promedio de la primera capa antes de aplicar la segunda capa. Las lecturas tomadas después de aplicar la segunda capa obviamente serán el espesor acumulativo de las dos capas combinadas, y el espesor específico de la segunda capa solo se puede determinar restando el espesor promedio obtenido de la lectura de la primera capa.

Las lecturas de espesor se toman para proporcionar una seguridad razonable de que se ha logrado el espesor de película seca especificado o deseado. Sin embargo, no es posible medir cada pulgada cuadrada de la superficie. SSPC-PA 2 establece que cuando se utilizan medidores magnéticos, se deben realizar cinco mediciones puntuales separadas sobre cada 100 pies² de área. Cada medición puntual consta de un promedio de tres lecturas del espesor una al lado de la otra. El promedio de las cinco mediciones puntuales debe estar dentro del espesor especificado, mientras que se permite que las mediciones puntuales (promedio de tres lecturas medidas), Si la especificación habla de un valor único y no de un rango, y el proveedor tampoco recomienda un rango, el espesor debe estar dentro del siguiente rango $\pm 20\%$ (es decir, no deben ser inferiores al 80 % del espesor especificado). espesor mínimo, ni superior al 120% del espesor máximo especificado para cada capa). **(SSPC Painting Manual Vol1)**

4.2.12.10. Ensayo de adherencia

Existe la necesidad de probar la adhesión del recubrimiento después de la aplicación. En la metalización por rociado con llama y por arco eléctrico, las pruebas de adhesión son comunes. Los diferentes tipos de métodos de prueba de adhesión utilizados van desde una simple navaja hasta unidades de prueba más elaboradas. Una navaja generalmente requiere una evaluación subjetiva de la adherencia del recubrimiento basada en alguna experiencia previa. Generalmente, se corta el revestimiento y se prueba con la hoja de un cuchillo, tratando de levantarlo de la superficie para determinar si la adhesión es adecuada o no. ASTM D 6677 describe este método con una escala de clasificación.

También hay instrumentos disponibles para probar la fuerza de adhesión a la tracción (arranque) de los recubrimientos. Aplican un valor a la fuerza de adhesión en libras por pulgada cuadrada (psi), kilopascales (kPA) o megapascales (mPA), eliminando así algo de la subjetividad de las otras pruebas. Los instrumentos para las pruebas de tracción incluyen probadores de adherencia mecánicos, neumáticos e hidráulicos. Los kits de prueba de adherencia a la tracción constan de la propia unidad de prueba y tiradores de aluminio o acero inoxidable. Los cabos de extracción se pegan a la superficie del revestimiento con adhesivo. Una vez que el adhesivo se ha curado, el instrumento de prueba se conecta al cabo de extracción. Aplica una fuerza de tracción en el tocón, rompiéndolo finalmente de la superficie. El punto de ruptura se lee en la escala del instrumento y luego se convierte a psi, kPA o mPA. Este método se describe en la norma ASTM D 4541. **(SSPC Painting Manual Vol1)**

ASTM D4541 – Ver tabla 29.

- Evaluación adherencia recubrimientos por el método de tracción (pull off).
- Naturaleza de la falla cohesiva o adhesiva.
- Límite de esfuerzo 150 psi/s.
- Lijado (grano 400) o ablandar con solvente.
- Remover excesos de pegante
- Corte circunferencial alrededor dado es opcional (registrar).

- Superficie plana en cualquier orientación.
- Áreas donde quepan Tres (3) pruebas de verificación como mínimo.
- Registrar aproximaciones a espesor sustrato.
- Adhesivo – no hay limitaciones.
- Registrar HR, Temperatura y Hora de la prueba.

Tabla 29. Resumen de datos redondos (Summary of Round-robin Data).

TABLE X1.1 Summary of Round-robin Data

Instrument	Type I	Type II	Type III	Type IV
Paint Sample	Mean of Three Results, psi (outliers discarded)			
A	201	586	1185	1160
B	185	674	1157	1099
C	190	827	1245	1333
D	297	888	1686	1678
	Range of Mean Results, psi			
	112	302	529	579

Fuente: (ASTM D4541)

4.2.12.11. Detección de agujeros de alfiler - Holiday

Después de que se hayan aplicado todas las capas de pintura, el inspector debe verificar que se haya realizado la limpieza adecuada y que se hayan reparado las abrasiones, muescas o raspaduras. A menudo, se utilizan pruebas de holiday, agujeros de alfiler o chispas para encontrar mellas, raspaduras y agujeros de alfiler en la película de recubrimiento, especialmente si el recubrimiento está diseñado para servicio de inmersión. Un "Holiday" es un área salteada o perdida en la estructura. Es posible que se requieran pruebas de holiday después de la aplicación de la penúltima o la última capa de pintura. Sin embargo, cuando se realiza entre capas, existe el riesgo de que se propague la contaminación que podría influir en el rendimiento de la capa aplicada posteriormente. Por lo general, cuando se especifican tales pruebas, se realizan antes de que haya ocurrido el curado final para que cualquier reparación se une con éxito a la capa subyacente. **(SSPC Painting Manual Vol1)**

ASTM D5162 – Ver tabla 30.

- Evaluación discontinuidad de películas no metálicas sobre superficies metálicas.
- Método A- Bajo Voltaje.
- Método B- Alto Voltaje.
- Discontinuidad: pequeño defecto, rayado, punto, inclusión, o contaminación que reduzca la fortaleza dieléctrica del recubrimiento.
- Método Esponja Húmeda EPS<20mils.
- Método Alto Voltaje EPS > 20 mils.
- ½ fl oz por galón de agua –máximo.
- Eliminar residuos antes de reparar.
- No usar NaCl.
- Velocidad 0.3 m/s – doble pase afirmando.

Tabla 30. Voltajes sugeridos para pruebas de chispas de alto voltaje (Suggested Voltages for high Voltage Spark Testing).

Total Dry Film Thickness		Suggested Inspection, V
mils	mm	
8–12	0.20–0.31	1 500
13–18	0.32–0.46	2 000
19–30	0.47–0.77	2 500
31–40	0.78–1.03	4 000
41–60	1.04–1.54	5 000
61–80	1.55–2.04	7 500
81–100	2.05–2.55	10 000
101–125	2.56–3.19	12 000
126–160	3.20–4.07	15 000
161–200	4.08–5.09	20 000
201–250	5.10–6.35	25 000

Fuente: (ASTM D5162)

5. MARCO METODOLÓGICO.

5.1. Enfoque metodológico.

La presente monografía se ha desarrollado de acuerdo a un enfoque cualitativo, ya que se basa en el análisis y recopilación de información técnica como soporte para obtener un procedimiento genérico que guie al personal técnico en la evaluación, rehabilitación y controles de calidad de los recubrimientos en tanques de estaciones de producción de hidrocarburos.

5.1.1. Contexto.

Esta monografía ha reunido información de inspecciones de tanques de producción de hidrocarburos en dos estaciones y dos departamentos diferentes de Colombia, en los cuales se pueden identificar los datos e información previa a cualquier inspección adicional y a la rehabilitación de los recubrimientos, esta información ha sido el preliminar para identificar los defectos, determinar posibles soluciones y la ejecución de labores de obra.

Los informes de inspección en el momento que un tanque es sacado de servicio para mantenimiento general, provee datos muy cortos en los cuales no es preciso identificar todo el problema, las causas y determinar un alcance completo de la rehabilitación de recubrimientos, siendo esta la razón principal para recopilar la información teórica disponible y plantear un procedimiento genérico que sirva como guía en análisis previo, ensayos de evaluación del recubrimiento actual, análisis de las variables del proceso y clasificación de ambientes para obtener el paso a paso con las posibilidades de dar las recomendaciones adecuadas para cada caso en los mantenimientos, ejecutarlos y poner de nuevo en servicio el activo.

5.2. Análisis de informes de inspección previos a mantenimiento

5.2.1. Verificación de datos y análisis en tanque del departamento del Tolima, Colombia.

5.2.1.1. Comentarios y datos de informe de inspección.

En las tablas 31, 32 y 33, se encuentra registrada la información general del tanque e inspección visual, previa a realizar cualquier método o técnica de ensayo.

Tabla 31. Datos generales informe de inspección de tanque en el departamento del Tolima, Colombia.

INFORMACIÓN GENERAL	
Tipo de tanque - Servicio	Almacenamiento @ presión atmosférica
TAG / No. Serie	Vertical K-201
Último mantenimiento	Información desconocida
Último Aforo / Norma	Julio 04 de 2017 / API MPMS Capítulo 2, Sección 2A y 2B
Localización	Tolima
Año de Construcción	Marzo, 2011 por PERT DPM S.A.
DIMENSIONES	
Capacidad Nominal (Bbbs)	4545,53
Altura Nominal (Pies)	Información desconocida
Diámetro Nominal (mts / ft)	9,141 / 29,99
Altura Máxima de Servicio	Información desconocida
Altura de Referencia (mts)	12,522
Presión de Diseño	Atmosférica
Numero Anillos en Cuerpo	6
Temperatura de Diseño (°F)	600
Código de Construcción	API STANDARD 650
TECHO	
Clase de Techo	Fijo simple
Especificación del Material	ASTM A283 Gr-C
Espesor Nominal	0,313 in (5/16 in)
Recubrimiento Interno (Si/No)	Si
CUERPO	
Altura / Espesor Nominal Anillo 1	0,375 in (3/8 in)
Altura / Espesor Nominal Anillo 2	0,375 in (3/8 in)
Altura / Espesor Nominal Anillo 3	0,375 in (3/8 in)
Altura / Espesor Nominal Anillo 4	0,25 in (1/4 in)
Altura / Espesor Nominal Anillo 5	0,25 in (1/4 in)
Altura / Espesor Nominal Anillo 6	0,25 in (1/4 in)
Recubrimiento Interno (Si/No)	Si
Especificación del Material	ASTM A283 Gr-C
FONDO	
Tipo de Fondo	Información desconocida
Espesor nominal	0,313 in (5/16 in)
Anillo perimetral	Si
Recubrimiento Interno (Si/No)	Si
Especificación del Material	ASTM A283 Gr-C
Ancho Anillo perimetral	Información desconocida
Espesor del anillo perimetral	Información desconocida
OPERACIÓN	
Producto Almacenado	Crudo
Temperatura (°F)	60
API Crudo (°)	29,5 @ 60°F
Tanque Anclado	Si
Flujo de Entrada	
Flujo de Salida	
FUNDACIÓN	
Tipo de Fundación	Anillo de Concreto
Altura Base de Concreto	Información desconocida
Sistema de Detección de Fugas	No tiene

Tabla 32. Comentarios de inspección visual realizada a tanque en el departamento del Tolima, Colombia.

FUNDACIÓN, AREA CIRCUNDANTE	SI	NO	B	R	M	OBSERVACIONES
Presencia de fenómenos de calcinamiento y/o sulfatación		X				* Se evidencia principalmente sobre la fundación mecanismos localizados de humedad o por acumulación de agua que No afectan seriamente la resistencia de la fundación del concreto-estructura, sin embargo éstas zonas podrían saturarse y llegar a ser puntos de acceso potencial de agua y eventualmente resultar en el deterioro del concreto y del acero de refuerzo.
Deterioro del concreto por exposición a ambientes húmedos o acumulación de agua por fallas en el sistema de drenaje		X		X		
Presencia de expansión de zonas húmedas, zonas porosas y grietas		X				* No existe sellante entre las superficies del fondo externo del tanque (pestaña) y fundación de concreto, lo que genera una falla de hermeticidad y el ingreso de aguas lluvias o humedad bajo la superficie externa del fondo del tanque. Por tanto la parte externa del fondo se verá afectada directamente por la acción de contacto con un tipo de suelo electrolítico, de la saturación de humedad que pueda penetrar y la presencia de cuerpos extraños que generen Biocorrosión.
Presencia de grietas por cambios de temperatura (grietas de ancho uniforme)		X				
Toma a tierra	X		X			
CUERPO TANQUE	SI	NO	B	R	M	OBSERVACIONES
Recubrimiento exterior	X			X		* Capa de oxido sobre la superficie como subproductos de procesos de corrosión, debido a trabajos de soldadura y reparaciones (inserción de válvulas de muestreo adicionales) (1er, 2do y 3er anillo del cuerpo del tanque)
Defectos del sistema de recubrimiento	X			X		* Procesos de unión y soldadura sin finalizar * Sistema de recubrimiento en áreas adyacentes a la inserción de válvulas de muestreo (recubrimiento de reparación por trabajos de soldadura), diferente al sistema de recubrimiento de diseño y fabricación del tanque (recubrimiento inicial)
Falla del recubrimiento por desprendimiento y daño mecánico	X			X		* Deterioro localizado del sistema de recubrimiento en áreas adyacentes a la inserción de válvulas de muestreo (cambios de tonalidad del sistema de recubrimiento inicial), por la aportación directa de calor de los trabajos de soldadura
Placa de identificación	X					
Fugas		X				
Corrosión en Laminas	X			X		
Fallas en soldaduras		X				
Deformaciones		X				
Aislación	X					
Pasa Hombres / Puerta de Limpieza	X		X			Herrumbre (corrosión atmosférica) formado sobre la superficie de los hilos de pernos/espárragos y tuercas como accesorios de conexión de la tapas del Pasa Hombres y Puerta de Limpieza
BOQUILLAS (CONEXIONES)	SI	NO	B	R	M	OBSERVACIONES
Recubrimiento exterior	X		X			
Defectos del sistema de recubrimiento		X				
Fugas		X				
Corrosión	X					La tubería (pierna de agua) requiere cambio y/o reparación por presentar mecanismos de corrosión externa severa y deterioro mecánico
Fallas en soldaduras		X				
Fallas en roscas		X				
Deformaciones		X				
Fallas/Fugas en Bridas		X				
Espárragos	X		X			Herrumbre (corrosión atmosférica) formado sobre la superficie de las válvulas e hilos de pernos/espárragos como accesorios de conexión del tanque
Aislación		X				
ACCESO	SI	NO	B	R	M	OBSERVACIONES
Escalera (Fija - Helicoidal)	X		X			La Escalera helicoidal del tanque se encuentra en buen estado metalmecánico, sin elementos sueltos, pero se encontró fallas en el recubrimiento en áreas como plataforma y en algunas zonas de pasamanos

Fuente: Recopilación del autor.

En esta inspección realizada por empresas dedicadas a este tipo actividades, se identifican los siguientes comentarios que demuestran los defectos y estado de los recubrimientos de manera visual:

- ✓ Capa de oxido sobre la superficie como subproductos de procesos de corrosión, debido a trabajos de soldadura y reparaciones (inserción de válvulas de muestreo adicionales) (1er, 2do y 3er anillo del cuerpo del tanque).
- ✓ Sistema de recubrimiento en áreas adyacentes a la inserción de válvulas de muestreo (recubrimiento de reparación por trabajos de soldadura), diferente

al sistema de recubrimiento de diseño y fabricación del tanque (recubrimiento inicial).

- ✓ Deterioro localizado del sistema de recubrimiento en áreas adyacentes a la inserción de válvulas de muestreo (cambios de tonalidad del sistema de recubrimiento inicial), por la aportación directa de calor de los trabajos de soldadura.
- ✓ Herrumbre (corrosión atmosférica) formado sobre la superficie de los hilos de pernos/espárragos y tuercas como accesorios de conexión de las tapas del Pasa Hombres y Puerta de Limpieza.
- ✓ Herrumbre (corrosión atmosférica) formado sobre la superficie de las válvulas e hilos de pernos/espárragos como accesorios de conexión del tanque.
- ✓ La Escalera helicoidal del tanque se encuentra en buen estado metalmecánico, sin elementos sueltos, pero se encontró fallas en el recubrimiento en áreas como plataforma y en algunas zonas de pasamanos.

De acuerdo a las anteriores notas de inspección, no es posible determinar con exactitud una valoración y evaluación de las causas, defectos y posibles reparaciones de los recubrimientos, mucho menos un área definida para realizar un mantenimiento adecuado y rehabilitar de manera parcial o general el tanque de hidrocarburos, por consiguiente es necesario definir y realizar unos ensayos para establecer los datos necesarios del estado del recubrimiento, con los cuales se podrá determinar la cantidad de reparaciones, posibles causas de los daños, posibles soluciones y trazabilidad documentada como aseguramiento y control del mantenimiento del tanque.

Tabla 33. Valoración general de inspección visual del tanque en el departamento del Tolima, Colombia.

VALORACIÓN GENERAL
1. El sistema de recubrimiento del tanque No presenta deterioro aparente a excepción de las áreas adyacentes donde se instalaron las válvulas de muestreo adicionales al diseño, en donde se detectó un recubrimiento de reparación diferente al sistema de recubrimiento de diseño o inicial y cambios de tonalidad del recubrimiento inicial por el aporte directo de calor de los trabajos de soldadura y reparación
2. Para poder establecer si los espesores de película seca actuales sobre el área externa del cuerpo del tanque y específicamente sobre las laminas del 2do, 3er y 4to anillo, presentan un nivel óptimo de protección ó su espesor proporciona una barrera para evitar la corrosión atmosférica, se debe realizar una prueba complementaria de nivel de adherencia del sistema de recubrimiento y así descartar que se pueda presentar la exposición del sustrato metálico.
3. No se identificó pérdidas de espesor puntual o desgaste aparente localizado en las Laminas 1 @ 5 del cuerpo del 1er anillo del Tanque K-201, siendo el espesor mínimo medido de 0,359 in y máximo de 0,381 in . De acuerdo con API STD 650 espesor nominal de las láminas del cuerpo debe ser mínimo de 5 mm (0,1875 in) incluyendo la tolerancia por corrosión para un tanque con diámetro < 50 ft, relación que se cumple dado que el valor mínimo promedio encontrado fue de 0,359 in
4. Para poder realizar una evaluación de los valores de espesor medidos (porcentaje de pérdida sobre el área inspeccionada) y un análisis de Valoración de condición y servicio de acuerdo a API 653 Sección 4 y 6, se requiere de información específica de construcción y diseño del tanque tal y como espesores nominales, tolerancia a la corrosión e inspecciones previas del cuerpo y del fondo.
5. Se debe finalizar los trabajos de soldadura y reparación de las válvulas de muestreo adicional al diseño inicial del tanque, exigiendo al contratista pruebas que garanticen el sello y la hermeticidad de las uniones y soldaduras. Conjuntamente exigir, reparar el sistema de recubrimiento de las áreas adyacentes a las soldaduras, en donde se detectó un recubrimiento de reparación diferente al sistema de recubrimiento de diseño o inicial y cambios de tonalidad del recubrimiento inicial por el aporte directo de calor de los trabajos de soldadura. El producto de repinte debe ser compatible con el esquema inicial.
6. Reemplazar y/o reparar la tubería descarga de agua (pierna de agua) por presentar mecanismos de corrosión externa severa y deterioro mecánico. Actualmente presenta una reparación mecánica subestandar, mediante la instalación de una Grapa.
RECOMENDACIONES DE ACCIÓN PREVENTIVA
1. En el próximo mantenimiento y limpieza del tanque, realizar una inspección interna de acuerdo con API STD 653.
2. Como el historial de servicio, información de construcción, espesores nominales, tolerancias e inspecciones previas internas o externas es desconocido, se recomienda realizar la próxima inspección en servicio en un tiempo No mayor a 18 meses bajo las mismas condiciones. De ésta forma, sería posible realizar un análisis Vida remanente de acuerdo con API 653 Sección 6 y establecer una línea base.
3. Aplicar una capa de sellante entre las superficies del fondo externo del tanque (pestaña) y fundación de concreto, para evitar el drenaje, acumulamiento y depositación de aguas lluvias al interior de la interfase Fondo – Fundación o Cimentación.
4. Realizar una verificación topográfica del asentamiento (nivelación y aforo) y verticalidad completa del tanque de acuerdo a los lineamientos establecidos por API 653 y verificando los límites de rechazo.
5. Realizar una verificación de la redondez completa y/o posibles zonas pandeadas del tanque de acuerdo a los lineamientos establecidos por API 653 y verificando los límites de rechazo y distorsiones en el cuerpo.

Fuente: Recopilación del autor.

En la valoración general y tabla de comentarios de inspección el informe especifica lo siguiente:

- ✓ El sistema de recubrimiento del tanque No presenta deterioro aparente a excepción de las áreas adyacentes donde se instalaron las válvulas de muestreo adicionales al diseño, en donde se detectó un recubrimiento de reparación diferente al sistema de recubrimiento de diseño o inicial y cambios de tonalidad del recubrimiento inicial por el aporte directo de calor de los trabajos de soldadura y reparación.
- ✓ Para poder establecer si los espesores de película seca actuales sobre el área externa del cuerpo del tanque y específicamente sobre las láminas del 2do, 3er y 4to anillo, presentan un nivel óptimo de protección o su espesor proporciona una barrera para evitar la corrosión atmosférica, se debe realizar una prueba complementaria de nivel de adherencia del sistema de recubrimiento y así descartar que se pueda presentar la exposición del sustrato metálico.

- ✓ Se debe finalizar los trabajos de soldadura y reparación de las válvulas de muestreo adicional al diseño inicial del tanque, exigiendo al contratista pruebas que garanticen el sello y la hermeticidad de las uniones y soldaduras. Conjuntamente exigir, reparar el sistema de recubrimiento de las áreas adyacentes a las soldaduras, en donde se detectó un recubrimiento de reparación diferente al sistema de recubrimiento de diseño o inicial y cambios de tonalidad del recubrimiento inicial por el aporte directo de calor de los trabajos de soldadura. El producto de repinte debe ser compatible con el esquema inicial.
- ✓ Reemplazar y/o reparar la tubería descarga de agua (pierna de agua) por presentar mecanismos de corrosión externa severa y deterioro mecánico. Actualmente presenta una reparación mecánica subestándar, mediante la instalación de una Grapa.

En los comentarios de la valoración general, la empresa de inspección determina que no se evidencia un deterioro aparente en las zonas adyacentes a las válvulas de tipo toma muestra, sin embargo, el defecto o mecanismo de daño real está recubierto por un producto adhesivo epoxico para taponar la pérdida de integridad que en algún momento presentó el tanque en esos puntos; con el objetivo de hacer reparaciones del recubrimiento, se debe realizar una buena limpieza para inspeccionar el metal y las condiciones generales de recubrimiento externo.

Para realizar un análisis y evaluación completa del estado del recubrimiento se debe realizar una serie de ensayos a los recubrimientos y determinar los defectos, fallas en la adherencia, verificar la clasificación de ambiente donde se encuentra construido el tanque y teniendo en cuenta los resultados de estos controles, buscar los recubrimientos que puedan garantizar una vida útil adecuada hasta el próximo mantenimiento.

En conclusión, de manera general para el análisis del informe de inspección realizado a este tanque del departamento del Tolima, no identifica las fallas del recubrimiento, defectos ni cantidades del deterioro, y por esta razón se debe realizar una evaluación completa en los recubrimientos al 100% del tanque en el área

externa e interna, posterior a ese análisis aplicar los fundamentos teóricos de esta monografía y obtener los parámetros de rehabilitación de los recubrimientos.

5.2.1.2. Registro Fotográfico estado de recubrimientos. Ver figuras 8, 9 y 10.

Figura 8. Tk Tolima, Área general externa.



Figura 9. Tk Tolima, Tuberías externas.

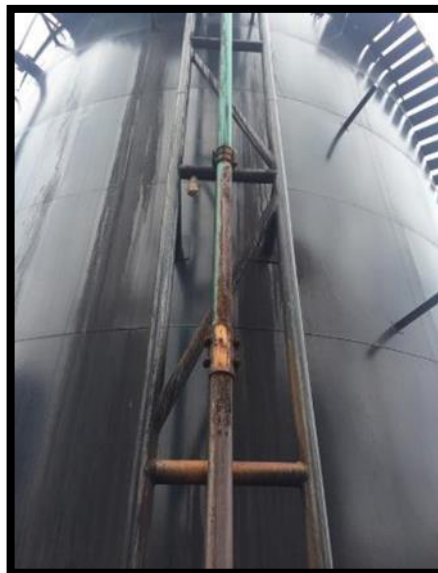


Figura 10. Tk Tolima, Área interna.



5.2.2. Verificación de datos y análisis en tanque del departamento de Bolívar, Colombia.

5.2.2.1. Comentarios y datos de informe de inspección.

En la tabla 34, se encuentra registrada la información general del tanque e inspección visual, previa a realizar cualquier método o técnica de ensayo.

Tabla 34. Datos generales informe de inspección de tanque en el departamento de Bolívar, Colombia

TANQUE	TK-5000
Ubicación	Depto. Bolívar
Fecha Inspección	Noviembre 17 de 2019
Constructor	Desconocido
Año de Construcción	Desconocido
Cambio de fondo	Desconocido
Código de Construcción	Desconocido
Diámetro Nominal (Ft)	40
Altura Nominal (Ft)	24
Altura de llenado (Ft)	23
Capacidad (Bls)	5000
Construcción del cuerpo	Soldado
Techo Tipo	Cónico fijo con columna central
Fundación	Anillo de concreto
Producto	Crudo pesado
Gravedad Especifica	0,92
Especificación de la lámina	Desconocido

En esta inspección realizada por empresas dedicadas a este tipo actividades, se identifican los siguientes comentarios que demuestran los defectos y estado de los recubrimientos de manera visual:

Área Externa:

- ✓ En la inspección realizada a la proyección del fondo del tanque (pestaña), se evidenciaron procesos de corrosión localizados, producidos por deterioro del recubrimiento de protección los cuales actualmente están afectando en forma localizada la pestaña del tanque y unión cuerpo fondo, que presenta corrosión activa en aproximadamente 1m.
- ✓ El cuerpo del tanque se encuentra conformado por 4 anillos, con láminas de 6 pies de altura. En general no se evidenciaron procesos corrosivos en las láminas ni en sus juntas a tope verticales ni horizontales.
- ✓ En general el recubrimiento externo del cuerpo presenta entizamiento debido al tiempo de servicio y pequeñas zonas con decoloración, pero aun protege adecuadamente las láminas del tanque.
- ✓ La plataforma superior de acceso al techo presenta corrosión severa generalizada en la cara superior y su estructura soporte también presenta corrosión y fue soldada directamente al cuerpo del tanque.
- ✓ Se Observó deterioro del recubrimiento de la tubería y cámara de espuma y de la tubería de agua contra incendios en lado externo.
- ✓ El recubrimiento epóxico en la cara exterior del cuerpo se encuentra en buenas condiciones, solo fallas menores (adelgazado por entizamiento) se evidenciaron en su superficie.
- ✓ Externamente se recomienda la pintura en el 100% del área del tanque preparación de superficie metal Casi Blanco Grado SSPC-SP10 y la aplicación del esquema epóxico de recubrimiento de acuerdo con la especificación técnica del cliente para protección de tanques atmosféricos de almacenamiento de Hidrocarburos. Ver figuras 11, 12, 13 y 14.

Área Interna:

- ✓ Durante la inspección visual interior del fondo del tanque se encontró que por lo general el recubrimiento interno protege adecuadamente las láminas de fondo, pero en todas las zonas donde se encontraban soldados los ánodos de sacrificio, se presentaron zonas puntuales con grandes pérdidas y/o pasantes para los cuales es necesaria la instalación de parches soldados.
- ✓ En la lámina 20 del fondo en la zona crítica en la esquina del baffle interno se presenta agujero pasante para el cual se requiere la instalación de parche.
- ✓ En el cuerpo entre los anillos 1 y 2 se observó zona con corrosión y pérdidas críticas que requiere la instalación de parche.
- ✓ En los sitios del fondo donde descansaban los soportes de tuberías internas de calentamiento se presenta corrosión con pérdidas superiores al espesor crítico, uno de ellos con agujero pasante. Se requiere la instalación de parches.
- ✓ La inspección visual del fondo mostró que el recubrimiento aun protege adecuadamente al fondo, sin embargo, se observó que por lo general existe ampollamiento debido presumiblemente a fallas durante su aplicación.
- ✓ La cara interna de las láminas del cuerpo presenta recubrimiento epóxico; la inspección visual solo pudo realizarse en el primer anillo de la cual se recomendó la instalación del parche; por limitaciones de la limpieza en los anillos 2, 3, se observan sedimentos que impidieron verificar la continuidad del recubrimiento; desde nivel de piso se pudo observar que el anillo 4 presenta buen estado mecánico y su recubrimiento presenta manchas de óxido provenientes de la junta frangible del techo.
- ✓ Se recomienda la pintura interna en el 100% de la superficie del tanque con preparación de superficie Grado metal Blanco grado SSPC-SP5 y aplicación del esquema de epóxico de recubrimiento de acuerdo con la especificación técnica del cliente para protección de tanques de almacenamiento de Hidrocarburos. Ver figuras 15, 16, 17 y 18. **(2020)**

5.2.2.2. Registro fotográfico estado de recubrimientos.

Figura 11. Tk Bolívar. Área general externa.



Figura 12. Tk Bolívar. Estructuras y escaleras.



Figura 13. Tk Bolívar. Tuberías y conexiones.



Figura 14. Tk. Bolívar. Pestaña y tubería externa.



Figura 15. Tk. Bolívar. Área interna – laminas cuerpo.



Figura 16. Tk Bolívar. Área interna - columna central.



Figura 17. Tk Bolívar. Área interna – sumidero.



Figura 18. Tk Bolívar. Área interna – laminas del fondo.



Fuente: Recopilación del autor.

5.3. Aplicación de criterios para rehabilitar recubrimientos en mantenimiento.

Conforme a los comentarios de las inspecciones realizadas a los tanques descritos en la sección anterior, se evidencia que solo de manera visual se determinaron posibles defectos, y no se realizó un diagnóstico completo del estado de los recubrimientos, por esta razón se plantea una serie de pasos e inspecciones que permitan tener una valoración con datos, cantidades y los diferentes mecanismos de daño que afectan la protección del metal con recubrimientos, de acuerdo a las normas nacionales e internacionales dispuestas para esta aplicaciones.

- 1- Realizar mediciones de condiciones del ambiente, y tener datos de temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento, punto de rocío y contaminantes atmosféricos.
- 2- En la inspección visual, determinar el grado de oxidación y clasificarlo de acuerdo a los estándares ISO 8501-1 y SSPC-Vis 2.
- 3- Evaluar la condición del acero y el diseño de los componentes del tanque, con el fin de corregir fallas en soldaduras, redondear cantos vivos de la estructura y otros que requieran mejorar la superficie a recubrir, aplicar el estándar SSPC-PA Guide 11.
- 4- Realizar y registrar datos de medición de espesores del recubrimiento actual y generar un esquema de las mediciones realizadas, con el fin de tener un panorama general del espesor inicial aplicado al tanque, de acuerdo a SSPC-PA2.
- 5- Realizar y registrar los datos del ensayo de adherencia de acuerdo a ASTM D 3359, ASTM D 4541, NTC3951, con el propósito de determinar la fuerza adhesión del recubrimiento con el sustrato.
- 6- Realizar inspección y registro del grado de ampollamiento del recubrimiento de acuerdo a ASTM D714.
- 7- Realizar la clasificación de ambientes del área geográfica donde se encuentra ubicado el tanque de acuerdo a norma ISO 9223 y 12944.
- 8- Preparar la especificación técnica para un trabajo de mantenimiento y rehabilitación de recubrimientos en acero pintado, de acuerdo a norma ISO 12944-8. Ver tabla 35.

Tabla 35. Contenidos de una especificación de inspección y evaluación. Norma ISO 12944-8.

Tabla 4 – Contenidos de una especificación de inspección y evaluación

No.	Apartado principal/Subapartado ^a	Comentarios
4.1	INFORMACIÓN GENERAL	
4.1.1	Nombre del proyecto	
4.1.2	Nombre del cliente	
4.1.3	Nombre del especificador	Indicar organización y persona.
4.2	INSPECTORES	
4.2.1	Listado de inspectores y entidades de inspección	Se debe proporcionar una lista de nombres y direcciones de inspectores tanto externos como del cliente, junto con sus tareas y responsabilidades. La lista se puede limitar a un único nombre.
4.2.2	Métodos de inspección	Véase el apartado 1.11.4 de la tabla 1.
4.2.3	Procedimiento para tratar las variaciones de las especificaciones	Véanse los apartados 1.14.1 y 1.14.2 de la tabla 1.
4.3	CONTROL DE CALIDAD Y ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	
4.3.1	Cualificación de inspectores	
4.3.2	Inspección, calidad de la inspección y registro de los resultados de la inspección	Véase apartados 4.3.7 y 4.3.8 de esta tabla.
4.3.3	Inspección por organismos internos	
4.3.4	Inspección por organismos externos (por ejemplo, independientes)	
4.3.5	Aseguramiento de la calidad y plan de inspecciones	El plan de inspecciones debe describir las tareas de inspección y el alcance de la inspección. El alcance de la inspección debe ser proporcional al tamaño y al tipo de proyecto, la estructura o el elemento constituyente. Se debe tener también en cuenta la severidad de las tensiones de corrosión que padece.
4.3.6	Etapas de inspección	Se deben describir los detalles de las etapas de inspección, si existen.
4.3.7	Área(s) de referencia y responsabilidad para guardar registros sobre área(s) de referencia	Véase el apartado 1.12 de la tabla 1, el anexo B y los apartados 4.3.2 y 4.3.8 de esta tabla.
4.3.8	Requisitos relativos al registro del control de calidad y del aseguramiento de la calidad	Los registros del control calidad y de aseguramiento de la calidad deberían restringirse normalmente a los trabajos de preparación superficial, información general de los materiales de pintura utilizados, aplicación de los materiales de pintura, condiciones ambientales durante el trabajo y resultados de las mediciones. Se deben nombrar personas encargadas de la custodia de dichos registros entre las varias partes del trabajo. Véanse los anexos I y J.
4.3.9	Distribución de los registros	Se deben incluir el emisor y el remitente de los registros.
^a Estos apartados son recomendados. Sin embargo, si un subapartado particular se incluye en la especificación, se deben seguir las instrucciones indicadas en la columna de Comentarios.		

6. ESPECIFICACIÓN TÉCNICA PARA RECUBRIMIENTOS

En el diseño de la especificación técnica se deben tener en cuenta el siguiente contenido ya sea para un trabajo nuevo o de mantenimiento, que, de acuerdo al análisis previo de los datos de operación, clasificación de ambientes, permitan analizar las variables y permitan elegir el sistema protector más adecuado, en donde se deberían considerar los siguientes parámetros: Ver Tabla 36.

- durabilidad necesaria;
- condiciones medioambientales y tensiones especiales;
- preparación superficial;
- diferentes tipos genéricos de pintura;
- número y tipos de capas [capa(s) de imprimación, capa(s) intermedia(s), y capa(s) de acabado];
- métodos de aplicación y requisitos de aplicación;
- lugar de aplicación (taller o in situ);
- requisitos en relación al (futuro) mantenimiento (si hay alguno);
- requisitos de seguridad e higiene;
- requisitos de protección ambiental.

Para el caso de un trabajo de mantenimiento en la especificación se debe definir o tomar una decisión para elegir entre:

- reparación;
- renovación parcial; o
- renovación completa.

Tabla 36. Formato sugerido o guía de la norma ISO 12944-8.

Anexo G (Informativo)

Formulario recomendado para una especificación de sistema de pintura protector. Mantenimiento

Este formulario se completa para cada elemento constituyente de la estructura.

Proyecto:

Nombre del propietario:

Proyecto:	Sistema de pintura protector:
Localización:	Nº de sistema de pintura ISO 12944-5:
Elemento constituyente:	Ambiente:
Nº de dibujo/área:	Durabilidad requerida:
Posición nº:	Hoja nº:

APLICACIÓN DE TALLER				
GRADO DE PREPARACIÓN SUPERFICIAL (por ejemplo, conforme a las Normas ISO 8501-2 y/o ISO 8501-4):				
Fabricante de pintura: Área:.....m²				
CONDICIÓN DEL SUSTRATO				
(Véase el anexo J, C: Evaluación de la condición del sistema de pintura protector)				
SISTEMA DE PINTURA PROTECTOR	Espesor de película nominal µm	Intervalo de repintado		Tiempo de secado a ...°C h
		Mínimo h	Máximo h	
1ª Capa				
2ª Capa				
3ª Capa				
4ª Capa				
TOTAL				

APLICACIÓN <i>IN SITU</i>				
GRADO DE PREPARACIÓN SUPERFICIAL (por ejemplo, conforme a la Norma ISO 8501-2 y/o ISO 8501-4):				
Retoque:				
Completo:				
Fabricante de pintura: Área:.....m²				
SISTEMA DE PINTURA PROTECTOR	Espesor de película nominal µm	Intervalo de repintado		Tiempo de secado a ...°C h
		Mínimo h	Máximo h	
Retoque				
1ª Capa				
2ª Capa				
Completo:				
1ª Capa				
2ª Capa				
3ª Capa				
4ª Capa				
TOTAL				

7. PROCEDIMIENTO DE EVALUACION Y REHABILITACION DE RECUBRIMIENTOS EN MANTENIMIENTO DE TANQUES.

7.1. OBJETIVO.

Definir las actividades y condiciones necesarias para realizar la evaluación y rehabilitación de recubrimientos en el MANTENIMIENTO DEL TANQUE (TAG-XXXXXX), de tal forma que se garantice el cumplimiento de las especificaciones técnicas suministradas por el cliente, los estándares de calidad y las normas de seguridad establecidas, actividad dentro del campo (XXXXXXXXXX).

7.2. ALCANCE.

Lo establecido en el presente procedimiento de trabajo aplica PARA TODAS LAS ACTIVIDADES DE REPARACION IDENTIFICADAS EN LA INSPECCION Y ENSAYOS REALIZADOS AL TANQUE (TAG-XXXXXX), dentro del objeto del contrato (XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX).

7.3. DEFINICIONES.

- **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.
- **Daño de corrosión:** Efecto de corrosión que se considera un detrimento para la función del metal, el ambiente o el 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 recubrimiento protector:** Suma total de las capas de materiales metálicos y/o pinturas o productos afines que se han aplicado o que se han de aplicar a un sustrato para proporcionar protección frente a la corrosión.
- **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.
- **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.
- **Retoque:** Reparación localizada (incluyendo la preparación superficial) del sistema de protección deteriorado por la corrosión.
- **Renovación parcial:** Retoque de defectos del recubrimiento seguido de una preparación superficial y la aplicación de como mínimo una capa de acabado sobre el total del área.
- **Renovación total:** Eliminación total de la pintura anticorrosiva y aplicación de una nueva.
- **Área de la muestra:** Área sobre la que se ensayan las propiedades de un recubrimiento recién aplicado.

7.4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.

7.4.1. Evaluación y valoración de recubrimiento actual.

Tabla 7.4.1. Evaluación y valoración de recubrimiento actual.

EVALUACION Y VALORACION DE RECUBRIMIENTO ACTUAL		
ITEM	ACTIVIDAD	DESCRIPCION
1.	Divulgación de análisis de riesgos y procedimiento de trabajo.	Realizar visita al área y verificar las condiciones para desarrollar la labor, controlando los riesgos socializados en el análisis de riesgos.
2.	Medición de condiciones ambientales.	Por medio de instrumentos medir: Humedad relativa, temperatura ambiente, punto de rocío, temperatura del metal. (equipo – Termohigrómetro, termómetro magnético.)
3.	Inspección visual – determinar grado de oxidación.	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 2.
4.	Medición de espesores de película de pintura.	<p>Medición y registro de espesores por medio de equipo magnético de acuerdo a SSPC-PA2.</p> <p>9.3 m2 = 5 mediciones</p> <p><27 M2 = Escogen 3 áreas de 9.3 m2</p> <p>> 90 m2 = Primeros 90 m2 como la anterior.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Recubrimiento debe estar seco. ✓ Zonas libres de corrientes eléctricas y campos magnéticos. ✓ Lecturas a distancias mayores de 1” de los bordes. ✓ Calibración periódica. ✓ Número de lecturas suficientes. ✓ Cuidados con laminillas calibración.

5.	Ensayo de adherencia del recubrimiento.	<p>Realizar y registrar los datos del ensayo de adherencia de acuerdo a ASTM D 3359, ASTM D 4541, NTC3951.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Naturaleza de la falla cohesiva o adhesiva. ✓ Límite de esfuerzo 150 psi/s. ✓ Lijado (grano 400) o ablandar con solvente. ✓ Remover excesos de pegante. ✓ Corte circunferencial alrededor dado es opcional. (registrar). ✓ Superficie plana en cualquier orientación. ✓ Áreas donde quepan Tres (3) pruebas de verificación como mínimo. ✓ Adhesivo – no hay limitaciones. ✓ Registrar HR, Temperatura y Hora de la prueba. ✓ Tener cuidado al alinear el equipo.
6.	Evaluar ampollamiento y defectos.	<p>Inspeccionar el ampollamiento de acuerdo a estándar ASTM D 714:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tamaño y densidad. ✓ Tamaño – 10 a 0 - 10 libre de ampollas, 8 ampollas más pequeñas y 0 las de mayor tamaño. ✓ Densidad: Denso, Medio denso, Medio, Escaso. <p>Inspeccionar y registrar defectos tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Cráteres (pitting). ✓ Ojos de pescado. ✓ Decoloración. ✓ Ojo de alfiler. ✓ Pintura craqueada. ✓ Delaminación.
7.	Documentar	Elaborar informe de inspección:

		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registrar datos de todas las pruebas en formatos del sistema de gestión del contratista, ✓ Registrar fotografías de ensayos y defectos encontrados, ✓ Informar estado de valoración general de los recubrimientos y sugerir si se requiere reparación parcial o cambio total.
--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7.1.1. Lista de verificación – clasificación de ambientes

1. Categorías de corrosividad atmosférica

- a) C1 Muy baja.
- b) C2 Baja.
- c) C3 Media.
- d) C4 Alta.
- e) C5 Muy alta.
- f) CX Extrema.

2. Tipos de atmosfera

- a) Rural.
- b) Urbana.
- c) Industrial.
- d) Marina.
- e) Altamar.

3. Categorías para agua y tierra

- a) Im 1 Agua dulce.
- b) Im 2 Mar o agua salobre.
- c) Im 3 Tierra
- d) Im 4 Mar o agua salobre con protección catódica.

4. Condiciones climáticas

- a) Frío extremo.
- b) Frío.
- c) Frío templado.
- d) Calor templado.

- e) Calor seco.
- f) Calor seco suave.
- g) Calor seco extremo.
- h) Humedad cálida.
- i) Humedad cálida, constante.

5. Tensiones especiales

- a) Tensiones químicas.
- b) Tensiones mecánicas.
- c) Tensiones debidas a la condensación.
- d) Tensiones debidas a las temperaturas medias o altas.
- e) Corrosión incrementada debido a las combinaciones de las tensiones.
- f) Tensiones debidas a la exposición a radiación UV intensa. **(ISO 12944-2 Parte 2: Clasificación de ambientes, 2017)**

7.1.2. Proceso para rehabilitación parcial o completa de recubrimientos.

Una vez se realiza las inspecciones de evaluación y diagnóstico de los recubrimientos actuales se procede a revisar la especificación técnica en donde se especifican todas las variables y contenido de clasificación de ambiente del área donde se encuentra ubicado el tanque, grado de limpieza y preparación de superficies, tipo de recubrimiento e inspección, se procede con la procura de los materiales de acuerdo a los requerimientos del cliente, sin embargo para esta monografía se tendrá como ejemplo los informes y tanques descritos en el capítulo 5, con el objetivo de tener unos parámetros guía en este procedimiento. Ver tabla 7.1.2.

Tabla 7.1.2. Rehabilitación parcial o completa de recubrimiento.

REHABILITACION PARCIAL O COMPLETA DE RECUBRIMIENTO		
ITEM	ACTIVIDAD	DESCRIPCION
1.	Divulgación de análisis de riesgos y procedimiento de trabajo.	Realizar visita al área y verificar las condiciones para desarrollar la labor, controlando los riesgos socializados en el análisis de riesgos.

2.	Tramitar apertura de permisos.	Realizar permisos de trabajo para actividades en espacios confinados y trabajos en alturas.
3.	Reunión de preparación	<ol style="list-style-type: none"> 1- La reunión es usualmente solicitada por el cliente. 2- Tiempos del trabajo. 3- Elementos y procedimientos de seguridad. 4- Aspectos de la comunicación. 5- Leer la especificación. 6- Tener los estándares y otra información técnica. 7- Discutir métodos de inspección. 8- Informes del contratista. 9- Las minutas, al igual que cualquier cambio, se convierten en acuerdos contractuales. 10- Dar a conocer el equipo de trabajo.
4.	Medición de condiciones ambientales.	Por medio de instrumentos medir: Humedad relativa, temperatura ambiente, punto de rocío, temperatura del metal. (equipo – Termohigrómetro, termómetro magnético.). Registrar en formato.
5.	Inspección visual - grado de oxidación.	<p>Recorrer y verificar el grado de oxidación inicial A/B/C/D/E/F/G/H, de acuerdo a ISO 8501-1 y SSPC-Vis 2. El cual debe ser definido en inspección de evaluación.</p> <p>Para el ejemplo se determina un grado de corrosión tipo H (Grandes sectores de superficie se encuentran cubiertos de productos de corrosión, pitting, nódulos de productos de corrosión y pintura sin adherencia. El ataque por pitting es totalmente visible). (grado de corrosión O a 4 de SSPC - Vis 2).</p>
6.	Clasificación de ambiente	Como ejemplo para tanques de proceso en estaciones de producción de hidrocarburos se clasificará en categoría de corrosividad C4 (Exterior: Áreas industriales y áreas costeras con salinidad moderada. Interior: Plantas químicas,

		piscinas, embarcaderos y astilleros) y condiciones climáticas templado caliente (2500 a 4200 Tiempo calculado húmedo a una humedad relativa > 80% y temperatura > 0 °C h/año). Norma ISO 12944-2. Tabla 1. Tabla A.1.
7.	Selección de recubrimiento dependiendo de la durabilidad. (ejemplo durabilidad Alta)	<p>1- Tabla C.4 Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C4, de la norma ISO 12944-5. De acuerdo a la durabilidad seleccionada como Alta, se puede verificar en la tabla que existen 5 diferentes esquemas para aplicar (C4.03, C4.06, C4.07, C4.10, C4.11). Ver tabla anexa en este procedimiento.</p> <p>2- Consultar con fabricantes de recubrimientos las diferentes opciones de productos que se ajusten a los especificados en este procedimiento. Ver anexos 1, 2, 3 y 4.</p>
8.	Verificación e inspección de equipos.	<p>Verificar los equipos para preparación de superficies:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compresor • Máquina de soplado • Manguera de sandblasting • Manguera de aire • Boquilla y presión de limpieza • Abrasivo
9.	Preparación de superficies (Para el ejemplo: se realizará rehabilitación completa)	<p>1- Desengrase.</p> <p>2- Retiro de óxido y pintura anterior en mal estado.</p> <p>3- Retiro de óxido mediante chorro abrasivo especificación SSPC-SP5 (Limpieza con Abrasivo a Grado metal blanco de superficies metálicas.) o la que recomiende la ficha técnica del producto. Ver anexos 1, 2, 3 y 4.</p>

		<p>4- Medición y registro de perfil de anclaje con comparador de carátula o cintas replica. Norma ASTM D 4417.</p>
10	Método y aplicación de recubrimientos	<p>1- Realizar aplicación con brocha a soldaduras y superficies de difícil acceso. En la aplicación con brocha, la brocha debe sumergirse aproximadamente dos tercios de la longitud de sus cerdas en el recubrimiento. Las puntas de las cerdas deben cepillarse ligeramente contra el costado del recipiente para evitar el goteo, manteniendo el cepillo lo más cargado posible.</p> <p>2- Para la aplicación sin aire, la distancia debe ser de 12 a 18 pulgadas. Al final de cada pasada, se debe soltar el gatillo de la pistola. Cada pasada de rociado debe superponerse con la anterior en un 50 % y, cuando sea posible, se debe utilizar una técnica de sombreado cruzado. Esto requiere una serie duplicada de pases de 90° con respecto a la primera serie para garantizar una cobertura completa y uniforme.</p> <p>3- El aplicador debe realizar mediciones de espesores de capa húmeda para lograr parametrizar y obtener el espesor final de capa seca.</p> <p>4- Seguir rigurosamente las variables de control y tiempos de la ficha técnica del producto seleccionado.</p>
11	Medición de espesores de película de pintura.	<p>Medición y registro de espesores por medio de equipo magnético de acuerdo a SSPC-PA2.</p> <p>9.3 m² = 5 mediciones</p> <p><27 M² = Escogen 3 áreas de 9.3 m²</p> <p>> 90 m² = Primeros 90 m² como la anterior.</p>

		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recubrimiento debe estar seco. ✓ Zonas libres de corrientes eléctricas y campos magnéticos. ✓ Lecturas a distancias mayores de 1" de los bordes. ✓ Calibración periódica. ✓ Número de lecturas suficientes. ✓ Cuidados con laminillas calibración.
12	Ensayo de adherencia del recubrimiento.	<p>Realizar y registrar los datos del ensayo de adherencia de acuerdo a ASTM D 3359, ASTM D 4541, NTC3951.</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Naturaleza de la falla cohesiva o adhesiva. ✓ Límite de esfuerzo 150 psi/s. ✓ Lijado (grano 400) o ablandar con solvente. ✓ Remover excesos de pegante. ✓ Corte circunferencial alrededor dado es opcional. (registrar). ✓ Superficie plana en cualquier orientación. ✓ Áreas donde quepan Tres (3) pruebas de verificación como mínimo. ✓ Adhesivo – no hay limitaciones. ✓ Registrar HR, Temperatura y Hora de la prueba. ✓ Tener cuidado al alinear el equipo.
13	Ensayo de agujeros de alfiler - Holiday	<p>ASTM D5162</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Evaluación discontinuidad de películas no metálicas sobre superficies metálicas. ✓ Método A- Bajo Voltaje. ✓ Método B- Alto Voltaje. ✓ Discontinuidad: pequeño defecto, rayado, punto, inclusión, o contaminación que reduzca la fortaleza dieléctrica del recubrimiento. ✓ Método Esponja Húmeda EPS<20mils.

		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Método Alto Voltaje EPS > 20 mils. ✓ ½ fl oz por galón de agua –máximo. ✓ Eliminar residuos antes de reparar. ✓ No usar NaCl. ✓ Velocidad 0.3 m/s – doble pase afirmando.
14	Documentar y entregar Dossier de control de calidad.	<p>Elaborar informe de inspección:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Registrar datos de todas las inspecciones en formatos del sistema de gestión del contratista, y/o sugeridos de la norma ISO 12944-8. Anexos de este procedimiento. ✓ Registrar fotografías de ensayos y resultados. Ver anexos 1, 2, 3 y 4.

7.1.3. Materiales y equipos.

- Generador eléctrico.
- Extractores anti explosión.
- Lámparas anti explosión.
- Compresor de aire comprimido.
- Mangueras de aire.
- Herramienta manual.
- Equipo de Sandblasting (compresor, tolva, boquillas, mangueras de alta presión)
- Equipo de pintura (Airless)
- Abrasivo.
- Comparador de caratula o cintas replica.
- Galgas de película húmeda.
- Medidor de espesores.
- Medidor de adherencia.
- Medidor de holiday.

7.1.4. Elementos de Protección Personal

- Camisa manga larga

- Pantalón de Jean
- Escafandra.
- Guantes de cuero de manga larga.
- Botas de Seguridad con puntera.
- Protector auditivo
- Trajes tyvek.
- Guantes nitrilo.
- Gafas de seguridad
- Protección respiratoria

7.1.5. Recurso humano

- Ingeniero Residente.
- Ingeniero de control calidad.
- Supervisor HSE.
- Preparador de superficies.
- Pintor Industrial.
- Ayudante Técnico.
- Obreros.

7.1.6. Seguridad y salud en el trabajo

(Nombre del contratista XXXXXXXXX) anexo al presente procedimiento, contempla los lineamientos HSE a tener presentes en el desarrollo de cada una de las actividades para el mantenimiento del tanque XXXXXX. El personal vinculado contará con la afiliación a la administradora de riesgos laborales, entidad promotora de salud y fondo de pensiones de los trabajadores (ARL – EPS - AFP).

Durante el desarrollo de los trabajos se seguirán los protocolos inherentes a HSE de que contemplan:

- Elaboración de análisis seguro de trabajo.
- Elaboración de permiso de trabajo con los certificados de apoyo requeridos para el trabajo

- Verificar que todo el personal involucrado en los trabajos cuente con los EPP adecuados y necesarios para el desarrollo del trabajo asignado.
- Se realizará charla de seguridad previa a las actividades con todo el personal involucrado dando a conocer el procedimiento, AST y sugerencias, dejando registro de esto.
- Revisar que las herramientas y equipos a utilizar se encuentren en buen estado y verificar que los trabajadores aplican prácticas correctas en el uso de cada herramienta.
- Revisión pre - operacional a todos los equipos y maquinaria.
- Se demarcará el sitio de trabajo y solo ingresará el personal autorizado por el supervisor ejecutante.
- Todo incidente debe ser reportado inmediatamente a la gerencia técnica y operaciones.

Antes de desarrollar cualquier actividad en campo, se deberá contar con el respectivo permiso de trabajo con sus certificados de apoyo gestionado ante EL CLIENTE; realizar la difusión del procedimiento, divulgación del A.S.T., y la charla de seguridad industrial a todo el personal involucrado en el trabajo.

7.1.7. Medidas ambientales.

Uno de los propósitos de la política ambiental es la Gestión Integral de Residuos o Desechos Peligrosos, prevenir y reducir la generación de los residuos y promover el manejo ambientalmente adecuado de los que se generen, con el fin de minimizar los riesgos sobre la salud humana y el ambiente.

Se debe recolectar y disponer en sitios instalados en el frente de trabajo según los siguientes tipos de residuos generados. Ver tabla 7.1.7.

Tabla 7.1.7. Medidas ambientales.

TIPO RESIDUO	RECIPIENTE	CONTENIDO
RESIDUOS ORGANICOS	NEGRO	Biodegradables: Residuos de comida.

RESIDUOS RECICLABLES	VERDE	Botellas de plástico y vidrio. Residuos de papel, cartón y madera:
RESIDUOS CONTAMINADOS	ROJO	Residuos biomédicos; Colillas de soldadura, gratas de alambre usadas; Elementos de protección personal deteriorados; platos y cubiertos plásticos, empaques de polipropileno, trapos impregnados de residuos de hidrocarburos o pinturas.

7.1.8. Roles y responsabilidades.

El Ingeniero Residente y/o Supervisor de la Obra: es responsable de,

- Planear, dirigir y controlar la correcta ejecución de la actividad de acuerdo a los parámetros suministrados por el cliente.
- Es el encargado de organizar y asignar las tareas diarias al personal dejando claras las especificaciones dadas por el cliente y verificando los materiales y equipos necesarios para obtener el mayor rendimiento en la actividad.
- Adaptar este procedimiento a las condiciones particulares de la Obra y hacerlo cumplir.
- Programar y organizar las actividades asegurando la disponibilidad de los recursos y la seguridad del personal.
- Verificar que el supervisor y el personal que realiza la actividad cumplan con las normas de seguridad industrial establecidas.
- Verificar que todo el personal cumpla con las reglas fundamentales en HSE durante el desarrollo de las actividades de la obra.
- Implementar las acciones correctivas y preventivas que se requieran durante la ejecución de esta actividad.
- Suspender temporalmente las actividades cuando identifique algún acto y/o condición INSEGURA identificada en el desarrollo normal de las actividades, y contribuir de manera positiva con la solución o corrección del mismo.
- El Ing. Residente debe verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos en el permiso de trabajo, los instructivos y el análisis de riesgo de la actividad.
- Es responsable del frente de trabajo, verificará que los registros de control y prueba establecidos en este procedimiento se realicen y sean aprobados.

Ingeniero de Calidad: es el responsable de,

- Verificar y controlar que las actividades descritas en el procedimiento se cumplan, actualizar y difundir cualquier cambio en la ejecución del procedimiento.
- Recopilar los registros de las actividades, pruebas, ensayos, inspecciones y certificados en caso que apliquen.
- Detener cualquier actividad en caso que considere sea insegura.
- Es responsable del cumplimiento de este procedimiento.

Supervisor HSE: es responsable de,

- Es el responsable de agilizar, tramitar todos los permisos y procedimientos pertinentes para que la ejecución de la actividad sea segura, dando cumplimiento con los requerimientos HSE Verificar que se cumplan los requerimientos de seguridad industrial, salud ocupacional y medio ambiente.
- Verificar que todo el personal cumpla con las reglas fundamentales en HSE durante el desarrollo de las actividades de la obra.
- Suspender temporalmente las actividades cuando identifique algún acto y/o condición INSEGURA identificada en el desarrollo normal de las actividades, y contribuir de manera positiva con la solución o corrección del mismo.
- Verificar la señalización adecuada del área de trabajo.
- Divulgar los riesgos del área de trabajo y los asociados a la actividad (divulgar instructivos de trabajo operacional y análisis de riesgo).

Preparador de superficies (Sandblastero): es el responsable de,

- Cumplir con las políticas establecidas de H.S.E.Q.
- Hacer uso adecuado de los elementos de protección personal.
- Cumplir con los aspectos contenidos en las charlas de cinco minutos, procedimientos de trabajo (instructivos) procedimientos de operación, permisos de trabajo, hojas técnicas de seguridad y análisis de seguridad (AST) (según aplique).
- Auto reporte de condiciones de seguridad y salud en el Trabajo.

- Reportar incidentes y accidentes de trabajo.
- Inspeccionar el estado físico de los elementos de trabajo (equipos, herramientas, elementos de protección personal) antes de su uso.
- Conocer y aplicar los planes de contingencia para casos de emergencia.
- Clasificar, disponer los residuos generados y mantener orden y aseo en los sitios de trabajo.
- Velar por el cuidado y protección de los recursos naturales.
- Procurar el cuidado integral de su salud.
- Suministrar información clara, veraz y completa sobre su estado de salud.
- Cumplir las normas, reglamentos e instrucciones del sistema de gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo de la empresa.
- Informar oportunidades al empleador o contratante acerca de los peligros y riesgos latentes en su sitio de trabajo.
- Participar en las actividades de capacitación en seguridad y salud en el trabajo definido en el plan de capacitación del SG.SST.
- Participar y contribuir al cumplimiento de los objetivos del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo SG-SST.

PINTOR INDUSTRIAL: es el responsable de,

- Cumplir con las políticas establecidas de H.S.E.Q.
- Hacer uso adecuado de los elementos de protección personal.
- Cumplir con los aspectos contenidos en las charlas de cinco minutos, procedimientos de trabajo (instructivos) procedimientos de operación, permisos de trabajo, hojas técnicas de seguridad y análisis de seguridad (AST) (según aplique).
- Auto reporte de condiciones de seguridad y salud en el Trabajo.
- Reportar incidentes y accidentes de trabajo.
- Inspeccionar el estado físico de los elementos de trabajo (equipos, herramientas, elementos de protección personal) antes de su uso.
- Conocer y aplicar los planes de contingencia para casos de emergencia.
- Clasificar, disponer los residuos generados y mantener orden y aseo en los sitios de trabajo.
- Generar el ahorro eficiente de los recursos (agua, energía etc.).

- Velar por el cuidado y protección de los recursos naturales.
- Procurar el cuidado integral de su salud.
- Suministrar información clara, veraz y completa sobre su estado de salud.
- Cumplir las normas, reglamentos e instrucciones del sistema de gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo de la empresa.
- Informar oportunidades al empleador o contratante acerca de los peligros y riesgos latentes en su sitio de trabajo.
- Participar en las actividades de capacitación en seguridad y salud en el trabajo definido en el plan de capacitación del SG.SST.
- Participar y contribuir al cumplimiento de los objetivos del sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo SG-SST.

Ayudante técnico, es responsable de:

- Realizar actividades de apoyo a preparador de superficies y pintor industrial.
- Medición de atmosferas en área del tanque.
- Conocer y aplicar los planes de contingencia para casos de emergencia.
- Clasificar, disponer los residuos generados y mantener orden y aseo en los sitios de trabajo.
- Generar el ahorro eficiente de los recursos (agua, energía etc.).
- Velar por el cuidado y protección de los recursos naturales.
- Procurar el cuidado integral de su salud.
- Suministrar información clara, veraz y completa sobre su estado de salud.
- Cumplir las normas, reglamentos e instrucciones del sistema de gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo de la empresa.
- Informar oportunidades al empleador o contratante acerca de los peligros y riesgos latentes en su sitio de trabajo.
- Participar en las actividades de capacitación en seguridad y salud en el trabajo definido en el plan de capacitación del SG.SST.

Obrero: es responsable de,

- Realizar actividades de apoyo a preparador de superficies y pintor industrial.
- Dar cumplimiento diario a los planes de trabajo que elabora su jefe Inmediato.

- Velar por la adecuada conservación y uso de las herramientas y equipos utilizados en su labor, colaborando con la movilización desde las instalaciones de la empresa hasta el sitio de ejecución de los trabajos.
- Responder ante su jefe inmediato por el ordenamiento de los elementos, herramientas, repuestos y equipos de trabajo, observando y cumpliendo las normas de seguridad Industrial, haciendo uso del equipo indispensable, además del cumplimiento del reglamento interno de trabajo.
- Mantener en orden y aseado los sitios donde desempeña sus labores.

7.1.9. Registros aplicables.

- Registro de asistencia (Reuniones informativas, de capacitación)
- Inspecciones Preoperacionales
- F - Formato de inspección.
- F - Registro de control condiciones para limpieza de superficies y pintura.
- F - Registro de control espesores y adherencia de pintura.
- F - Registro control perfil de anclaje.
- F - Registro de verificación de Holiday.

Anexo1. Términos abreviados de recubrimientos.

Tabla A.1 – Términos abreviados y descripciones

	Término abreviado	Descripción			
Tipo de imprimación	Zn (R)	La imprimación rica en zinc, véase apartado 7.1.2 para ampliación de detalles. El espesor nominal de película seca habitual varía desde 40 µm hasta 80 µm.			
	Miscel.	Todas las otras categorías de las imprimaciones			
Base ligante para imprimaciones y capas siguientes		Ligante principal	Tipo	Posibilidad de base agua	Comentarios adicionales
	AK	Alcídico	Un componente	X	
	AY	Acrílico	Un componente	X	Habitualmente base agua
	EP	Epoxi	Dos componentes	X	Pobre resistencia al UV
	PUR	Poliuretano	Uno o dos componentes	X	Únicamente tipos alifáticos para capas de acabado
	ESI	Silicato de etilo	Uno o dos componentes		Se recomienda el uso de una capa de enganche compatible con la siguiente capa
	C2 a C5	Categorías de corrosividad, véase la Norma ISO 12944-2.			
	Im1 a Im3	Categorías de inmersión, véase la Norma ISO 12944-2.			
	NDFT	Espesor de película seca nominal. Véase 7.3 para más detalles.			
	MNOC	Mínimo número de capas. Dependiendo del material de recubrimiento, el método de aplicación y el diseño de las partes, puede ser necesario aplicar un número superior de capas.			

Anexo 2. Selección de recubrimientos.

Tabla C.4 – Sistemas de pintura para acero al carbono por categoría de corrosividad C4

N° de sistema	Capa de imprimación				Capa(s) siguiente(s)	Sistema de pintura		Durabilidad			
	Ligante	Tipo de imprimación	N° de capas	NDFT en μm	Tipo de ligante	N° total de capas	NDFT en μm	b	m	a	ma
C4.01	AK, AY	Misceláneo	1	60 a 160	AK, AY	1 a 2	160	X			
C4.02	AK, AY	Misceláneo	1	60 a 80	AK, AY	2 a 3	200	X	X		
C4.03	AK, AY	Misceláneo	1	60 a 80	AK, AY	2 a 4	260	X	X	X	
C4.04	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 120	EP, PUR, AY	1 a 2	120	X			
C4.05	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 160	EP, PUR, AY	2	180	X	X		
C4.06	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 160	EP, PUR, AY	2 a 3	240	X	X	X	
C4.07	EP, PUR, ESI	Misceláneo	1	80 a 240	EP, PUR, AY	2 a 4	300	X	X	X	X
C4.08	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60	-	1	60	X			
C4.09	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	2	160	X	X		
C4.10	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	2 a 3	200	X	X	X	
C4.11	EP, PUR, ESI	Zn (R)	1	60 a 80	EP, PUR, AY	3 a 4	260	X	X	X	X

Además de la tecnología de poliuretano, pueden ser adecuadas otras tecnologías de recubrimiento, por ejemplo, polisiloxanos, poliaspárticos, y fluoropolímeros [fluoroetileno/co-polímero éter vinílico (FEVE en sus siglas en inglés)].

NOTA Para las abreviaturas véase la tabla A.1.

Anexo 3. Formato opcional según Norma ISO 12944-8.

Anexo H (Informativo)

Formulario recomendado para un informe sobre el progreso del trabajo de pintura y las condiciones de aplicación

Tabla H.1

Proyecto:			N° de esquema:				Inspeccionado por:				Comentarios:		
Localización:			N° de plan de protección anticorrosiva:										
Elemento constituyente:			N° de posición:										
Área:													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Fecha	Hora	Tipo de trabajo (es decir, preparación superficial, aplicación de capas de imprimación, capas intermedias, y de acabado)	Método utilizado	Condiciones climáticas generales	Temperatura		Humedad relativa del aire	Punto de rocío	Abrasivo de limpieza por chorreado (designación del abrasivo / n° material)	N° de lote de pintura	Color	Observaciones (por ejemplo, norma ISO, grado de preparación superficial, irregularidades)	Firma/ Iniciales
					Aire	Estructura/ elemento constituyente							
					°C	°C	%	°C					
_____			_____				_____				_____		
(Lugar)			(Fecha)				(1ª Firma)				(2ª Firma)		
											(3ª Firma)		

Anexo 4. Formato opcional según Norma ISO 12944-8.

Anexo I (Informativo)

Formulario recomendado para el informe final sobre el trabajo de protección anticorrosiva

Nombre de la estructura:	N° de proyecto:		N° de esquema:				
	Sistema de pintura protector:						
	N° de sistema de pintura ISO 12944-5 (si es de aplicación):						
	1ª Capa	2ª Capa	3ª Capa	4ª Capa	5ª Capa		
Contratista del trabajo de pintura:							
Nuevo trabajo			Mantenimiento				
Grado de óxido de la superficie de acero (Norma ISO 8501-1)			<input type="checkbox"/> Grado de oxidación RI.....(ISO 4628-3) <input type="checkbox"/> No conocido <input type="checkbox"/> Lavado, incluir detalles				
<input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> Imperfecciones encontradas en el alisado <input type="checkbox"/> Cantos afilados y quemaduras eliminadas <input type="checkbox"/> Residuos de soldadura, incluyendo proyecciones; no eliminadas							
Grado de preparación superficial especificado (por ejemplo, conforme a las Normas ISO 8501-1, ISO 8501-2 o ISO 8501-4):							
Limpeza por chorreado	<input type="checkbox"/> Sa 2	<input type="checkbox"/> Sa 2½	<input type="checkbox"/> Sa 3				
	<input type="checkbox"/> PSa 2	<input type="checkbox"/> PSa 2½	<input type="checkbox"/> PSa 3				
Limpeza manual y automática	<input type="checkbox"/> St 2	<input type="checkbox"/> St 3					
	<input type="checkbox"/> PSt 2	<input type="checkbox"/> PSt 3					
Abrasión automática	<input type="checkbox"/> PMa						
Chorro de agua	<input type="checkbox"/> Wa 1	<input type="checkbox"/> Wa 2	<input type="checkbox"/> Wa 2 ½				
Grado de oxidación instantánea	<input type="checkbox"/> Ligero	<input type="checkbox"/> Medio	<input type="checkbox"/> Intenso				
Contaminantes (por ejemplo, conforme a las Normas ISO 8502-3, ISO 8502-6, ISO 8502-9)							
Contaminantes solubles en agua	Valor específico:						
Polvo (Norma ISO 8502-3)	Tamaño:	<input type="checkbox"/> 0	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5
	Clasificación:	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	
Perfil superficial específico (Norma ISO 8503-1):							
Comparador G	<input type="checkbox"/>	Fino	<input type="checkbox"/>	Medio	<input type="checkbox"/>	Grueso	<input type="checkbox"/>
Comparador S	<input type="checkbox"/>	Fino	<input type="checkbox"/>	Medio	<input type="checkbox"/>	Grueso	<input type="checkbox"/>

	Detalles de preparación superficial	Detalles de aplicación de pintura				
		1ª Capa	2ª Capa	3ª Capa	4ª Capa	5ª Capa
Grado de preparación superficial alcanzado (Normas ISO 8501-1, ISO 8501-2, ISO 8501-4)						
Perfil superficial obtenido (Norma ISO 8503-2)						
Marca(s)/ tipos de abrasivo de limpieza por chorreado (por ejemplo, conforme a la serie de las Normas ISO 11124/ISO 11126)						
Fabricante(s) del abrasivo						
Fecha						
Temperatura del aire °C						
Humedad relativa %						
Punto de rocío °C						
Temperatura superficial °C						
Designación de la pintura y tipo de capa, código de producto						
Color						
Nº Lote						
Fabricante(s) de la pintura						
Método de aplicación						
NDFT μm						
DFT mín. μm						
medio μm						
máx. μm						
Nº de mediciones						
¿Cumple con la especificación?		Si/No	Si/No	Si/No	Si/No	

¿Se proporcionan áreas de referencia?	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
Fecha de la preparación		
Comentarios		
Utilizar hojas adicionales, si es necesario.		
Fecha:	Nombre del inspector:	
Lugar:	Firma:	

ACTIVIDAD	NOMBRE	FIRMA	FECHA
ELABORACION			
REVISION			
APROBACION			

Fin del procedimiento.

8. RESULTADOS.

A lo largo del desarrollo de esta monografía, se analizó información técnica disponible en todos los procesos de corrosión, reparación, limpieza de superficies, recubrimientos, inspección y de esta revisión se permite establecer una guía, procedimiento y descripción de actividades, como modelo de evaluación, valoración y técnicas de ensayo que ayuden a la industria en la rehabilitación de recubrimientos.

El contexto en el que estuvo dirigida la monografía hizo posible que se obtuviera un procedimiento genérico con las siguientes características:

- ✚ Recopilar la información de normas y estándares que permitan orientar a empresas operadoras, contratistas, inspectores, ingenieros, personal técnico y los que estén interesados en procesos corrosivos, evaluación y reparación de recubrimientos en tanques de proceso en diferentes industrias.
- ✚ Establecer una serie de pasos en el análisis de la información de inspecciones técnicas iniciales de un proceso corrosivo en tanques y preparar el control y ensayo para hacer una valoración del estado de los recubrimientos y establecer los parámetros y alternativas para los mantenimientos en tanques.
- ✚ Elaborar el procedimiento con las diferentes actividades desde inspección de valoración, generación de especificación técnica y todo el desarrollo de la rehabilitación de recubrimientos mediante un ejemplo en sus diferentes etapas, y determinar las alternativas en los esquemas aplicables, para que por medio de la consulta con fabricantes de recubrimientos, el cliente y el contratista, se pueda realizar un mantenimiento adecuado, de acuerdo a normas y estándares de preparación de superficies y sistemas protectores de corrosión.

9. CONCLUSIÓN.

De la presente monografía se puede concluir:

Esta monografía presentó, una versión guía o resumen de la información técnica y teórica de procesos de corrosión, evaluación de recubrimientos, preparación de superficies, clasificación de ambientes, recubrimientos, técnicas y procesos de inspección, que sirven para orientar y aportar un cambio en la valoración de los sistemas de protección con que se busca ser más concreto en las especificaciones, definiciones, cantidades con las cuales se determine una correcta rehabilitación de estas pinturas en los tanques de producción de hidrocarburos, sin embargo todo este contenido es funcional en todo tipo de industria.

Se obtuvo así, un aporte para análisis, seguimiento de apoyo técnico, con el objetivo de mejorar aspectos ambiguos o de libre interpretación cuando se ejecutan trabajos o proyectos de mantenimiento de tanques, en los cuales los recubrimientos también deben valorarse, identificarse y rehabilitarse con buenas prácticas que realmente sean complementarios de otros sistemas de protección de corrosión.

Finalmente, esta monografía ha sido para el autor, una experiencia de mejora continua, dado que en su entorno laboral se enfrenta a este tipo de situaciones de mantenimientos, donde particularmente todos son diferentes y las empresas operadoras carecen de entregables o especificaciones técnicas, que definan a las empresas contratistas un objetivo claro de rehabilitación de recubrimientos, dado que en la mayoría de los casos en el momento de ejecutar las obras, se presentan interferencias, cambios no previstos, áreas de falla más grandes y defectos mucho más considerables que desde una inspección previa y completa no fueron evaluados.

10. BIBLIOGRAFÍA.

- Celis Jaime Villareal **RECUBRIMIENTOS PREPARACIÓN DE SUPERFICIES.** -
[s.l.] : Departamento de Innovación Académica UPTC, 2018.
- ASM International Handbook Committee **Surface Engineering. United States.**
[Libro]. - 1994.
- ASTM D4541 **PRUEBA ADHERENCIA TRACCIÓN.**
ASTM D5162 **EVALUACION DISCONTINUIDAD.**
C190030-TK-5000-1-CIC-1219 Rev 1 [Informe]. - 2020.
- Calvo C. J. **Pinturas y Recubrimientos. Introducción a su tecnología.** [Libro]. -
Madrid : Diaz de Santos, 2011.
- Celis Jaime Villareal **Unidad 1: INTRODUCCIÓN A LOS RECUBRIMIENTOS.** -
[s.l.] : Oficina de Educación Virtual UPTC, 2018.
- Editorial Etecé <https://concepto.de/corrosion/> [En línea] //
<https://concepto.de/corrosion/>. - 15 de julio de 2021. -
<https://concepto.de/corrosion/>.
- Goldschmidt A., & Streitberger, H.-J. **BASF Handbook. Basics of Coating
Technology (2nd ed.).** [Libro]. - 2007.
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 8501-1 **Preparation of steel substrates
before application of paints and related products Visual assessment of
surface cleanliness // Rust grades and preparation grades of uncoated steel
substrates and of steel substrates after overall removal of previous
coatings.** - 2007.
- 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.** -
2017.
- ISO 12944-2 Parte 2: Clasificación de ambientes **Pinturas y barnices Protección
de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pintura
protectores.** - 2017.
- NACE. (s.f.). **Inspector de Recubrimientos Sesión I..**
- NACE. **SP 0169. Control of External Corrosion on Underground or
Submerged Metallic Piping Systems.** [Libro]. - 2013.

Norma UNE-EN-ISO 12944-5. **Pinturas y barnices. Protección de estructuras de acero frente a la corrosión mediante sistemas de pinturas protectores. Parte 5: Sistemas de pintura protectores.** [Libro]. - 2008.

Pierre. R R **Handbook of Corrosion Engineering.** Estados Unidos: Mc [Libro]. - 1999.

PSM-DUPONT. **PSM-DUPONT. Obtenido de Aplicación de recubrimientos:** <http://goo.gl/VU7Yb0> [En línea] // <http://goo.gl/VU7Yb0>. - 2016.

Sika. **Manual de recubrimientos para metal.** [Libro]. - 2015.

SSPC Painting Manual Vol1 **SSPC Painting Manual Volume 1 Fourth Edition - Good Painting Practice** [Libro]. - 6th Floor Pittsburgh : [s.n].