

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y TEXTIL**



**“MEJORA DE LA PROTECCIÓN DE LOS METALES  
MEDIANTE UNA ADECUADA APLICACIÓN DEL SISTEMA DE  
PINTURA.”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTADO POR:  
WALTER MUÑOZ AQUINO**

**LIMA – PERÚ  
2013**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas con actitudes de superación y exitosas.*

*Agradecer hoy y siempre a mis padres por darme la herencia más grande que es mi profesión, ya que dieron todo por hacerlo realidad.*

*A mis profesores de la Universidad Nacional de Ingeniería, catedráticos con una labor incansable y de servicio. A todos ellos con mucho respeto y aprecio.*

## **DEDICATORIA**

*Le dedico primeramente mi trabajo a Dios por haberme dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad de mi corazón.*

*De igual forma a mis padres, a quienes les debo toda mi vida, les agradezco el cariño y su comprensión. Inculcándome buenos sentimientos, hábitos y valores, lo cual me han ayudado a salir adelante buscando siempre el mejor camino.*

## RESUMEN

El propósito de este trabajo consiste en presentar los procesos a seguir en la evaluación de un sistema de pintura antigua para darle mantenimiento y mejorar su protección contra la corrosión mediante una adecuada aplicación de la pintura, el cual irá desde un cambio de pintura antigua al 100% hasta la reparación de zonas aleatorias y/o puntuales, según al grado de oxidación presentada en el área del sustrato, al grado de ampollamiento y al grado de adherencia que se presenta en el recubrimiento. Posteriormente se recomendará el tipo de preparación de superficie y los sistemas de aplicación para el ambiente en el cual está expuesto. Asimismo los requisitos mínimos para ponerlo en práctica, siguiendo lo establecido en las normas técnicas internacionales de referencia.

La mayor performance de cualquier sistema de recubrimientos en un sustrato de acero depende mucho en la calidad de las siguientes etapas del desarrollo de los trabajos:

- Inspección de la superficie.
- Preparación de superficie.
- Preparación de la pintura.
- Aplicación de la pintura.

Al cumplir con todos los pasos en las etapas anteriores, los cuales se hacen mención en este trabajo, antes, durante y después de la aplicación del recubrimiento, se prolongará la vida del recubrimiento así como el mantenimiento de los elementos, evitando corrosión y fallas repentinas, por lo cual generará un ahorro económico a las empresas.

## INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	
2.	DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS	
2.1.	La corrosión	11
2.2.	Importancia de la corrosión	11
2.3.	Corrosión en estructuras de acero	12
2.4.	Celdas de la corrosión	14
2.5.	Factores que afectan la velocidad de corrosión	16
2.5.1.	Oxígeno	16
2.5.2.	Temperatura	16
2.5.3.	Sales químicas	16
2.5.4.	Humedad	17
2.5.5.	Contaminantes y gases ácidos	17
2.6.	Ambientes de servicio y la corrosión	18
2.6.1.	Químico/marino	18
2.6.2.	Químico/alta humedad	18
2.6.3.	Marino/alta humedad	19
2.6.4.	Químico/humedad baja	20
2.6.5.	Rural/baja humedad	20
2.7.	Tipos de corrosión	21
2.7.1.	Corrosión generalizada	21
2.7.2.	Corrosión localizada	21
2.7.2.1.	Corrosión por picaduras	22
2.7.2.2.	Corrosión en cavidades	23
2.8.	Efectos de la corrosión	24
2.8.1.	Efectos de la corrosión – seguridad	24
2.8.2.	Efectos de la corrosión – costo	25
2.8.3.	Efectos de la corrosión – apariencia	26

2.9.	Control de la corrosión	26
2.9.1.	Diseño	27
2.9.2.	Inhibidores	27
2.9.3.	Selección de materiales	28
2.9.4.	Sistemas de protección catódica	28
2.9.5.	Sistemas de recubrimientos protectores	28
2.9.6.	Alteraciones del ambiente	31
2.9.7.	Programas de control de la corrosión	32
2.10.	Sistemas de pinturas	32
2.10.1.	Partes que conforma el sistema de pintado	34
2.10.2.	La selección de un sistema de pintado	35
2.11.	Preparación de superficie	35
2.11.1.	Tipos de preparación de la superficie	36
2.11.2.	Función de la preparación de la superficie	37
2.12.	Defectos de aplicación	43
2.12.1.	Piel de naranja o falta de nivelación	43
2.12.2.	Cuarteados	44
2.12.3.	Hervidos o burbujas de disolvente	44
2.12.4.	Ampollas o burbujas de aire	45
2.12.5.	Corrosión interna	45
2.12.6.	Cráteres	46
2.13.	Pruebas en campo	46
2.13.1.	Medición de condiciones ambientales	46
2.13.2.	Visualización fotográfica de la preparación de superficie	47
2.13.3.	Determinación del perfil de rugosidad	48
2.13.4.	Determinación de sales solubles en la preparación de superficie	48
2.13.5.	Determinación cuantitativa de la adherencia por tracción	49
2.13.6.	Medición de adherencia con cinta de prueba	50
2.13.7.	Detección de discontinuidades	51

2.13.8. Medición de espesores de película seca	52
3. DESARROLLO DEL TEMA	
3.1. Procedimiento de trabajo	53
3.1.1. Evaluación en los elementos metálicos	53
3.1.1.1. Data histórica	53
3.1.1.2. Tipo de servicio expuesto del elemento evaluado	54
3.1.1.3. Tipo de mantenimiento según el nivel de daño en el recubrimiento	54
3.1.1.4. Parámetros de evaluación	55
3.1.1.5. Resultados de evaluación	61
3.1.2. Monitoreo de las condiciones ambientales	
3.1.3. Preparación de la superficie	62
3.1.3.1. Pre limpieza de la preparación de superficie	62
3.1.3.2. Limpieza de la preparación de superficie	65
3.1.3.3. Post limpieza de la preparación de superficie	66
3.1.4. Sistema de pintura	66
3.2. Pruebas a realizar después de la aplicación y curado de la pintura	67
3.2.1. Adhesión	67
3.2.2. Pinholes	67
3.3. Criterios de aceptación del trabajo realizado	68
4. MANTENIMIENTO DE TANQUE, TUBERÍAS, PLATAFORMA, MOTORES ELECTRICOS Y SOPORTES	
4.1. Elementos evaluados	69
4.2. Parámetros técnicos	70
4.3. Clasificación de la atmósfera expuesta	71
4.4. Resultados de la evaluación	71
5. CONCLUSIONES RECOMENDACIONES	
5.1. Conclusiones de la evaluación	75
5.2. Recomendaciones para los elementos evaluados	77

5.2.1. Preparación de superficie	77
5.2.2. Sistemas de pintura	77
5.2.3. Procedimiento de pintado	79
6. BIBLIOGRAFÍA	
7. ANEXOS	



## **1. INTRODUCCIÓN**

Mucha gente se pregunta ¿Sólo pintando una superficie metálica puedo dar mayor tiempo de protección? o ¿qué mantenimiento hacer en lo pintado y como pintarlo? para poder evitar la temprana aparición o siga produciéndose la corrosión.

Desafortunadamente no existen pinturas cuyo comportamiento en el tiempo este libre de fallas y dure eternamente, sin embargo, sí es posible aumentarle años a la vida del sistema de pinturas a través de un adecuado trabajo de aplicación, evitando fallas prematuras del recubrimiento en operación.

Frecuentemente las fallas no aparecen durante o inmediatamente después de la aplicación, incluso tienen una buena apariencia protectora. Pero algún tiempo después de la aplicación, las deficiencias del trabajo, causan las fallas en los recubrimientos en forma de óxido, pelado, ampollas, picaduras, cuando las instalaciones ya están en plena operación.

El resultado, miles de metros cuadrados de pintura tienen que ser reemplazados a costos considerables, teniéndose un mantenimiento fuera de lo inesperado ya sea en forma total o por zonas, la cual causa la paralización de plantas, pérdidas de tiempo, entre otros inconvenientes, tal como la ejecución de las garantías técnicas o económicas a los contratistas, constructores, aplicadores o fabricantes de pinturas.

El presente trabajo tiene la finalidad de evaluar el tipo de mantenimiento requerido a superficies metálicas como tanque, tuberías, plataformas, motores eléctricos y soportes mediante la evaluación del espesor de película seca, grado de oxidación, porcentaje de área oxidada, ampollamiento y adhesión de la pintura. Así como también evaluar la humedad, temperatura y condiciones expuestas de trabajo. Para posterior recomendar el sistema de pintura y su adecuada aplicación, las cuales

influyen directamente sobre la protección del metal tanto para mantenimiento como superficies metálicas nuevas.

En el caso práctico se realiza a un Tanque de Agua Tratada No Potable en conjuntamente con tuberías, plataformas, soportes y motores eléctricos, los cuales se encuentran en un entorno de categoría C5 – I muy alto (zona industrial con elevada humedad y atmósfera agresiva), según ISO 12944- Parte II, (ver anexo 18).

La adecuada aplicación del recubrimiento (pintura) en el metal se da en los siguientes puntos:

- Preparación de superficie
- Aplicación y preparación del recubrimiento.

Esto ayudará a mejorar la protección del metal en el ambiente expuesto, es decir, agregar años de vida útil a toda infraestructura metálica de una empresa o institución, maximizando la durabilidad del recubrimiento seleccionado, de acuerdo a la calidad, formulación y expectativa preestablecida por el fabricante o proveedor de pinturas. Además ayudará a reducir los costos del tratamiento anticorrosivo y a evitar pérdidas económicas causadas por el deterioro del metal y/o por la falla prematura de los recubrimientos protectores (pinturas).

Las pérdidas económicas derivadas de la corrosión pueden dividirse en pérdidas directas y pérdidas indirectas:

Entre las primeras pueden destacarse:

- Costes de mantenimiento.
- Costes de reposición (material, transporte y mano de obra).
- Costes por averías imprevistas.
- Costes directos por daños accidentales.

El alcance de las pérdidas indirectas por causa de la corrosión es más difícil de evaluar, sin embargo, algunas de las circunstancias más frecuentes que pueden acarrear este tipo de pérdidas son:

- Interrupciones en la producción para efectuar una reparación imprevista (Ejemplo: La reparación de una tubería en el oleoducto puede ocasionar un costo de algunos miles de dólares, pero la paralización para efectuar la reparación representa unos US \$ 20 000 /hora).<sup>(4)</sup>
- Pérdidas de producto
- Pérdidas de rendimiento
- Contaminación de los productos
- Sobredimensionado
- Costes indirectos por daños accidentales

Cuando el factor primordial a considerar es la seguridad, los daños que puede ocasionar la corrosión sobrepasan a cualquier predicción.

### **2.3. Corrosión en estructuras de acero**

Cuando una estructura de acero se corroe, los cuatro elementos de la celda de corrosión están presentes:

## **2. DESARROLLO DE LOS CONCEPTOS Y TÉCNICAS**

### **2.1. La corrosión**

Se denomina corrosión al ataque destructivo que sufre un material, generalmente metálico, por reacción química o electroquímica con su medio ambiente (atmosférico, suelo, agua, etc.).

El término corrosión suele referirse normalmente a ataque de los metales, aunque otros materiales no metálicos, como las cerámicos y los polímeros, también pueden ser deteriorados por ataques químicos directos, pero en estos casos suele utilizarse el término degradación.

La reacción de que se produce en el fenómeno de la corrosión depende de la naturaleza química del entorno y de la concentración efectiva de las especies reactivas. El efecto de la corrosión es una alteración de las propiedades de los materiales afectados, que puede venir acompañada de una pérdida de material. Esta circunstancia hace aconsejable, cuando no necesario, adoptar ciertas medidas de protección para prevenir sus efectos sobre el material, así como realizar ensayos de los que obtener información acerca de la evolución de su estado.

En los materiales metálicos el proceso de corrosión es normalmente electroquímico, es decir una reacción química en la cual hay una transferencia de electrones de una especie a otra.

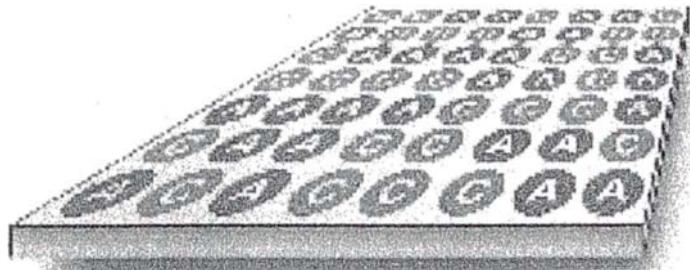
### **2.2. Importancia de la corrosión**

En términos económicos se estima que aproximadamente el 5% del producto bruto interno (P.B.I) de un país industrializado se gasta directa e indirectamente en prevenir y corregir problemas relacionados con la corrosión metálica.<sup>(4)</sup>

1. El ánodo es esa parte del metal que se corroe, es decir, que se disuelve en el electrolito. Ocurre la oxidación.
2. El cátodo es la región más noble en el electrodo donde se consumen los electrones. Ocurre la reducción.
3. La ruta de retorno conecta el ánodo y el cátodo y permite el paso de electrones, generados en el ánodo, hacia el cátodo.
4. Un electrolito es un medio que conduce la corriente iónica (en lugar de eléctrica). La mayoría de los electrolitos son base agua y, en la práctica, el electrolito contiene iones que son partículas de materia que llevan una carga positiva o negativa.

El acero conduce electricidad, de modo que proporciona su propia ruta metálica, la cual genera muchas áreas anódicas y catódicas debido a las diferencias de potenciales (eléctricas) y luego se corroe al estar en el contacto con un electrolito.

Las sales químicas disueltas en el electrolito aumentan la eficacia (velocidad) de la reacción de corrosión. El acero conduce electricidad y así proporciona su propia ruta metálica entre las áreas anódicas y catódicas en su superficie. Puesto que el acero no es un metal perfectamente uniforme u homogéneo, una sola placa de acero puede tener muchas áreas anódicas y catódicas minúsculas en su superficie, como se demuestra en Ánodos y Cátodos en la Superficie de Acero (Figura 2.1).



**Figura 2.1 Ánodos y Cátodos en la Superficie de Acero – Potenciales Variantes**

Las áreas anódicas y catódicas se forman por áreas en la superficie de la lámina, y difieren (quizás sólo ligeramente) unas de otras en su potencial eléctrico. Por consiguiente, el acero ya tiene tres de los cuatro elementos necesarios para crear una celda de corrosión. Las mismas condiciones existen en la mayoría de los otros metales.

Cuando una lámina de acero desnuda se moja con el rocío o la lluvia, el agua puede actuar como un electrolito. Si la lámina se ha expuesto a la atmósfera, es probable que los químicos en esta o en la superficie del metal se combinen con el agua para formar un electrolito más eficiente sobre el sustrato.

El agua pura es un electrolito muy pobre, pero si existe la presencia de sales químicas (ej., cloruro de sodio en un ambiente marino), éstas pueden disolverse en el agua y crear un electrolito que llega a ser más eficaz conforme aumenta la concentración de los químicos disueltos.

La sal (cloruro de sodio) está presente en el ambiente marino, en el agua producida en la producción de petróleo y gas y en la refinación, así como en las sales para el descongelamiento de caminos usadas en muchas carreteras en el hemisferio norte. Otras sales químicas comunes incluyen sulfatos derivados de los productos sulfurosos de la combustión industrial.

#### **2.4. Celdas de la corrosión**

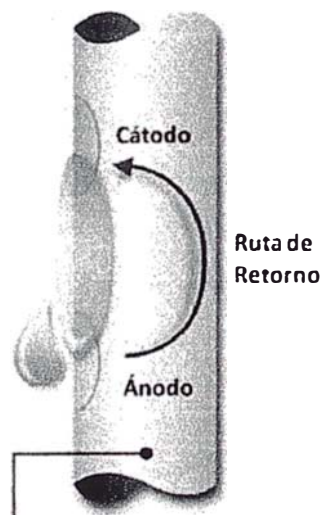
La reacción de corrosión (Figura 2.2) puede ocurrir en un área más pequeña que la punta de un alfiler. Una superficie de acero puede tener muchas celdas de corrosión y puede dar la apariencia de oxidarse uniformemente sobre toda su superficie.

Si los ánodos y cátodos permanecen en el mismo lugar por un periodo de tiempo, la corrosión es localizada y ocurre corrosión por picaduras. Cuando se forma una picadura, la celda de corrosión se localiza y se fija dentro de la misma, acelerando

la velocidad de corrosión en este punto específico. El resultado es a menudo la perforación del metal en el área picada.

La corrosión en una superficie de acero puede propiciarse por la presencia de las incrustaciones de laminación, también conocida como “calamina”. La calamina puede observarse en la superficie del hierro y del acero nuevo en la forma de capas azul-negras de óxido ferroso, algunas de las cuales son más duras que el metal de origen. La calamina es eléctricamente positiva con relación al hierro o al acero, de modo que son catódicas con respecto al metal de origen. Una celda de corrosión se establece en presencia de la humedad, y la calamina catódica promueve la corrosión en las áreas anódicas del acero descubierto.

Ésta es una razón por la que es importante remover la calamina de las superficies de acero antes de aplicar el recubrimiento. No deseamos promover la corrosión en la superficie, o cubrir las celdas de corrosión activas con una película de pintura.



**Figura 2.2 Ejemplo de una Celda de Corrosión**

## **2.5. Factores que afectan la velocidad de la corrosión**

La velocidad de corrosión es determinada por una variedad de factores, algunos de ellos bastante complicados. Sin embargo, existen cinco factores que tienen un papel determinante en la corrosión. Estos son:

### **2.5.1. Oxígeno:**

Al igual que el agua, el oxígeno aumenta la velocidad de corrosión. La corrosión puede presentarse en un ambiente con deficiencia de oxígeno, pero la velocidad de la reacción de corrosión (y la destrucción del metal) generalmente será mucho más lenta. En condiciones de inmersión, puede ser que el electrolito en contacto con un área del metal contenga más oxígeno que el electrolito que está en contacto con otras áreas. El área en contacto con la concentración más alta de oxígeno será catódica en relación con el resto de la superficie. De esta manera se forma una celda de concentración de oxígeno que resulta en altas velocidades de corrosión.

### **2.5.2. Temperatura:**

Las reacciones de corrosión son electroquímicas en naturaleza y generalmente se aceleran con el aumento de la temperatura; por lo tanto, la corrosión ocurre más rápidamente en ambientes más calurosos que en los ambientes fríos.

### **2.5.3. Sales químicas:**

Las sales químicas pueden servir para aumentar la velocidad de corrosión incrementando la eficiencia (conductividad) del electrolito. La sal química más común es el cloruro de sodio, un elemento importante del agua de mar. El cloruro de sodio depositado en superficies expuestas a la atmósfera también



actúa como material higroscópico (ejemplo, puede extraer humedad del aire), lo que aumentará la corrosión en áreas no sumergidas.

#### **2.5.4. Humedad**

La humedad y el tiempo de condensación tienen un papel importante en la promoción y aceleración de la velocidad de corrosión. El tiempo de condensación se refiere al tiempo en que un sustrato expuesto a la atmósfera mantiene suficiente humedad para apoyar el proceso de corrosión. Cuanto más húmedo sea el ambiente, mayor probabilidad que ocurra la corrosión. La industria de la aviación se aprovecha de este hecho cuando almacenan un avión en el desierto sin encerrarlo en edificios con aire acondicionado. Incluso a temperaturas elevadas, hay pocos electrolitos disponibles para la celda de corrosión. La corrosión puede ocurrir sin agua visible, pero la velocidad disminuye significativamente por debajo del 60% de humedad relativa aproximadamente (para el hierro).

#### **2.5.5. Contaminantes y gases ácidos:**

La lluvia ácida, los productos químicos generados en plantas de fabricación y de procesamiento, y los cloruros en áreas costeras promueven la corrosión. Los gases ácidos, tales como el dióxido de carbono, pueden también disolverse en la película de humedad que está en contacto con el metal. Además del efecto directo del ataque químico, estos materiales reducen la resistencia eléctrica del electrolito. Reducir la resistencia en la celda de corrosión permite mayor densidad de corriente de corrosión y, por ende, aumenta la velocidad de corrosión. De nuevo, la corrosión es la degradación de materiales desarrollados en contacto con un ambiente corrosivo. El ambiente corrosivo generalmente se define por las características del

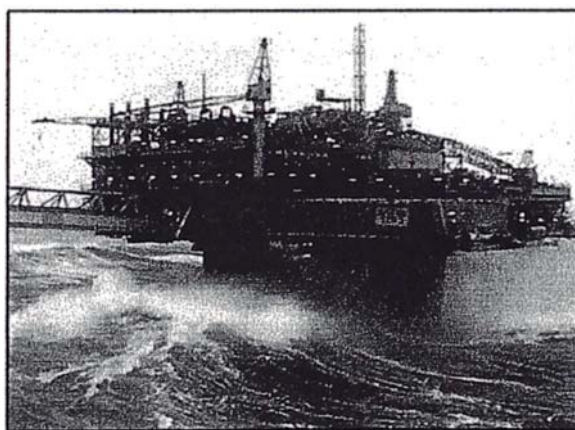
electrolito. Los ambientes pueden incluir la inmersión en un líquido (agua), o atmosférico.

## **2.6. Ambientes de servicio y la corrosión**

Las influencias del ambiente afectan las velocidades de corrosión. Varios ambientes comunes reconocidos por profesionales del control de la corrosión son:

### **2.6.1. Químico / marino**

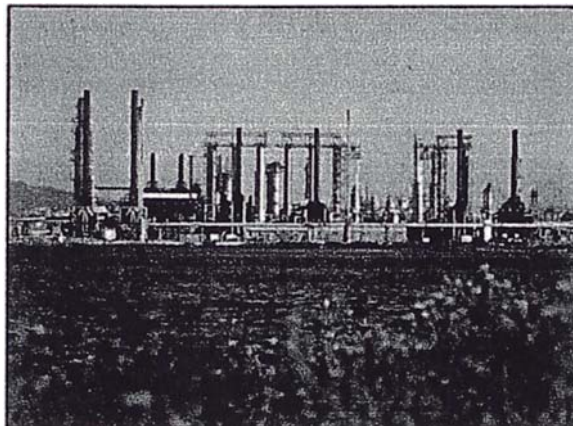
Para plataformas marinas petroleras y embarcaciones, este es un ambiente muy severo que resulta en una oxidación muy rápida (Figura 2.3). Las sales aerotransportadas y los contaminantes químicos pueden servir para estimular la corrosión. La humedad y el agua de mar proporcionan electrolitos que también aceleran el proceso.



**Figura 2.3 Ambiente Químico / Marino - Plataforma Marina**

### **2.6.2. Químico / alta humedad**

Para refinería de petróleo costera, este ambiente es altamente corrosivo, debido a los gases, los químicos y a la alta humedad, todo lo cual puede estimular la corrosión (Figura 2.4).



**Figura 2.4 Ambiente Químico + Alta Humedad – Refinería**

### **2.6.3. Marino / alta humedad**

Para zona de salpique en tuberías de plataformas, este ambiente proporciona un electrolito activo a través de la presencia de humedad y partículas de sal. (Figura 2.5).

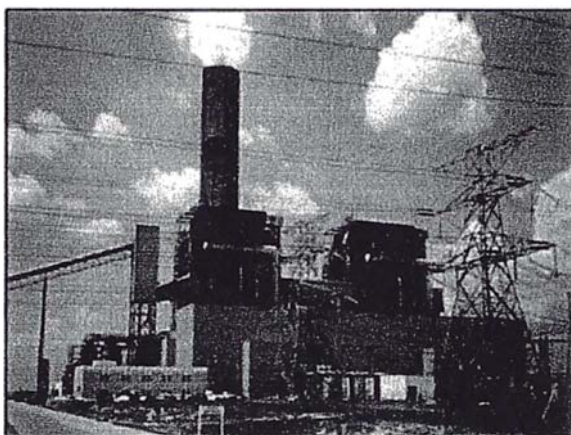


**Figura 2.5 Ambiente Marino + Alta Humedad**

Se sabe que la zona de salpique (generalmente definida como nivel medio de la marea hasta 12 pies sobre la marea alta) sufre de corrosión particularmente alta (Figura 2.5).

#### **2.6.4. Químico / humedad baja**

Para refinería de petróleo en tierra, la baja humedad generalmente crea un ambiente menos corrosivo que la alta humedad. Sin embargo, los gases y los químicos pueden fomentar la corrosión (Figura 2.6).



**Figura 2.6 Ambiente Químico + Baja Humedad - Planta Generadora de Energía**

#### **2.6.5. Rural / baja humedad**

Para puente ferroviario en área rural, este puede ser el ambiente menos corrosivo de los cinco debido a que el aire limpio no proporciona.



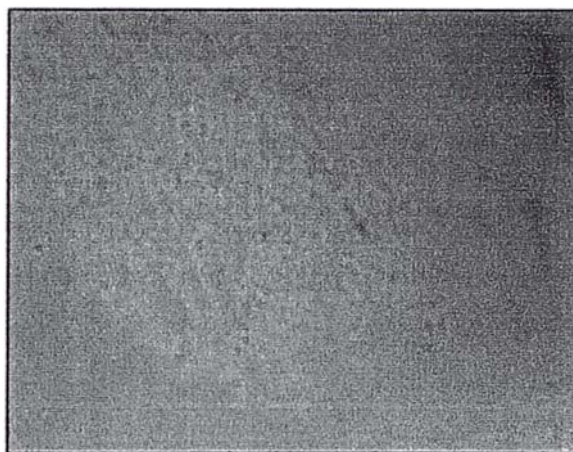
**Figura 2.7 Ambiente Rural - Puente ferroviario**

## 2.7. Tipo de Corrosión

Hay dos amplias clasificaciones de la corrosión: generalizada y localizada.

### 2.7.1. Corrosión generalizada

Resulta en una pérdida de material relativamente uniforme sobre la superficie entera (Figura 2.8). Generalmente, ésta acción resulta en una disminución del espesor, de manera general, de la superficie afectada. La corrosión generalizada es relativamente fácil de evaluar y no causa fallas catastróficas.



**Figura 2.8 Corrosión Generalizada – Superficie metálica corroída**

### 2.7.2. Corrosión localizada

La corrosión localizada ocurre en sitios definidos de la superficie metálica. Las áreas inmediatamente adyacentes a la corrosión localizada normalmente se corroen a un grado menor, si acaso. La corrosión localizada ocurre a menudo en las áreas que son difíciles de evaluar. Esta forma de corrosión es menos común en ambientes de exposición atmosférica que en ambientes de inmersión o salpique/rocío, y donde algunos factores especiales están implicados, tales como la exposición prolongada al agua líquida, los agentes contaminantes, o celdas galvánicas.

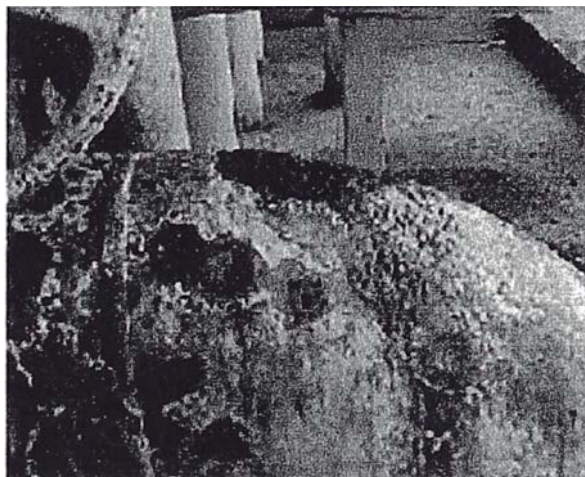
Se generan las celdas galvánicas cuando diversos tipos de metales están en contacto eléctrico en un electrolito común. La actividad de corrosión en sitios de corrosión localizada puede variar con cambios como:

- Defectos en el recubrimiento
- Cambios en contaminantes o agentes contaminadores
- Cambios en el electrolito

Las formas predominantes de corrosión localizada en las plataformas y estructuras marinas son las picaduras y la corrosión en cavidades.

#### **2.7.2.1. Corrosión por picaduras**

En la corrosión por picaduras el daño no ocurre uniformemente, sino primordialmente en zonas específicas donde se producen picaduras profundas (Figura 2.15). Los fondos de las picaduras son ánodos en una pequeña celda de corrosión localizada, a menudo agravada por una relación de área cátodo grande-ánodo pequeño. Las picaduras pueden iniciarse en una superficie abierta, libremente expuesta o en las imperfecciones en el recubrimiento.

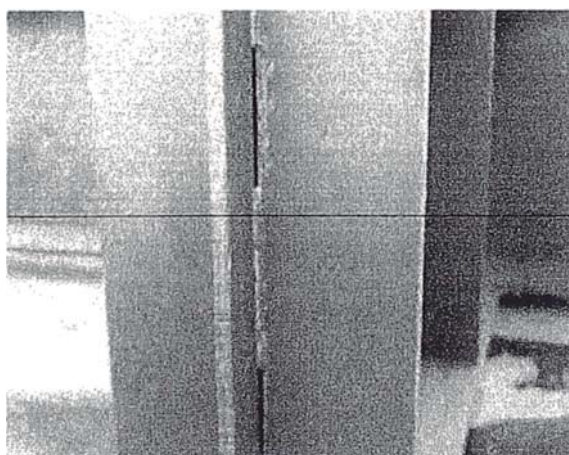


**Figura 2.9 Corrosión por Picadura – Tubería en un ambiente marino.**

Las picaduras profundas, incluso las que son completamente penetrantes, pueden desarrollarse con una cantidad relativamente pequeña de pérdida del metal. Las picaduras pueden ser aisladas o un grupo de picaduras puede coalescer para formar un área de daño grande. Las picaduras son especialmente frecuentes en los metales que forman una capa protectora de óxido y en ambientes de alta contaminación por cloruros (donde los cloruros promueven la degradación de la capa de óxido).

#### **2.7.2.2. Corrosión en cavidades**

La corrosión en cavidades ocurre en una superficie de metal que está bloqueado de la exposición directa al medio ambiente, debido a la proximidad cercana con otro material que forme una brecha estrecha (o cavidad) entre ellos. (Corrosión en Cavidades) Las diferencias en la concentración de la especie corrosiva o del oxígeno entre el ambiente interior y el exterior de la fisura generan la fuerza motora para la celda de corrosión, especialmente en las áreas que actúan como trampas de agua. Las cavidades son comunes en situaciones donde hay contacto de metal-a-metal, como en las arandelas de soporte o en las bridas de tuberías (ductos, caños).



**Figura 2.10 Corrosión en Cavidades – Estructura soldada parcialmente**

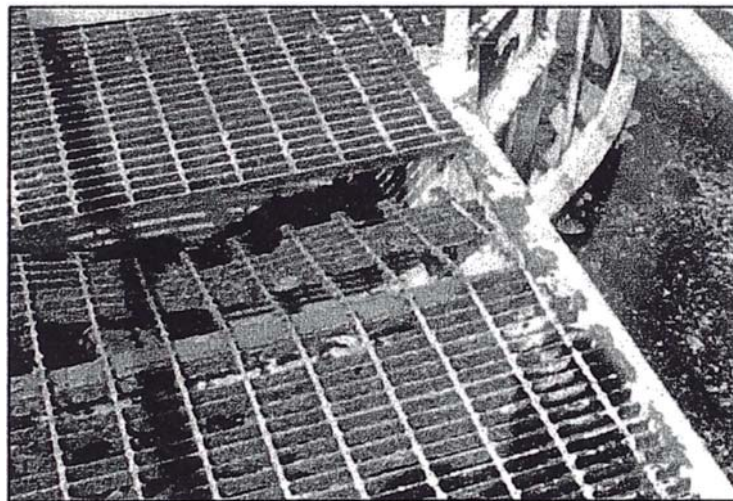
Adicionalmente, los depósitos de desechos y productos de corrosión también generan cavidades (conocidas como corrosión bajo depósito).

## 2.8. Efectos de la corrosión

Los efectos de corrosión incluyen la seguridad, el costo y la apariencia.

### 2.8.1. Efectos de la corrosión – seguridad

Los puentes corroídos pueden ser inseguros en una variedad de maneras. (Figura 2.11). Los puentes y edificios que deben soportar el peso de cargas extremas son ejemplos obvios.



**Figura 2.11 Caminería Oxidada en Plataforma Marina**

La corrosión no puede permitirse en la industria de alimentos y bebidas, donde los productos de la corrosión del metal contaminarían los alimentos. A menudo se usan recubrimientos interiores y exteriores para proteger los tanques de proceso y los envases metálicos de comida.



### **2.8.2. Efectos de la corrosión – costo**

Desde 1999 hasta el 2001, NACE International patrocinó y condujo un estudio en un acuerdo cooperativo con la Administración Federal de Carreteras (FHWA) de EE.UU. Dicho estudio estimó que el costo de corrosión en los Estados Unidos se acerca a US\$ 276 mil millones por año y US\$ 6.9 mil millones por año en la industria de generación de electricidad.

Según la Oficina de Censo del Departamento de Comercio de los EE.UU., la cantidad total de recubrimientos orgánicos vendidos en los Estados Unidos en 1997 fue de 5.56 mil millones de litros (1.47 mil millones de galones) en un valor de US\$ 16.56 mil millones. Las ventas totales se pueden dividir entre recubrimientos arquitectónicos, recubrimientos para productos OEM, recubrimientos para propósitos especiales, y productos misceláneos de pintura.

Una porción de cada uno de éstos fue clasificada como recubrimientos para el control de la corrosión en una estimación total de US\$ 6.7 mil millones. Es importante notar que el costo de la materia prima es solamente una porción del total de cualquier proyecto de recubrimientos, que se varía del 4 al 20% del costo total de la aplicación. Al aplicar estos porcentajes al costo de las materias primas, el costo anual total de las aplicaciones de los recubrimientos varía entre US\$ 33.5 mil millones hasta US\$ 167.5 mil millones (un promedio de US\$ 100.5 mil millones).

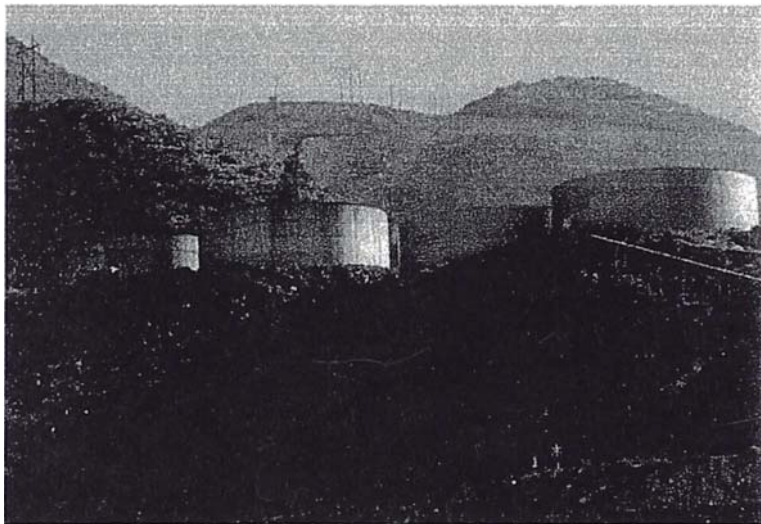
Se estima que existe una oportunidad para ahorrar del 25 al 30% de ese costo mediante el uso de “prácticas óptimas para el control de corrosión.” Costos proporcionalmente similares se encuentran en la mayoría de las otras naciones industrializadas.

El costo de repintar y reparar el acero oxidado normalmente sobrepasa el costo inicial de proteger una superficie contra la corrosión. El costo de la corrosión en los Estados Unidos en 1994 se estimó en más de US\$ 300 mil millones al año, aproximadamente 4.5% del producto interno bruto (PIB).

Otras naciones desarrolladas también estiman la corrosión en un porcentaje similar a su PIB.

### **2.8.3. Efectos de la corrosión – apariencia**

Los recubrimientos desprendidos y el acero oxidado son desagradables para la vista en cualquier ambiente. Para muchos ingenieros o propietarios de compañías, la apariencia es una razón primordial para pintar sus estructuras. (Figura 2.12).



**Figura 2.12 Efectos de la Corrosión – Apariencia en Tanques de Agua Potable.**

Por todas las razones indicadas anteriormente, la prevención de la corrosión es extremadamente importante.

## **2.9. Control de la corrosión**

Aunque debe enfrentar un desafío difícil, el ingeniero de corrosión posee una variedad de herramientas para controlar la corrosión, las cuales incluyen:

- Diseño
- Inhibidores

- Selección de materiales
- Protección catódica
- Recubrimientos protectores
- Sistemas para zonas de salpique
- Alteración del ambiente

### **2.9.1. Diseño**

El método mediante el cual una estructura está diseñada puede influir en su resistencia a la corrosión. Generalmente hablando, el diseño para el control de la corrosión:

- Elimina la posible acumulación de agua, sales químicas y otros materiales que podrían promover la corrosión en puntos específicos.
- Los puntos específicos son áreas particularmente conducentes a la corrosión acelerada, a menudo designados como áreas críticas.
- Los elementos de tal diseño comúnmente incluyen la eliminación de formas complejas (ej., ángulos de espalda contra espalda) y orientaciones de miembros estructurales que puedan actuar como trampas.
- Proporciona el acceso para las actividades del mantenimiento que permitirá a los operadores implementar sistemas de control de la corrosión.
- Elimina los bordes filosos, cavidades y otros elementos difíciles de proteger.

### **2.9.2. Inhibidores**

Un inhibidor de corrosión es una sustancia que, cuando se agrega a un ambiente, disminuye la velocidad de corrosión. Los inhibidores de corrosión se agregan típicamente en cantidades pequeñas al electrolito, típicamente en sistemas cerrados tales como tuberías (ductos, caños).

También pueden ser utilizados como inhibidores de fase de vapor (VPI) e inhibidores de corrosión migrantes (MCI).

### **2.9.3. Selección de materiales**

Existen alternativas de materiales de construcción que se pueden corroer menos rápido que el acero. Escoger un material resistente a la corrosión podría ser requerido en ciertas aplicaciones de la estructura a proteger.

Una serie galvánica es una lista de materiales ubicados en el orden de sus potenciales de corrosión, iniciando con el que se corroe más fácilmente o el más activo, al principio y terminando con el que se corroe con menor facilidad, o el menos activo.

### **2.9.4. Sistema de protección catódica**

La protección catódica utiliza ánodos de sacrificio hechos de metales más activos tales como aluminio, zinc o magnesio. Cuando están conectados a la estructura de acero sumergida que está siendo protegida, entonces estos ánodos se corroen preferencialmente en lugar de la estructura de acero. Cuando el ánodo de sacrificio está completamente corroído, debe reemplazarse. El control de la corrosión mediante la protección catódica en la industria costa afuera casi siempre se usa sin recubrimientos protectores.

Una forma alterna de protección catódica (mediante corriente impresa) proporciona una corriente eléctrica que contrarresta la corriente de la celda de corrosión.

### **2.9.5. Sistemas de recubrimiento protectores**

Los recubrimientos proporcionan protección al acero mediante uno o una combinación de tres mecanismos que producen los siguientes tres tipos de recubrimientos:

- **Recubrimientos de sacrificio**, que son ricos en zinc. Siempre que ocurre un corte u otro daño en el zinc expuesto al acero, el zinc actúa como un ánodo de sacrificio y se corroe para proteger la superficie de acero (Figura 2.13).
- **Recubrimientos de barrera**, que mantienen la humedad lejos de la superficie del acero. Esto elimina uno de los elementos del ciclo de corrosión, el electrolito, evitando así la corrosión (Figura 2.14).
- **Recubrimientos inhibidores**, (por lo general solamente los primarios [primers, fondos]) que además de actuar como barrera, ayudan activamente en el control de la corrosión, usando pigmentos que pueden proporcionar un efecto inhibidor (similar a los inhibidores de corrosión). Los ejemplos incluyen el  $\text{PbO}_2$  e plomo y el fosfato de zinc. Estos pigmentos reaccionan con la humedad absorbida por el recubrimiento y luego reaccionan con el acero para pasivarlo y así disminuir sus características corrosivas (Figura 2.15).

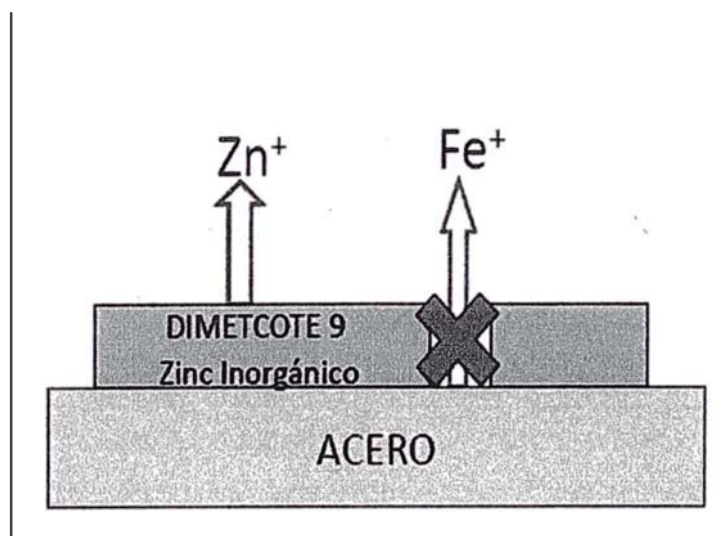


Figura 2.13 Recubrimiento de Sacrificio.

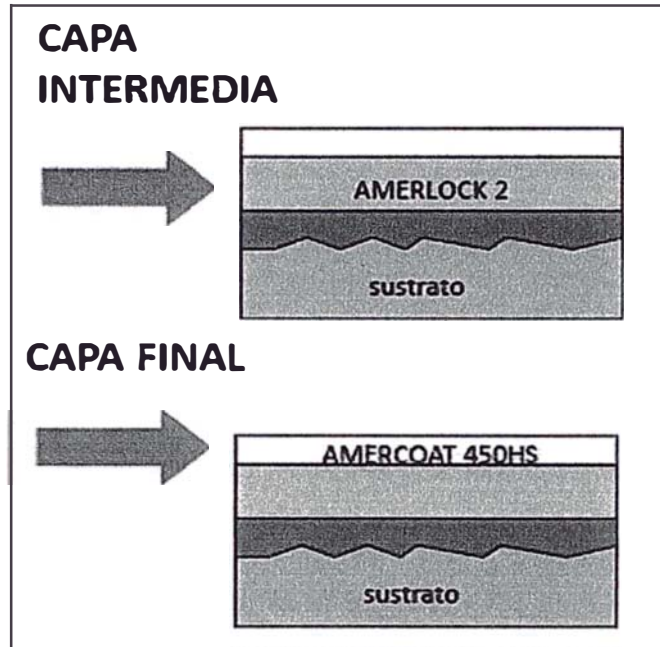


Figura 2.14 Recubrimiento de Barrera.

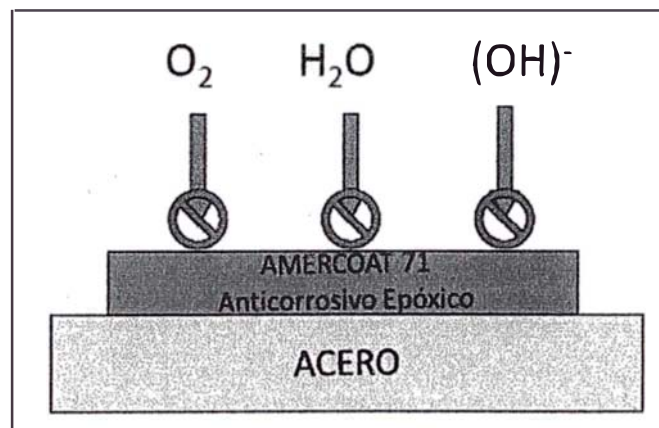


Figura 2.14 Recubrimiento Inhibidor.

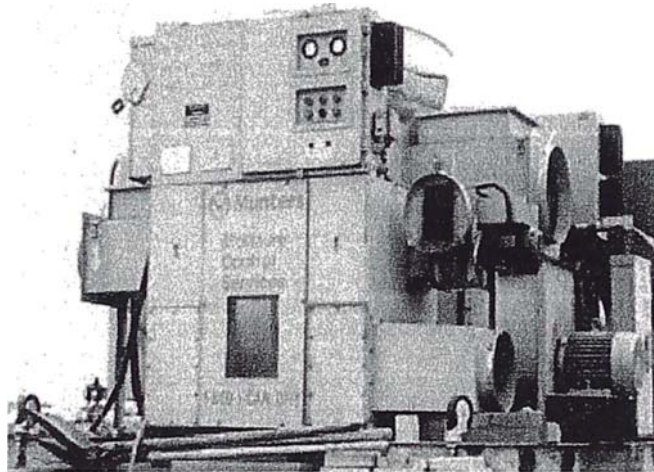
La protección proporcionada al acero mediante los recubrimientos protectores puede ser influenciada enormemente por discontinuidades (poros, rasguños, hoyos) en la película del recubrimiento. La velocidad de corrosión en una

discontinuidad en una película del recubrimiento puede verse afectada por varios factores, incluyendo:

- Tipo de recubrimiento / sistema de recubrimiento
- Espesor del recubrimiento
- Electrolito presente (si hubiese) en la discontinuidad
- Presencia de calamina adherente en el sustrato

#### 2.9.6. Alteraciones del ambiente

Un ambiente atmosférico puede cambiarse para hacerlo menos corrosivo. Un buen ejemplo es el uso de equipos de deshumidificación para secar el aire en tanques que se están preparando abrasivamente. Reduciendo la humedad relativa a menos del 40% (10 a 15% es posible) la corrosión cesará, para todos los propósitos prácticos (Figura 2.15).



**Figura 2.15** Deshumidificación.

Podemos mantener la superficie arenada por muchas horas o días usando este método, previniendo la oxidación instantánea (“flash rust”) de la superficie preparada. Cuando un espacio confinado puede sellarse y así excluir el oxígeno, la corrosión cesará una vez que el oxígeno prevaeciente se haya agotado.

### **2.9.7. Programas de control de la corrosión**

Los dueños de estructuras se ocupan de la corrosión estableciendo y manteniendo programas de control de la corrosión. Los programas individuales variarán en algunos detalles, pero por lo general se referirán a lo siguiente:

- Calificación y especificación de materiales usados en sistemas de protección contra la corrosión.
- Especificación del grado de preparación de la superficie.
- Selección de un sistema de protección contra la corrosión adecuado para un elemento particular de la estructura.
- Calificación y selección de contratistas para la aplicación.
- Establecimiento del control y aseguramiento de la calidad.
- Calificación y selección de las compañías de inspección en-proceso.
- Calificación y selección de las compañías de inspección en-servicio
- Programación de evaluaciones
- Manejo de la data derivada de las evaluaciones
- Planificación e ingeniería de las acciones de mantenimiento
- Ejecución de las acciones de mantenimiento
- Evaluación de la efectividad general del programa de control de la corrosión.

### **2.10. SISTEMAS DE PINTURAS**

Por lo general, para la protección anticorrosiva no se emplea una única pintura, sino una serie o más de ellas, cada una con distinta misión que al ser aplicadas constituyen un Sistema de Pinturas.



Así pues, en cualquier Sistema de Pinturas cada componente cumple un determinado rol en el funcionamiento del esquema y sin cualquiera de ellos el sistema es menos efectivo, a excepción de aquellos donde una misma pintura actúa como base y acabado y en este tipo de pinturas la formulación ha cubierto el efecto de la ausencia de una de las pinturas del esquema normal.

Un Sistema de Pinturas (Figura 2.16), generalmente está constituido por:

- A. Una capa Base (Imprimante, Primer o Anticorrosivo).
- B. Una capa Intermedia (Midcoat).
- C. Una capa de Acabado (Topcoat).

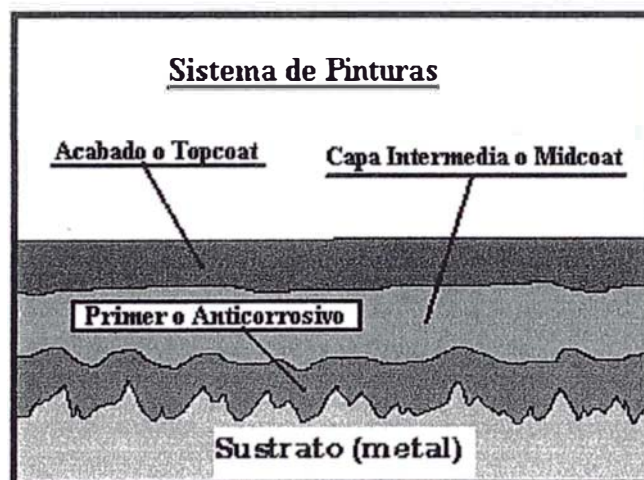


Figura 2.16 Sistema de Pinturas.

A continuación pasaremos a definir los tres componentes básicos de un sistema de Pinturas:

- A. **Base, imprimante.-** Llamada también Primer o Anticorrosivo; es la primera capa que se aplica a la superficie con los siguientes propósitos:
  - Proporcionar adhesión a la superficie.
  - Frenar la corrosión (cuando contienen pigmentos inhibidores).

- Sacrificarse en lugar de ella (cuando contiene polvo de zinc que actúa como ánodo de sacrificio).

**B. Capa intermedia.-** Es la capa posterior al imprimante cuya finalidad es:

- Proporcionar espesor adicional.
- Mejorar la adhesión entre el imprimante y la capa final.
- Aumentar la resistencia química a la protección.
- Aumentar la homogeneidad de la película (menor cantidad de poros en la película, llamados también pinholes).

**C. Capa final o acabado.-** Es la capa final del sistema y la cual proporciona los siguientes beneficios:

- Aumenta la resistencia química del sistema.
- Provee resistencia a la intemperie.
- Brinda resistencia a la abrasión y al desgaste.
- Proporcionan color.
- Confiere brillo.
- Mejoran la apariencia.

Existen además, sistemas en los que se suprime una de estas capas por estar contenidas en la siguiente, como es el caso de los sistemas "Autoimprimantes", los cuales protegen por el mecanismo barrera únicamente.

En la actualidad, en el diseño de un requerimiento anticorrosivo orgánico más que hablar del sistema de pintura se está hablando de sistema de pintado donde interviene no solo la especificación del tipo de pintura utilizada sino el espesor, número de capas, preparación de la superficie metálica, modo, condiciones y métodos de aplicación del recubrimiento, etc.

### **2.10.1. Partes que conforma el sistema de pintado:**

- A. Preparación de superficie
- B. Sistema de pintura

- C. Método de aplicación
- D. Número de capas
- E. Espesor de película del sistema
- F. Especificación de los tiempos de secado

### **2.10.2. La selección de un sistema de pintado**

Se debe tener en cuenta:

- La influencia del medio ambiente, si es un ambiente severo con exposición a productos químicos, en inmersión, o variaciones extremas de temperatura o ambientes moderados.
- El estado superficial del acero o el grado de corrosión encontrado según las normas SSPC- Guide to Vis 1 (Ver anexo 1), SSPC-Guide to Vis 2 (Ver anexo 2).

**Grado A:** Mill scale adherido

**Grado B:** Mill scale oxidado

**Grado C:** superficie con óxido

**Grado D:** oxidación total

- El tratamiento que se le puede dar al acero o grado de preparación de superficie.
- El tipo de pintura a usar.
- Aspecto final deseado.

### **2.11. Preparación de superficie**

La preparación de la superficie es uno de los factores más importante en la implementación de un sistema de protección. Con estos procedimientos se deberá cumplir con dos factores: crear rugosidad en la superficie y remover todos los contaminantes tales como grasa, aceite, polvo, sales, productos químicos, óxido,

costras de óxido, mill scale (cascarilla de laminación) y cualquier otro contaminante que pueda afectar la adhesión del sistema de pinturas.

Tal es su importancia que existen varios organismos internacionales que norman las condiciones mínimas de limpieza antes de la aplicación de cualquier recubrimiento. Entre los organismos más conocidos y difundidos a nivel mundial destacan:

- **SSPC o SPC:** Hoy en día se denomina Society for Protective Coatings (Sociedad para los Revestimientos Protectores) y es una agrupación de profesionales especialistas en el campo de los recubrimientos protectores con sede en Estados Unidos y que tienen por misión la de capacitar y normar las diferentes etapas de la implementación de un sistema protector. Anteriormente se llamaba Steel Structure Painting Council (Consejero para Pintado de Estructuras de Acero).
- **SIS:** Estándar Sueco que reúne una serie de normas que regula la implementación de un sistema protector, la cual se utiliza mucho en Europa y el Reino Unido. Tiene equivalencias con las normas americanas de la SSPC y NACE.
- **NACE:** Esta norma americana publicada por los Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión de los Estados Unidos es la que regula una serie de parámetros para la implementación de un sistema protector. Al igual que la SSPC tiene mucho arraigo entre los profesionales en el campo de la corrosión a nivel mundial.

#### **2.11.1. Tipos de preparación de la superficie.**

En cualquier especificación de un sistema de pintado, el grado de limpieza requerido depende de:

1. El ambiente donde el sistema de pintura estará expuesto y definitivamente el grado de preparación de superficie para ambientes severos (inmersión en líquidos, exposición en ambientes químicos, en altas temperaturas) será el más exhaustivo.
2. El tipo de pintura usado, por ejemplo, las pinturas al aceite y/o alquídicos fluyen muy bien y humectan mejor la superficie lo que les permite tolerar una mínima preparación de superficie incluso hasta limpieza manual. Las pinturas a base de Zinc inorgánico, por el contrario, requieren un alto grado de limpieza que solo se obtiene con una limpieza mediante chorro abrasivo.
3. El costo es otro factor importante en la selección del grado de preparación de superficie. Así por ejemplo, la limpieza mediante chorro abrasivo al metal blanco es de 2 a 3 veces mas costoso que el grado comercial o la limpieza manual mecánica.

### **2.11.2. Función de la preparación de la superficie.**

La preparación de superficie crea una base para las pinturas de dos modos importantes:

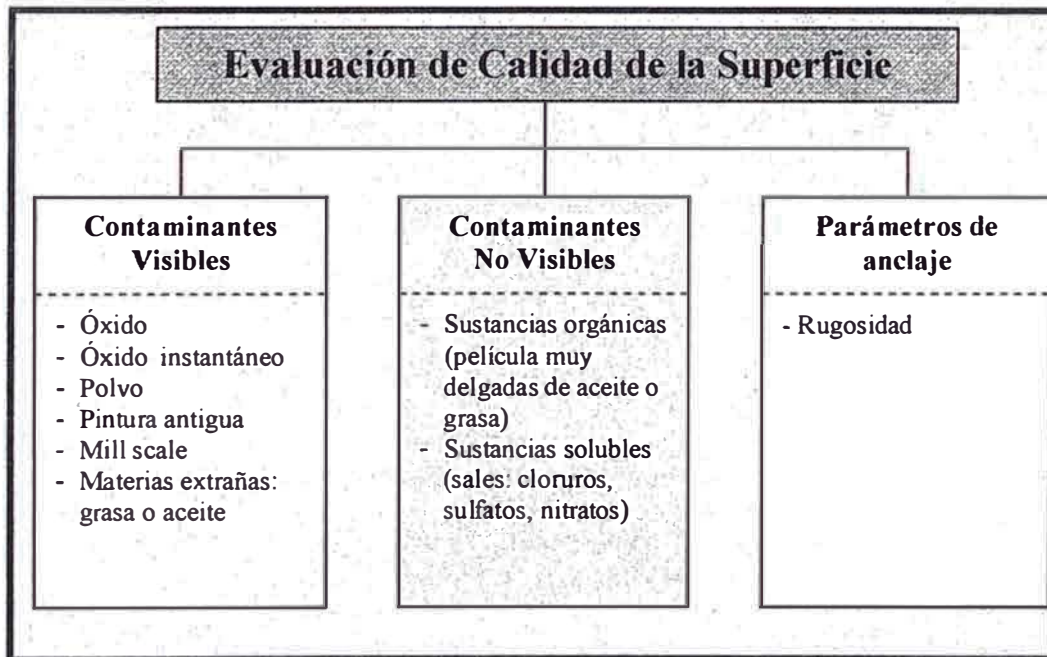
- **Un modo mecánico:** Proporcionado por el anclaje o **perfil de rugosidad** obtenido después de la limpieza. Cuando una superficie es muy lisa, las pinturas tienen dificultad de adherirse fuertemente, por ejemplo: imagínese una pintura sobre vidrio, lo fácil que es para desprenderla. Por otro lado una superficie rugosa igual a un papel de lija, lo dificultoso que sería para desprenderla.
- **Un modo químico:** Que permite un contacto íntimo de las moléculas de la pintura con la superficie del acero, y que dependerá del tipo de pintura usada.

Los residuos de impurezas sobre el acero; pueden ser suciedad, polvo, grasa, aceite, óxido, humedad y aun el mill scale o escama de laminación; cuando se pinta sobre ellos, estos interfieren en la adhesión de la pintura al sustrato y causará que la pintura falle.

Otros residuos no visibles son los contaminantes químicos, las sales solubles: sulfatos, nitratos y cloruros. Cuando se pinta sobre ellos, pueden causar empolladuras, peladura y aceleran la corrosión del acero por debajo de la película de pintura.

Una adecuada práctica de Preparación de la Superficie debe incluir:

1. Pre- Limpieza para remover contaminantes visibles y no visibles,
2. Limpieza de la superficie al nivel deseado, y
3. Producir la rugosidad (textura) adecuada para una buena adhesión de la pintura o recubrimiento.



**Figura 2.16 Evaluación de la Calidad de la Superficie.**

La pobre preparación de la superficie puede ocasionar la falla catastrófica de la pintura debido a la inadecuada adhesión del recubrimiento o por ampollamiento osmótico, y le reducirá significativamente el tiempo de vida útil.

Antes de iniciar las operaciones de preparación de superficie se debe tener presente que todas las modificaciones y reparaciones deberían estar completadas, esto incluye:

- Acero: Relleno de poros, redondeado de filos y bordes, esmerilado de rebabas de soldadura y eliminación de escorias, etc.
- Concreto: Parchado, rellenado de rajaduras y poros.

Los contaminantes que pueden causar el deterioro prematuro de la pintura son:

- Óxido, consiste en manchas rojizas, producto de la corrosión del acero.
- Mill scale, es una película azulada, quebradiza y parcialmente adherida, y algo oxidado que se forma en la superficie del acero durante su proceso de laminado en caliente.
- Grasa y aceites
- Polvo y tierra
- Sales solubles: son depositadas por la atmósfera en superficies expuestas al medio ambiente o en cercanías al mar, y que permanecen aun después de la limpieza con abrasivos y que producirán amoldamiento osmótico. Solo pueden eliminarse mediante limpieza con agua a presión.
- Agua.
- Pintura antigua tizada, desprendida, quebrada, o peladuras: deberán removerse por cualquiera de los métodos de preparación de superficie

descritos líneas abajo y debe determinarse de que la pintura existente no contenga cantidades significantes de plomo u otros materiales extraños.

Existen diferentes métodos de preparación de la superficie, las normas más utilizadas y reconocidas por SSPC, SIS y NACE son los siguientes:

**1. Limpieza con solventes (SSPC-SP1) – Ver Anexo 3**

La limpieza con solventes es un método para eliminar todo el aceite visible, grasa, polvo, compuestos para el trazado y corte, y otros contaminantes solubles de las superficies de acero. La limpieza con solventes se utiliza antes del uso de la pintura y conjuntamente con los métodos de la preparación de la superficie especificados para la remoción del óxido, escama de laminación, o de pintura.

**2. Limpieza con herramienta manual (SSPC-SP2), (SIS-St2) – Ver anexo 4**

La limpieza con herramienta manual es un método de preparación de la superficie mediante el uso de herramientas manuales tales como lijas, espátulas, picotas, cepillos de acero, etc. Esta limpieza elimina la escama de laminación suelta, óxido suelto, pintura mal adherida, y otros materiales extraños. No se elimina la escama de laminación, óxido, y pintura bien adheridos en la superficie.

**3. Limpieza con herramienta mecánica (SSPC-SP3), (SIS-St3) – Ver anexo 5**

La limpieza de la herramienta mecánica es un método de preparación de la superficie mediante el uso de herramientas asistidas por energía eléctrica o neumática. Esta limpieza elimina la escama de laminación suelta, óxido



suelto, pintura mal adherida, y otros materiales extraños. No se elimina la escama de laminación, oxido, y pintura bien adheridos en la superficie.

**4. Limpieza con chorro abrasivo a metal blanco (SSPC-SP5), (SIS-Sa 3), (NACE No 1) – Ver anexo 6**

Un chorro de abrasivo (Arena, Escoria de Cobre u otro material) impacta sobre la superficie metálica hasta obtener una superficie limpia y libre de todo el aceite visible, grasa, polvo, suciedad, escama de laminación, oxido, pintura antigua, óxidos de los productos de la corrosión, y de cualquier otro material extraño. Se utiliza en condiciones extremas de inmersión en agua o químicos líquidos.

**5. Limpieza con chorro abrasivo comercial (SSPC-SP6), (SIS-Sa 2), (Nace No 3) – Ver anexo 7**

La superficie estará libre de todo aceite visible, grasa, polvo, suciedad, escama de laminación, oxido, pintura antigua, óxidos productos de la corrosión, y de cualquier otra materia extraña, a excepción de manchas limitadas a no más de 33 por ciento de cada unidad de área de la superficie según lo definido dentro la sección 2,6 de la Norma SSPC-SP 6 / NACE No. 3, y puede consistir en sombras ligeras, rayas leves, o decoloraciones de menor importancia causadas por las manchas del óxido, de la escama de laminación, o manchas de la pintura anteriormente aplicada.

Al realizar la inspección en este tipo de preparación de superficie se debe demarcar un área de 3pul. x 3 pulg.de la superficie y visualizarse el 33% de sombras de óxido.

**6. Limpieza con chorro abrasivo ligero o brush-Off (SSPC-SP7), (SIS-Sa 1), (Nace No 4) – Ver anexo 8**

La superficie estará libre de todo aceite visible, grasa, suciedad, polvo, escama de laminación suelta, oxido flojo, y pintura mal adherida. La escama

de laminación, óxido, y la pintura firmemente adheridas pueden permanecer en la superficie. La escama de laminación, el óxido, y la pintura se consideran firmemente adheridas si no pueden ser eliminados levantando con un espátula después de que se haya realizado la limpieza.

**7. Limpieza con chorro abrasivo a metal casi blanco (SSPC-SP10), (SIS - Sa 2 ½), (NACE No 2) – Ver anexo 9**

La superficie estará libre de todo aceite visible, grasa, polvo, suciedad, escama de laminación, óxido, pintura, óxidos productos de la corrosión, y de cualquier otra materia extraña, a excepción de manchas limitada a no más de 5 por ciento de cada unidad de área de superficie según lo definido dentro la sección 2,6 de la Norma SSPC-SP 10 / NACE No. 2, y puede consistir en sombras ligeras, rayas leves, o decoloraciones de menor importancia causadas por las manchas del óxido, escama de laminación, o manchas de pintura antigua.

**8. Limpieza con herramienta mecánica a metal desnudo (SSPC-SP11) – Ver Anexo 10.**

Esta especificación es conveniente donde se requiere una superficie rugosa, limpia y al metal desnudo pero donde no es factible o permitido el uso de la limpieza mediante Chorro abrasivo. Esta especificación se diferencia de SSPC-SP 3, limpieza con herramienta mecánica, en que SSPC-SP 3 requiere solamente el retiro de materiales libremente adheridos y no requieren producir o retener el perfil de anclaje.

El perfil generado en esta norma es mínimo un perfil de rugosidad igual 1 mils (25.4 micras) con una herramienta mecánica como el Rotaryflaps o pistola de agujas.

**Tabla 2.1 Métodos o tipos de preparación de la superficie equivalencias**

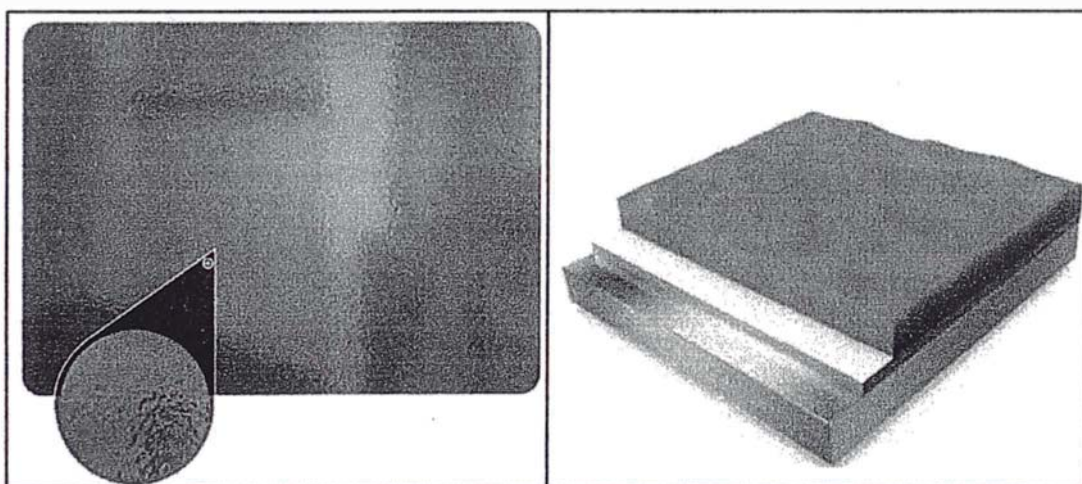
<b>Grado de limpieza</b>	<b>SSPC</b>	<b>NACE</b>	<b>SIS</b>
Limpieza con Solventes	SP 1	-----	St 1
Limpieza con Herramientas Manual	SP 2	-----	St 2
Limpieza con Herramienta Motriz	SP 3	-----	St 3
Limpieza con Abrasivos a Metal Blanco	SP 5	NACE N° 1	Sa 3
Limpieza con Abrasivo Comercial	SP 6	NACE N° 3	Sa 2
Brush Off	SP 7	NACE N° 4	Sa 1
Limpieza con Abrasivos a Metal Cercano al Blanco	SP 10	NACE N° 2	Sa 2 1/2
Limpieza con Herramienta Motriz a Metal Desnudo	SP 11	-----	-----

**Nota:** Las normas SSPC, NACE y SIS en el cuadro respectivo son equivalentes cada una con sus respectiva designación.

## 2.12. Defectos de Aplicación

### 2.12.1. Piel de Naranja o Falta de Nivelación

Superficie con arrugas, mal igualada por falta de estiramiento o nivelación, con aspecto similar a la piel de una naranja (Figura 2.17).



**Figura 2.17 Piel de naranja o falta de nivelación.**

### 2.12.2. Cuarteados

Agrietamiento parcial o total de la superficie pintada durante la aplicación o su secado (Figura 2.18).

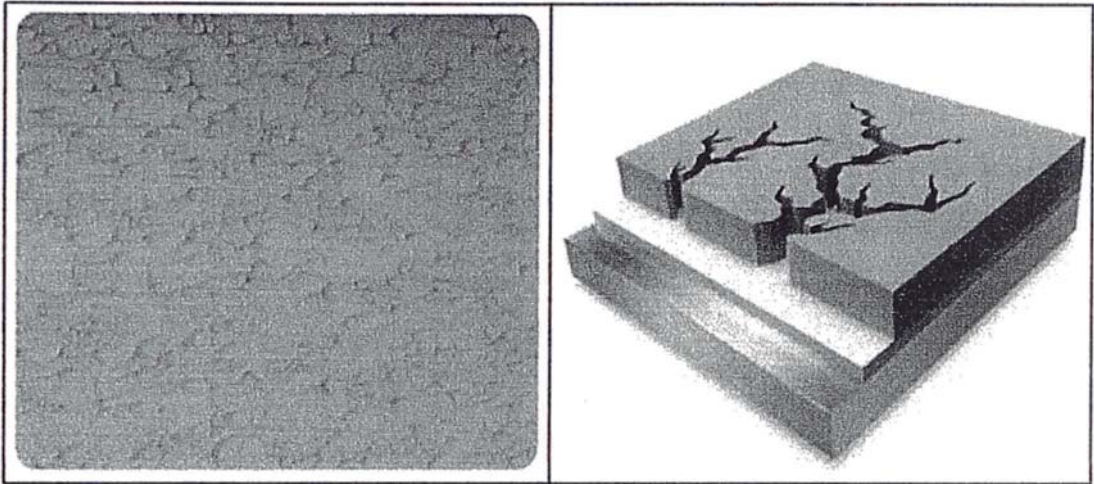


Figura 2.18 Película de pintura seca cuarteada.

### 2.12.3. Hervidos o burbujas de disolvente

Pequeños picados superficiales producidos por rotura o deformación de la superficie de pintura, generados por la salida de disolvente ocluido una vez seca la superficie exterior de la capa de pintura (Figura 2.19).

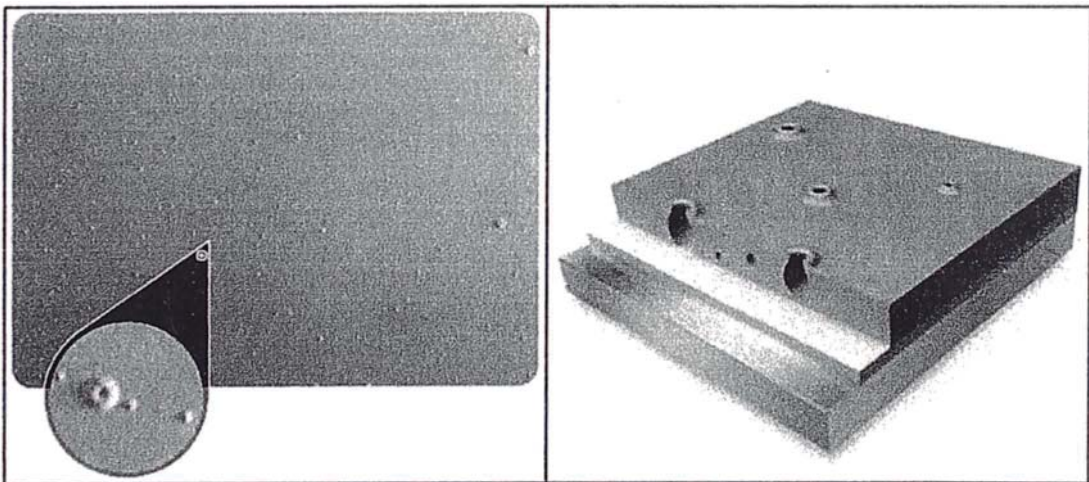


Figura 2.19 Burbujas de disolvente en la película de pintura.

#### 2.12.4. Ampollas o burbujas de aire

Pequeñas protuberancias superficiales producidas por la deformación de la superficie de pintura, generados por la salida de aire húmedo ocluido una vez seca la superficie exterior de la capa de pintura (Figura 2.20).

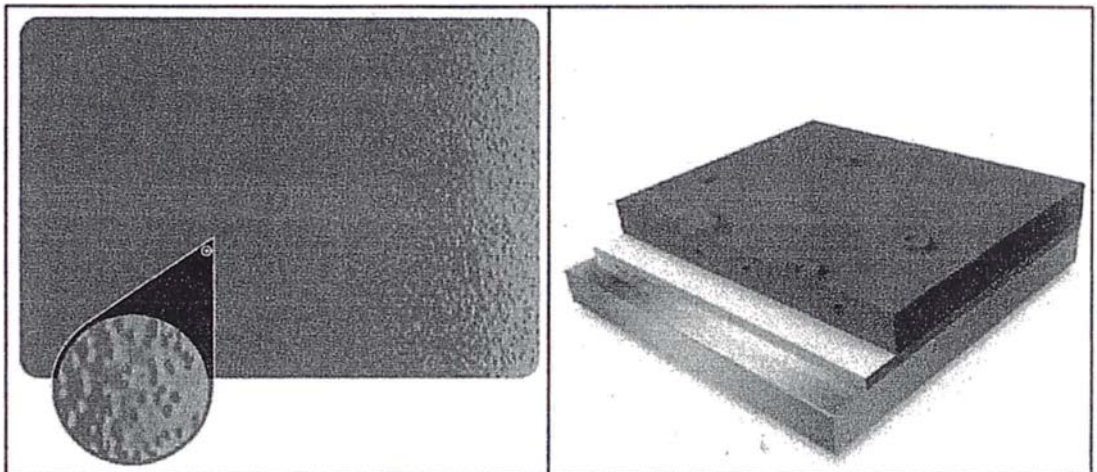


Figura 2.20 Ampollas o burbujas de aire.

#### 2.12.5. Corrosión interna

Presencia de óxido en la zona del soporte debido a la presencia de humedad desencadenando la reacción electroquímica del metal con el oxígeno apareciendo ampollas o decoloraciones en la superficie de la pintura (Figura 2.21).

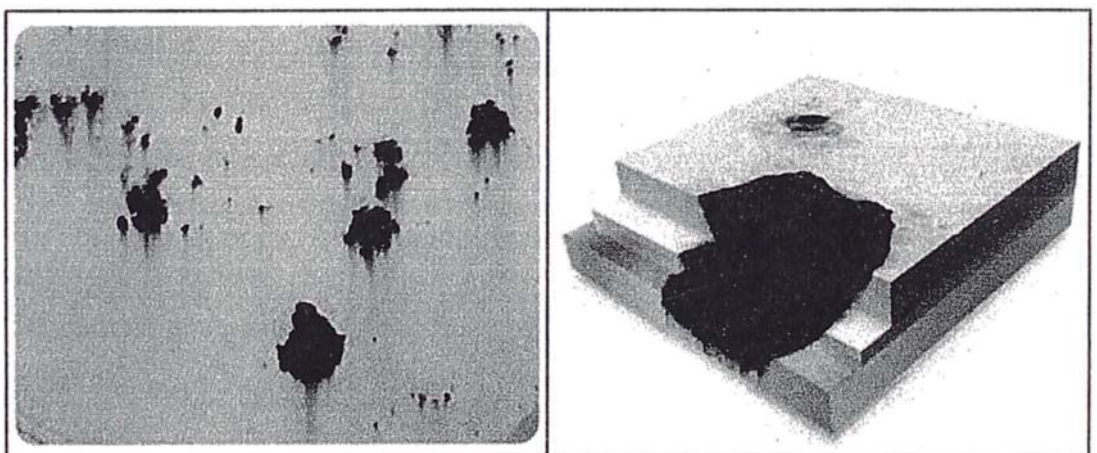


Figura 2.21 Ampollas o burbujas de aire.

### 2.12.6. Cráteres

Defecto superficial producido por falta de humectación al soporte o capa de fondo dejando éstas a la vista, en mayor o menor grado, en función de la tensión superficial.

Suelen estar producidos principalmente por la presencia de contaminantes como silicona, grasa, aceite que repelen la pintura (Figura 2.22).

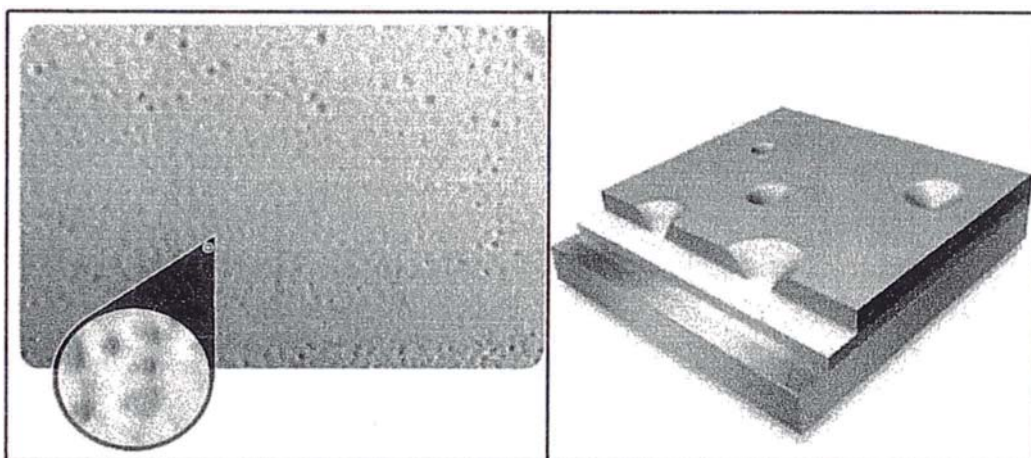


Figura 2.22 Cráteres.

## 2.13. Pruebas en campo

### 2.13.1. Medición de condiciones ambientales

El monitoreo de las condiciones ambientales constituye el punto de partida del proceso tecnológico de aplicación de pinturas, por lo que se requiere conocer cómo inciden estos factores en la preparación de superficie (figura 2.23), en la aplicación, durante el secado, el curado y en el comportamiento o durabilidad del recubrimiento.

El instrumento comúnmente utilizado es el Psicrómetro (figura 2.24), mediante el cual se puede medir las temperaturas de bulbo húmedo, de bulbo seco y con base en estos dos valores, y con el uso de las Tablas Psicométricas del sistema aire-agua nos permitirá calcular la humedad relativa y el punto de

rocío. También existen otros instrumentos como los denominados Higrómetros los que nos permiten determinar directamente la humedad relativa y el punto de rocío. El método que cubre estas determinaciones se encuentra en la Norma ASTM E337- 84: “Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (The Measurement of Wet and Dry-Bulb Temperatures)”, Ver anexo 11.

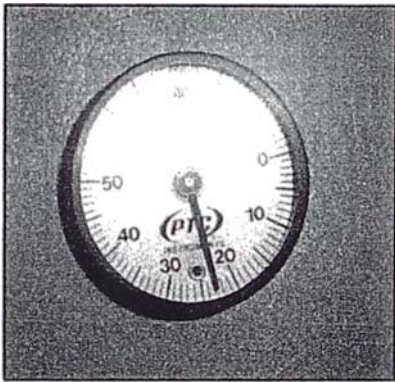


Figura 2.23 Termómetro de Superficie.



Figura 2.24 Psicómetro mecánico.

### 2.13.2. Visualización fotográfica de la preparación de superficie

Consiste en comparar las fotografías de referencias del SSPC – VIS 1: Estándar Visual para la Limpieza Abrasiva del Acero, ver anexo 1, para estar acorde con dicha preparación de superficie en taller y/o campo.

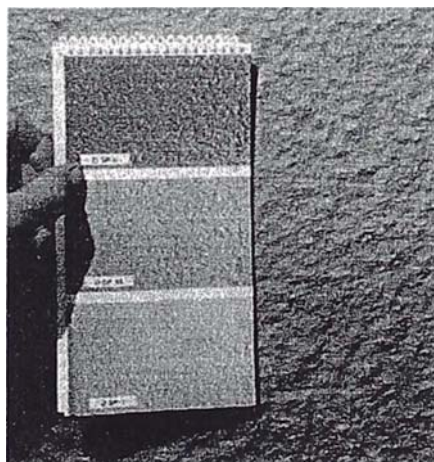


Figura 2.25 Termómetro de Superficie

### 2.13.3. Determinación del perfil de rugosidad

Se mide la rugosidad o perfil de anclaje con la cinta Testex y el rugosímetro, teniendo como referencia la ASTM D 4417-C: Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel - Method C, ver anexo 12.



Figura 2.26 Copia del Perfil de Rugosidad

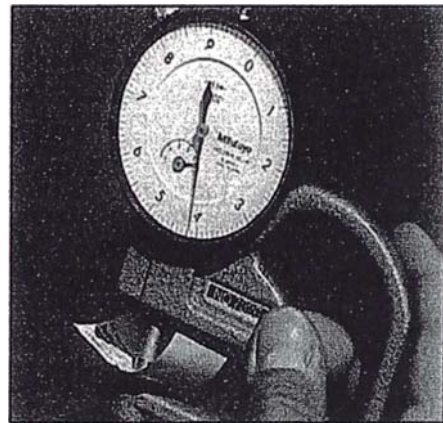


Figura 2.27 Medición del Perfil de Rugosidad

### 2.13.4. Determinación de sales solubles en la preparación de superficie

Medición del nivel de contaminantes no visibles (sales solubles) sobre la superficie por diferentes métodos, teniendo como referencia a la SSPC – TU4: Método de campo para la extracción y análisis de sales solubles en acero, ver anexo 13.

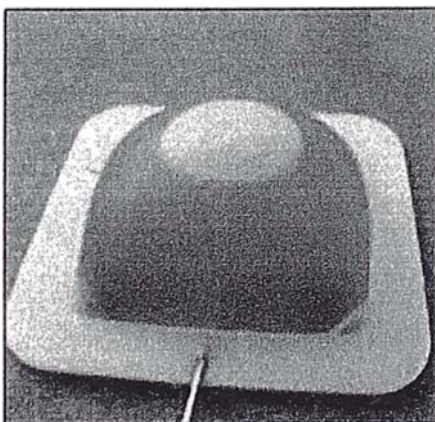


Figura 2.28 Método del Parche Bresle

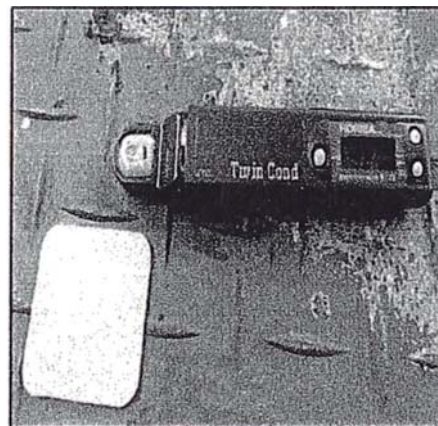
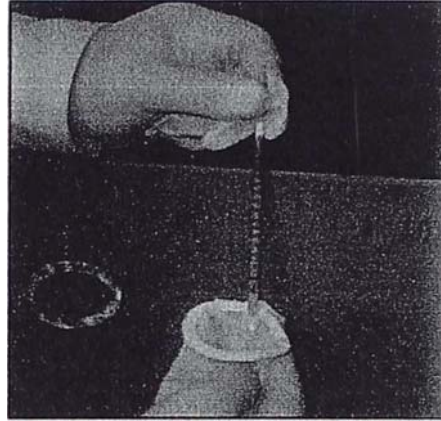


Figura 2.29 Medición de la conductividad





**Figura 2.30 Método de la Manga**



**Figura 2.31 Medición de iones cloruros.**

### **2.13.5. Determinación cuantitativa de la adherencia por tracción**

Este método está descrito en la Norma ASTM D 4541; Método de Prueba Estándar para la Resistencia al Desprendimiento de Recubrimientos Usando Probadores Portátiles de Adherencia, ver anexo 14.

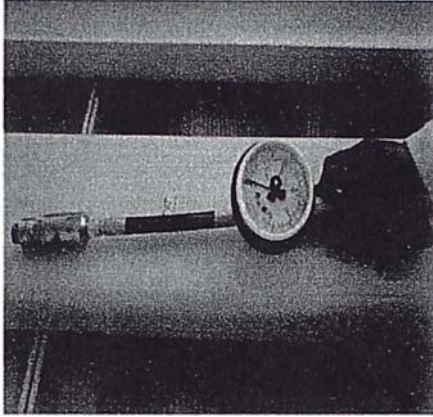
Este método de prueba cubre aparatos y procedimientos para evaluar la fuerza de desprendimiento (adherencia) de un recubrimiento, determinando:

- Ya sea la fuerza perpendicular más grande (en tensión) que una superficie pueda soportar antes de que un pedazo del recubrimiento se desprenda, o
- Si la superficie permanece intacta a una fuerza predeterminada (pasa/falla).

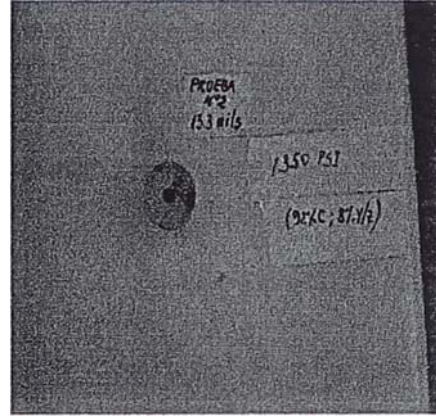
La falla ocurrirá a lo largo del plano más débil en el sistema, el cual comprende:

- Prueba de cohesión
- Sistema adhesivo-recubrimiento
- Substrato

Las fallas serán expuestas por la superficie fracturada.



**Figura 2.32** Equipo de Tracción Tipo 3



**Figura 2.33** Resultados de la Tracción

### 2.13.6. Medición de adherencia con cinta de prueba

ASTM D 3359, Método de Prueba Estándar para Medir Adherencia por Cintas de Prueba, describe dos métodos para medir la adherencia, ver anexo 15. El Método A en el que se hace un corte en X en la película del recubrimiento. Este método se usa para películas de recubrimiento de espesor superior a  $127\ \mu\text{m}$  (5 mils).



**Figura 2.34** Corte en X Después de la Remoción de la Cinta

### 2.13.7. Detección de discontinuidades

ASTM G 62, Determinación de Discontinuidades (Holiday) en la Película de Pintura, ver anexo 16. Los Detectores Holiday de Esponja Húmeda se utilizan para la detección de discontinuidades (holidays) en recubrimientos de filme Delgado/fino (0-20 mils) de pintura, epóxica o cualquier material no-conductivo aplicado a material conductivo. Este tipo de detector utiliza 67-1/2 voltios CD para probar voltaje, el cual es aplicado a la superficie a probar vía esponja mojada. El flujo (usualmente agua) en la esponja humeda llena los vacios en la superficie a probar y permite corriente baja de (micro ampere) fluir dentro de cualquier defecto en el área probada. La corriente se mueve a través del holiday (defecto) dentro del substrato conductivo el cual activa una bocina, luz o salida indicando la presencia de un holiday (defecto). La siguiente figura 2.35 muestra la forma de realizar la prueba.

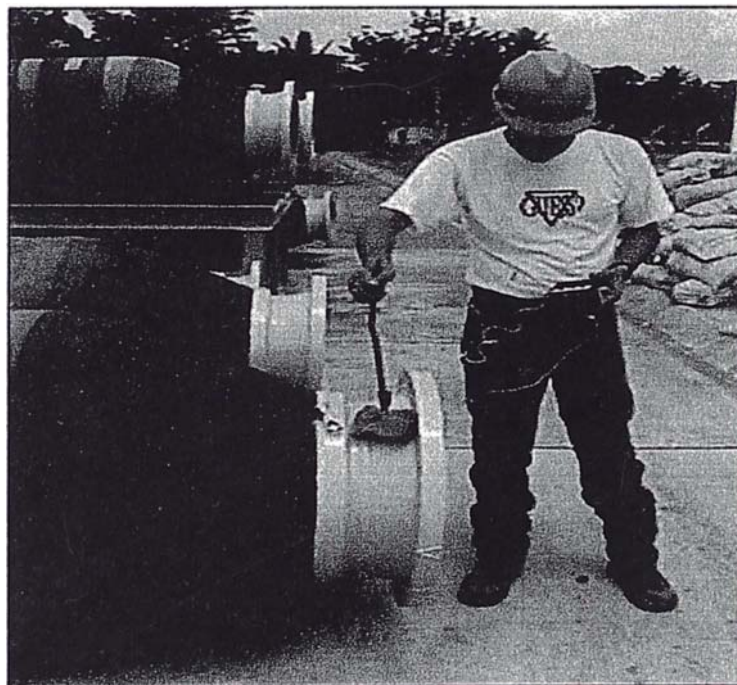


Figura 2.35 Detección de Discontinuidades en la Película de Pintura.

### 2.13.8. Medición de espesores de película seca.

En medición de espesores de película seca se utilizan medidores electrónicos usualmente del Tipo 2, teniendo como referencia a la SSPC PA2, Medición del espesor de película seca del recubrimiento, ver anexo 17.

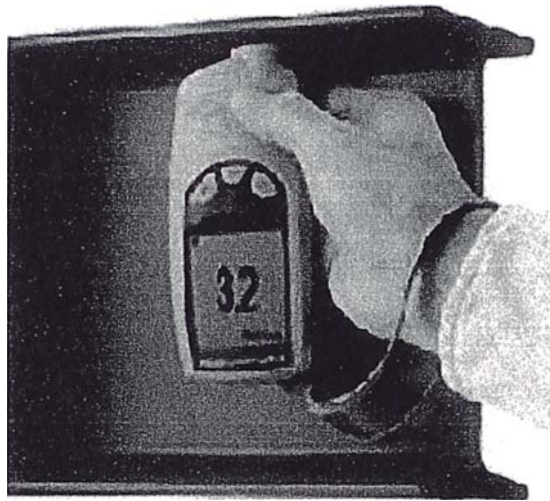


Figura 2.36 Medidor de espesor de película seca en mils.



Figura 2.37 Medidor de espesor de película seca en micras.

### **3. DESARROLLO DEL TEMA**

#### **3.1. Procedimientos de trabajo**

##### **3.1.1. Evaluación en las elementos metálicos**

Para hacer frente a los daños que se observa alrededor de los elementos metálicos en el ambiente expuesto, se realizan en forma apropiada las tareas de mantenimiento. Los procedimientos de mantenimiento a veces incluyen renovación del material en forma parcial o total, relleno de soldaduras en agujeros, sistemas de pintura adecuados que permitan proteger, para ampliar el periodo de servicio de las instalaciones un buen mantenimiento disminuye los riesgos de deterioro de éstas estructuras.

Por tal motivo se efectúa una evaluación y diagnostico del estado actual del recubrimiento, para posterior recomendar un sistema de pintura acorde a las exigencias del medio expuesto a trabajar.

Cuando se trata de evaluar estructuras para mantenimiento, tener en cuenta los siguientes criterios:

##### **3.1.1.1. Data histórica:**

- a. Tipo de preparación de superficie inicialmente.
- b. Sistema de Pintura (número de capas, tipos de recubrimientos aplicados, espesor de película seca).
- c. Método de aplicación.
- d. Año de la aplicación del sistema.
- e. Último mantenimiento realizado.
- f. Proveedor o fabricante del recubrimiento aplicado

### **3.1.1.2. Tipo de servicio expuesto del elemento evaluado**

La norma ISO 12944 – Part 2 (Ver anexo 18), proporciona tablas sobre las clases de corrosión en entornos típicos tanto en zonas atmosféricas como de inmersión. Estos ambientes se han de interpretar como indicaciones sobre las circunstancias para las que los sistemas de recubrimiento están diseñados y así puedan resistir periodos prolongados. Ver la tabla 3.1.

### **3.1.1.3. Tipo de mantenimiento según nivel de daño en el recubrimiento**

Se han considerado a continuación tres tipos de mantenimiento, a partir de los cuales se pueden establecer las prioridades en el nuevo programa de mantenimiento.

#### **A.- Consideraciones**

**Mantenimiento mayor.-** Consiste en el reemplazo total de la pintura antigua en el 100% del área, el cual se realiza por alguna de las siguientes causas:

- Espesor total de pintura antigua sobrepasa los 15 mils en promedio.
- El sistema antiguo está compuesto por productos alquídicos.
- Existe una mala adhesión del sistema de pintura antiguo.
- La corrosión alcanza por lo menos el 30% del área (evaluado en plancha y cordones de soldadura) y se observa corrosión generalizada. El daño se observa en cilindro y/o techo del tanque.
- Puede involucrar cambio o reforzamiento de planchas en zonas donde el material se ha visto afectado por la corrosión.

**Mantenimiento medio.-** Consiste en la aplicación de retoques en las zonas puntuales con presencia de corrosión y la aplicación de una capa

general para extender el tiempo de vida del sistema total de recubrimiento, esto se realiza por la siguiente causa:

- La corrosión se presenta en un 10% - 30% del área total (evaluado en plancha y cordones de soldadura) con presencia de corrosión puntual.
- Se observa deterioro o atizamiento de la capa de acabado.
- Se observa buena adhesión de capa base, deterioro o falta de adhesión de capas de acabado.

**Mantenimiento menor.-** Consiste en la aplicación de retoques en las zonas puntuales con presencia de corrosión para detener su aparición y aumento, esto se realiza por alguna de las siguientes causas:

La corrosión se presenta en menos del 10% del área total evaluada.

#### **3.1.1.4. Parámetros de evaluación**

##### **1. Grado de oxidación**

**Norma:** ASTM D 610, Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Surfaces, ver anexo 19. La cual se basa en la designación del grado de herrumbre u oxidación que presenta un sistema de recubrimientos y la cual se obtiene por comparación con una serie de dibujos que relacionan el grado de oxidación con el porcentaje de área afectada. Ver tabla 3.2.

Los ejemplos visuales que representan el porcentaje de oxidación dada en las especificaciones escritas forman parte de la norma. En el caso de una disputa, la definición escrita prevalece. Estos ejemplos visuales fueron desarrollados en cooperación con SSPC: The Society for Protective Coatings para promover la normalización de los métodos.

**Tabla 3.1 Categorías de corrosividad atmosférica**

<b>Categorías de corrosividad</b>	<b>Típicos entornos exteriores</b>	<b>Típicos entornos internos</b>
C1 Muy bajo	-----	Edificios con calefacción y ambientes limpios. Ejemplo: Oficinas, escuelas, tiendas, hoteles.
C2 Bajo	Ambientes con niveles bajos de contaminación. Mayormente en zonas rurales.	Edificios sin calefacción, donde la condensación puede ocurrir. Ejemplo: Depósitos, almacenes pabellones deportivos.
C3 Medio	Ambientes urbanos e industriales, con contacto a contaminación moderada de dióxido de azufre. Áreas costeras con baja salinidad.	Plantas de producción con elevada humedad y contaminación en el aire (salas de procesamiento de alimentos, lavanderías, fábricas de cerveza, fábricas de diarios)
C4 Alto	Zonas industriales y áreas costeras con salinidad moderada.	Mayormente para plantas químicas, piscinas, astilleros costeros entre otros.
C5 - I Muy alto (industrial)	Zonas industriales con elevada humedad y atmósfera agresiva.	Edificios y zonas con condensación casi permanente y alta contaminación
C5 - M Muy alto (Marino)	Zonas con salinidad alta, ubicadas en ambientes costeros y en el mar.	Edificios y zonas con condensación casi permanente y alta contaminación



**Tabla 3.2 Relación entre el grado de oxidación y el porcentaje de área afectada según ASTM D 610-05**

<b>Grado de oxidación</b>	<b>Porcentaje de área afectada</b>
10	Menor o igual al 0.01% del área herrumbrada
9	Mayor de 0.01% hasta 0.03%
8	Mayor de 0.03% hasta 0.10%
7	Mayor de 0.10% hasta 0.30%
6	Mayor de 0.30% hasta 1.00%
5	Mayor de 1.00% hasta 3.00%
4	Mayor de 3.00% hasta 10.00%
3	Mayor de 10.00% hasta 16.00%
2	Mayor de 16.00% hasta 33.00%
1	Mayor de 33.00% hasta 50.00%
0	Mayor de 50.00% del área herrumbrada

**Además:** Según el tipo de distribución de óxido superficial visible usar las designaciones: **Spot** (concentrado en pocas áreas), **General** (generalizado), **Pinpoint** (concentrado en muy pequeñas áreas) y **Hybrid** (más de uno de los tipos anteriormente descritos), cuyas abreviaturas asignadas son: **S, G, P y H** respectivamente.

Similar a utilizar es la **SSPC VIS 2**, Guía visual de referencia de superficie de acero, preparadas con chorro abrasivo. Ver anexo 2.

## **2. Grado de ampollamiento – corrosión**

**Norma:** **ASTM D 714-05**, Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints, ver anexo 20. La cual se basa en la designación del grado de ampollamiento que presenta un sistema de recubrimientos y la cual se obtiene por comparación de una serie de dibujos que relacionan el grado de ampollamiento según el tamaño de la ampolla (2, 4, 6, 8) y la densidad de las mismas F (poca), M (medio densa), D (densa).

**Tabla 3.3 Relación entre el grado de ampollamiento y densidad según ASTM D 714-05**

<b>Grado ampollamiento</b>	<b>Tamaño (mm)</b>
10	0
8	(0 - 1)
6	(1 - 2)
4	(2 - 3)
2	(3 - 5)
0	Mayor de 5

**Tabla 3.4 Relación entre el grado de ampollamiento y densidad según ASTM D 714-05**

<b>Densidad</b>	<b>Descripción</b>
0	Sin ampollas
F	Poca
M	Media
MD	Medio Densa
D	Densa

**Nota:** Cuando la distribución de las ampollas no es uniforme, usar designaciones como: **Small Clusters** (zonas pequeñas), **Large Patches** (zonas grandes), cuyas abreviaturas asignadas son **SC** y **LP** Respectivamente.

### **3. Adhesión por corte**

**Norma ASTM D6677**, Evaluación de la Adhesión por corte con cuchilla.

Ver anexo 21.







Tabla 3.5 Sistema de clasificación

Clasificación	Descripción
10	Recubrimiento extremadamente difícil de eliminar, no más grande que fragmentos aproximadamente 0.8 por 0.8 mm (1/32 pulgadas por 1/32 pulgadas) que se retiraron con gran dificultad.
8	El recubrimiento es difícil de eliminar, virutas que oscilan desde aproximadamente 1.6 por 1.6 mm (1/16 por 1/16 pulgadas) a 3.2 por 3.2 mm (1/8 por 1/8 pulg) pueden eliminarse con dificultad.
6	Recubrimiento es algo difícil de eliminar, fichas van desde aproximadamente 3.2 por 3.2 mm (1/8 por 1/8 pulgada) a 6.3 por 6.3 mm (1/4 a 1/4 pulgadas) se puede quitar on ligera dificultad.
4	Recubrimiento es un tanto difícil de eliminar, fichas en exceso de 6.3 por 6.3 mm (1/4 a 1/4 pulgadas) se puede quitar ejerciendo una ligera presión con la hoja del cuchillo.
2	El recubrimiento se elimina fácilmente, una vez iniciado con la hoja del cuchillo, el recubrimiento puede ser captado con los dedos y es fácil de pelar a una longitud de al menos 6.3 mm (1/4 pulgadas).
0	Recubrimiento se puede pelar fácilmente desde el sustrato hasta una longitud mayor de 6.3 mm (1/4 pulgadas).

#### 4. Adhesión por cinta

Norma ASTM D3359, Método estándar de medición de adherencia por el método de la cinta. Ver anexo 15.

**Cuadro 3.6 Escala de adherencia**

Clasificación	Superficie después de la prueba	Descripción
5 A		Si desprendimiento ni remoción.
4 A		Desprendimiento a lo largo de la incisión o intersección.
3 A		Rasgado de 1.6 mm a lo largo del corte en uno u otro lado.
2 A		Rasgado de 3.2 mm a lo largo del corte en uno u otro lado.
1 A		Remoción de la mayor parte del área de la X debajo de la cinta.
0 A		Remoción sobre el área de la X.

### **3.1.1.5. Resultados de la evaluación**

Los resultados de la evaluación me permitirán realizarlos siguientes tipos:

- a. Mantenimiento (Mayor, medio ó menor).
- b. Preparación de superficie.
- c. Sistema de Pintura (número de capas, tipos de recubrimientos aplicados, espesor de película seca).
- d. Método de aplicación.

### **3.1.2. Monitoreo de las condiciones ambientales**

Durante el desarrollo de los trabajos se debe monitorear los parámetros de las condiciones ambientales como son:

- a. Temperatura del aire o denominada de bulbo seco.<sup>4</sup>
- b. Humedad relativa
- c. Punto de rocío
- d. Temperatura de superficie.
- e. Materiales contaminantes (polvo, etc.)

El método que cubre estas determinaciones se encuentra en la Norma ASTM E337 – 84. Ver anexo 11.

En el pintado del sistema de pintura especificado se realizará en las siguientes condiciones climatológicas y ambientales

- ✓ Humedad relativa no mayor al 85%
- ✓ La temperatura de la superficie debe ser mínimo 3 °C por encima de la temperatura del punto de rocío.

Estas condiciones también se aplican en la preparación de superficie del sustrato para evitar la condensación del vapor de agua y retardar el flash rusting (oxidación instantánea).

### 3.1.3. Preparación de la superficie

#### 3.1.3.1. Pre limpieza de la preparación de superficie

- **Imperfecciones**

Se debe eliminar previamente las imperfecciones que producen aristas y vértices agudos redondeándolas aproximadamente 3mm de radio como mínimo, salpicaduras de soldadura en caso las hubiese, bordes de maquinado, cordones de soldadura, filos, cantos y picos en general las mismas que deberán removerse mediante esmeril u otro método aceptable, dado que en estas zonas el recubrimiento adopta bajos espesores y por abrasión se pierde la continuidad de la película dando inicio a la corrosión.

- **Visibilidad**

Se debe proporcionar la luz necesaria, para que los trabajos se realicen con la suficiente visibilidad, normalmente se utilizan reflectores.

En la preparación de superficie y aplicación de un recubrimiento se requieren un mínimo de 215 candelas por metro, recomendando 538 candelas por metro.

- **Ventilación:**

La ventilación debe mantenerse durante toda la preparación de la superficie, aplicación del sistema de pintura y durante el proceso de curado, según con las instrucciones de la ficha técnica del fabricante.

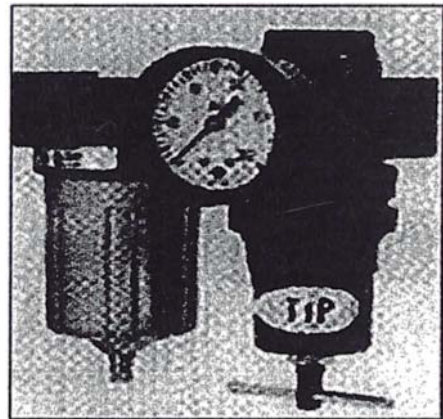
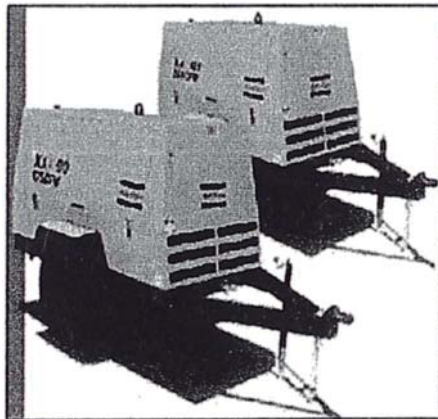
- **Aire comprimido:**

Cuando se usa un compresor de aire, ya sea para limpieza por chorreado, o en operación con equipos de rociado o herramientas neumáticas, el compresor debe estar apropiadamente dimensionado para tener un volumen disponible para mantener las presiones requeridas (Figura 3.1). Los suministradores de equipos de este tipo poseen tablas y gráficos que permiten la selección de compresores y de accesorios para el chorro

abrasivo como mangueras, boquillas, etc., sobre la base del consumo y la presión de trabajo requerida.

El aire comprimido usado para la limpieza y el pintado debe ser chequeado para ver la presencia de contaminantes. Trampas de aceite y de humedad (Figura 3.2) deben ser colocadas adecuadamente de forma que se asegure que el aire es suficiente y libre de aceite de modo que no interfiera en el trabajo

Para evitar la contaminación por aceite y humedad en la superficie del tanque, se debe realizar una prueba de acuerdo a la norma ASTM D 4285 (Ver anexo 22). Esta debe realizarse antes de comenzar la preparación de superficie y si se produce fallas, se cambian los filtros de humedad y aceite.



**Figura 3.1** Compresores de Aire Mviles    **Figura 3.2** Filtro de Aceite

- **Condición del abrasivo:**
  - a. El abrasivo a utilizar en la preparación de superficie debe estar libre de cualquier contaminante como suciedad, sales solubles, sustancias tóxicas y materia orgánica, además el proveedor debe certificar que cumple con lo mencionado.

- b. El abrasivo no debe estar contaminado de aceite y grasa, para verificar se mezcla 100 cm<sup>3</sup> de abrasivo con 100 cm<sup>3</sup> de cloruro de metilo o aguarrás durante 5 minutos, luego se coloca sobre un vidrio 5 gotas de este solvente. Después de evaporarse se lleva a luz ultravioleta en total oscuridad, si se observa luz color azul, el abrasivo no se acepta.
- c. Se utilizará abrasivo de tamaño medio Malla 12 – 30 de referencia para obtener un perfil de anclaje (rugosidad) entre 1.8 – 2.5 mils, casos especiales se de tenerse una rugosidad mayor de preferencia usa granalla angular.
- d. La determinación de sales solubles en el abrasivo debe ser según norma ISO 11127 – Parte 6: Determinación de sales solubles en el abrasivo, en donde el abrasivo se mezcla con agua desionizada en proporción de 1:1 (ejemplo 100 gr de abrasivo con 100 ml de agua desionizada) con un máximo de conductividad de 1  $\mu$ S/cm (equipo mostrado en la figura 3.3), si el abrasivo excede de 250  $\mu$ S/cm, se rechaza. Ver anexo 23.



**Figura 3.3** Conductímetro Horiba



### 3.1.3.2. Limpieza de la preparación de superficie

- **Lavado**

En caso que las estructuras presenten contaminación por grasas y aceites se deberá lavar en forma general; el lavado debe realizarse con agua y detergente biodegradable según norma SSPC SP1 (ver anexo 3), luego enjuagar con abundante agua potable de baja conductividad, siendo así mismo, eliminados los contaminantes no visibles como sales solubles)de las superficies metálicas.

- **Secado**

Posteriormente al lavado se procederá a secar pasando aire seco a presión.

- **Preparación con chorro abrasivo**

a. El grado de limpieza mediante chorro abrasivo debe estar de acuerdo a la especificación de la pintura, según las siguientes normas:

**Tabla 3.7 Grado de limpieza**

<b>Grado de limpieza</b>	<b>SSPC</b>
Limpieza con chorro abrasivo a metal blanco	SP 5
Limpieza con chorro abrasivo comercial	SP 6
Limpieza con chorro abrasivo brush off	SP 7
Limpieza con chorro abrasivo a Metal Cercano al Blanco	SP 10

b. Luego de la limpieza de la superficie por chorro abrasivo se realizará la prueba de la determinación de sales solubles en agua, sobre la superficie exterior tratada, se realizará según Método Bresle, Norma ISO 8502- Parte 6 ó similar a la SSPC – TU4 (ver anexo 13), permitiéndose un valor máximo de 16.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la conductividad del agua y su equivalente en cloruro sódico de 100  $\text{mg}/\text{m}^2$  máximo.

- c. Adicionalmente se realiza la edición del perfil de rugosidad según Norma ASTM D 4417, método C (ver anexo 12).

### 3.1.3.3. Post limpieza de la preparación de superficie

- Inmediatamente después de terminado, se procederá a limpiar con aire seco a presión para eliminar cualquier residuo o contaminante.
- En caso que se encuentre abrasivo bien adherido a la superficie se lijará para luego escobillarse con escobillas de cerdas plásticas y finalmente limpiar con aire comprimido.

### 3.1.4. Sistema de pintura

- Todas las pinturas en las hojas técnicas indican sus propiedades, modo de reparación y los equipos que se utilizan para su aplicación.

**Tabla 3.8 Sistema de pintura**

<b>Nº de capas</b>	<b>Producto</b>	<b>EPS (mils)</b>
1	Base, imprimante	EPS 1
1	Capa intermedia	EPS 2
1	Capa final o acabado	EPS 3
<b>Total EPS (Espesor de película seca)</b>		<b>EPS<sub>T</sub></b>

- Las zonas de donde existe ángulos, uniones, soldaduras, etc. Debe aplicarse previamente una capa de pintura llamada stripe coat ( capa delgada que se aplica antes de una capa de pintura para alcanzar el espesor recomendado en zonas de difícil acceso), después de su secado se procede a aplicar el espesor recomendado

- Durante la aplicación se debe evitar los defectos tales como: exceso de espesor, bajo espesor e inadecuada mezcla. Cada capa del sistema debe ser inspeccionado incluido el stripe coat.
- La película de pintura debe ser uniforme, libre de pulverizado seco (over spray), chorreo, agujeros, suciedad y restos de abrasivo. Todos estos defectos deben ser resanados antes de aplicar la siguiente capa de pintura y debe estar dentro de los límites de repintado.
- La medición de espesor película seca se realiza con un medidor no destructivo. Esta medición se realiza de acuerdo a la norma SSPC PA2 (ver anexo 17).
- El pintado de la siguiente capa debe realizarse dentro de los intervalos de repintados especificada en la hoja técnica proporcionado por el fabricante.

Las pinturas deben ser almacenadas en bodegas cubiertas para prevenir la humedad, suficientemente ventiladas y libres de calor excesivo, fuera del contacto con llamas o cualquier otra circunstancia que pudiere iniciar un incendio

### **3.2. Pruebas a realizar después de la aplicación y curado de la pintura**

#### **3.2.1. Adhesión**

- La adherencia se debe medir de acuerdo a las normas ASTM D 3359 y ASTM D 4541 (ver anexo 15 y anexo 14 respectivamente).

#### **3.2.2. Pinholes**

- Los pinholes o agujeros a detectar debe realizarse de acuerdo a la norma ASTM G 62 (ver anexo 16), de encontrarse debe resanarse.

### 3.3. Criterios de aceptación del trabajo realizado

La aceptación de los trabajos de pintados se realiza conforme a los siguientes criterios:

- Espesores de película seca debe estar de acuerdo al especificado en el sistema de pintado y se evalúa de acuerdo a la SSPC PA2 (Ver anexo 17). Esta norma indica que la medición del espesor de película seca de cada spot debe ser como mínimo un 80% y máximo 120% del espesor especificado, siendo el promedio de cada spot mayor e igual al espesor de película seca especificada.

Altos espesores aseguran buenas propiedades de flujo, satisfactorio poder cubriente y reducida permeabilidad al vapor de agua, gases, etc.

Sin embargo, espesores elevados generalmente conducen al deterioro de las propiedades físico mecánicas y consecuentemente a un desempeño en servicio menos eficiente. Por lo cual es necesario controlarlo.

- No debe existir defectos de aplicación como grumos, pinholes, ampollamiento, cáscara de naranja, decoloración, descolgamientos, descascaramientos, velados, cuarteados, agrietamientos, zonas descubiertas y otras.
- Las pruebas realizadas en campo deben ser satisfactorias según las normas internacionales y datos del proveedor. Esto va a depender según de los elementos a pintar y del ambiente de trabajo.

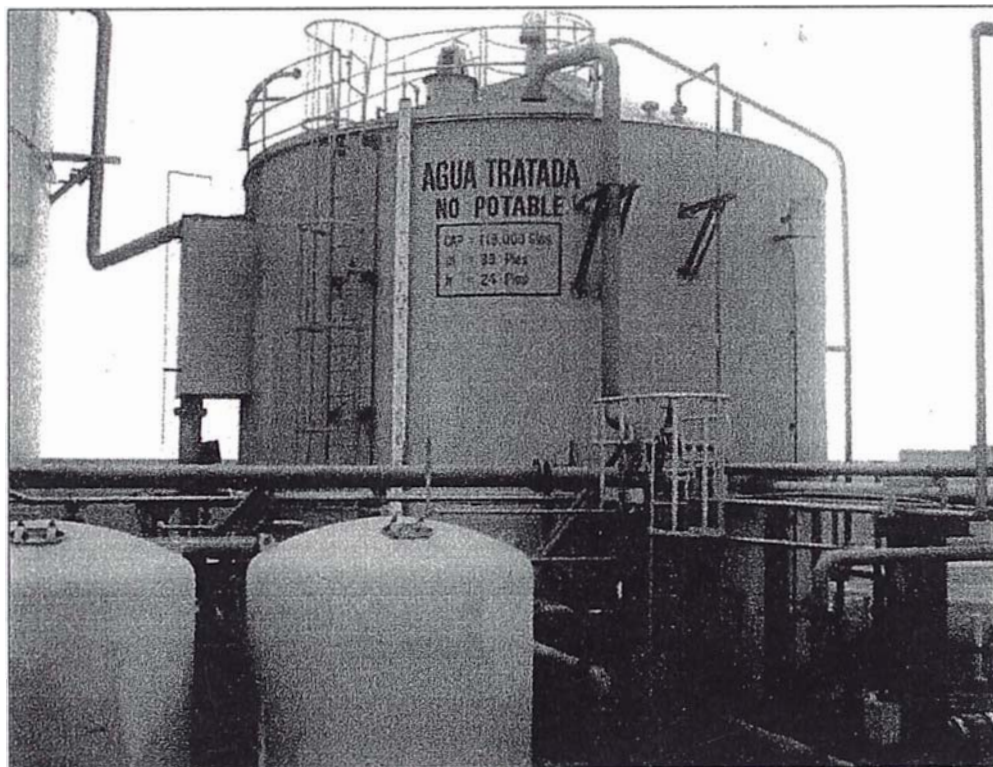
Al aceptar estos puntos en la aplicación del recubrimiento, permitirá aumentarle años de protección al elemento metálico, cumpliéndose la performance del recubrimiento.

#### **4. MANTENIMIENTO DE TANQUE, TUBERÍAS, PLATAFORMA, MOTORES ELÉCTRICOS Y SOPORTES**

El presente trabajo se ha realizado para el mantenimiento de elementos metálicos a acero al carbono e inoxidable, en el cual se ha realizado una inspección y evaluación del estado actual de estos.

##### **4.1. Elementos Evaluados**

En la figura 4.1 se muestran los elementos que se listan en el cuadro 4.1, así como el ambiente industrial expuesto.



**Figura 4.1 Elementos Evaluados – Tanque, tuberías, plataforma, soporte y motores (Vista Frontal – Este).**

Los elementos a evaluar son los siguientes:

**Tabla 4.1 Elementos evaluados**

<b>Elementos</b>	<b>Superficies de evaluación</b>
1.- Tanque de H2O tratada no potable	Interior y exterior
2.- Tuberías	Acero al carbono y acero inoxidable
3.- Plataformas	Barandas, escaleras, parrillas y soporte
4.- Motores eléctricos	Carcaza, guarda e impulsor
5.- Soportes	Vigas H, canales y ángulos.

#### 4.2. Parámetros técnicos

En la evaluación de los elementos se tendrá como referencia las siguientes normas:

**Tabla 4.2 Normas de referencia en la evaluación**

<b>Designación</b>	<b>Descripción</b>
ASTM D 610 - 05	Método de prueba estándar para evaluar el grado de oxidación en las superficies pintadas
ASTM D 714 - 05	Método de prueba estándar para evaluar el grado de formación de ampollas de las pinturas.
ASTM D 3359	Evaluación de la adhesión por cinta.
SSPC PA 2	Medición del espesor de película seca.
ASTM D 3276	Guía estándar para inspectores de pinturas (sustrato metálico)
ASTM E 337	Método estándar para la medición de humedad con un psicrómetro (medición de las temperaturas de bulbo seco y húmedo).
SSPC VIS 2	Método estándar para evaluar el grado de corrosión en superficies de acero pintado.

**Nota:** Ver el Anexos.

### 4.3. Clasificación de la atmósfera expuesta

Se realiza la clasificación del medio en donde esta expuesto los elementos evaluados. Según la Norma ISO 12944- 2: Clasificación de Entornos (Ver anexo 18), el ambiente expuesto de los elementos evaluados son de Categoría C5 – I muy alto, es decir, zona industrial con elevada humedad y atmósfera agresiva, debido a contaminación posible de vapores de SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub>, con cercanía al mar.

### 4.4. Resultados de la evaluación

En los cuadros 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6 se muestran los resultados de la evaluación de los elementos metálicos a acero al carbono e inoxidable.

**Tabla 4.3 Tanque – exterior e interior**

Tanque	Estado, % de corrosión	EPS (mils)	ASTM D 3359	Área (m <sup>2</sup> )	
<b>Exterior</b>	Techo	6S, 1%	8.0 - 12.0	3A	78.01
	cilindro	N: 3G, 16%; O: 3G, 16% S: 4G, 10%; E: 5G, 3%	6.0 -11.0	2A - 3A	221.88
	Techo	Superficie: 7G, 0.3%; Cordones: 1G, 50%	---	---	75.25
	Fondo	5G, 3% ; picaduras y ampollamiento general (2D)	16.0 - 18.0	4A	65.67
<b>Interior</b>	Cilindro	Anillo Superior: 5G, 3%; Anillo medio: 3G, 16%; Anillo inferior: 2G, 33% Picaduras	10.0 -18.0	4A	211.28

N, O, S y E: Puntos cardinales.

EPS: Espesor de película seca.

**Tabla 4.4 Tuberías – acero al carbono e inoxidable**

Tuberías	Estado, % de corrosión	EPS (mils)	ASTM D 3359	Área (m <sup>2</sup> )
Acero al carbono 12" $\phi$	Ninguno	10 - 15	1A - 4A	17.32
Acero al carbono 8" $\phi$	2G, 33%	7 - 10	2A - 3A	50.18
Acero al carbono 6" $\phi$	5G, 3%	8 - 11	2A - 3A	3.70
Acero al carbono 4" $\phi$	5G, 3% y 1G, 50%	6 - 7	0A - 4A	26.65
Acero al carbono 2 1/2" $\phi$	4G, 10%	10 - 12	0A	1.98
Acero inoxidable 4" $\phi$	9S, 0.03%	---	3A	11.00
Acero inoxidable 2 1/2" $\phi$	6G, 1%	---	3A	12.20
Acero inoxidable 3" $\phi$	2G, 33%	---	3A	12.50

EPS: Espesor de película seca

**Tabla 4.5 Plataforma**

Estructuras	Estado, % de corrosión	EPS (mils)	ASTM D 3359	Área (m <sup>2</sup> )
Escalera gato	4G, 10%	10	3A	3.0
Parrilla	Grado 0	6 - 12	0A	3.0
Soportes	Grado 0	6 - 8	2A	1.6
Baranda	5G, 3%	10 - 15	0A - 3A	2.0

EPS: Espesor de película seca

**Tabla 4.6 Motores eléctricos**

Elementos	Cantidad	Estado, % de corrosión	EPS (mils)	ASTM D 3359	Área (m <sup>2</sup> )
Carcaza	7	3G, 16%	10 - 15	2A - 3A	13.3
Guarda	7	5G, 3%	5 - 6	2A - 3A	5.6
Impulsor	7	3G, 16% y Grado 0	4 - 5	3A	7.0

EPS: Espesor de película seca

**Tabla 4.7 Soportes**

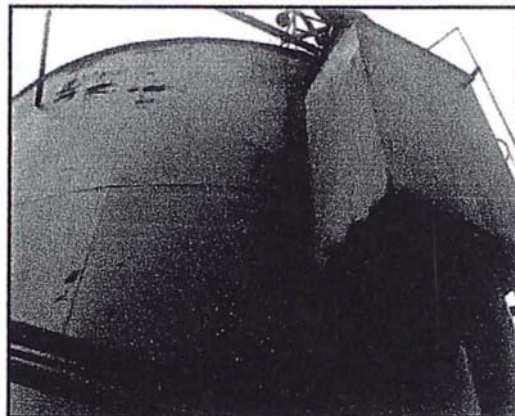
Elementos	Estado, % de corrosión	EPS (mils)	ASTM D 3359	Área (m <sup>2</sup> )
Vigas H, Canales C y Ángulos	3G, 16% y 1G, 50%	7 - 13	2A - 3A	119.32

EPS: Espesor de película seca.

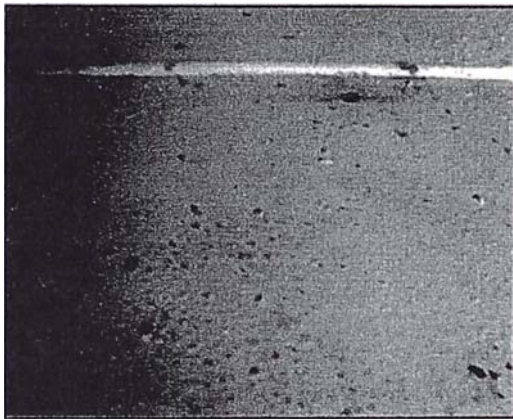




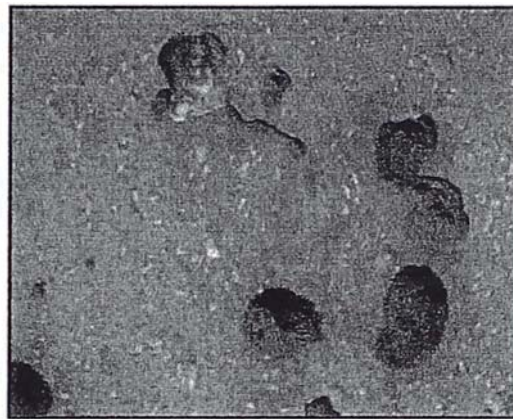
**Figura 4.2 Tanque Lado Oeste (O)**



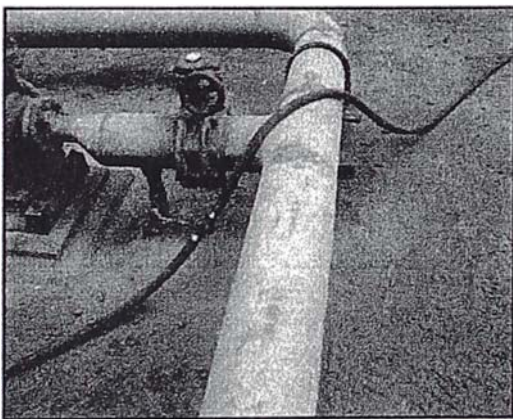
**Figura 4.3 Tanque Lado Sur (S)**



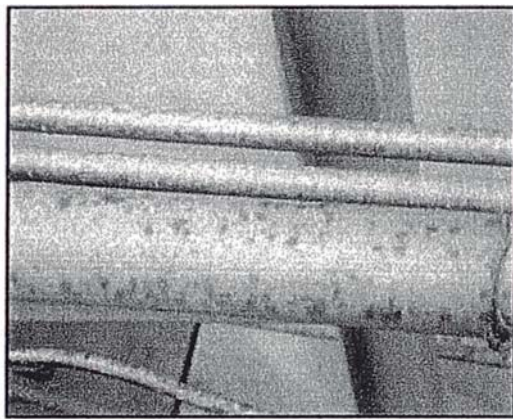
**Figura 4.4 Ampollamiento en el interior del tanque**



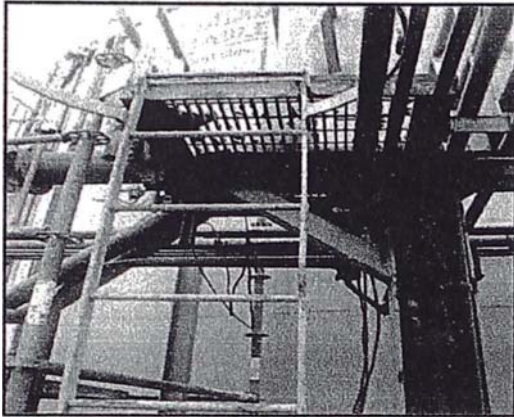
**Figura 4.5 Pared con picaduras en el interior del tanque**



**Figura 4.6 Tubería de  $\Phi 8''$**



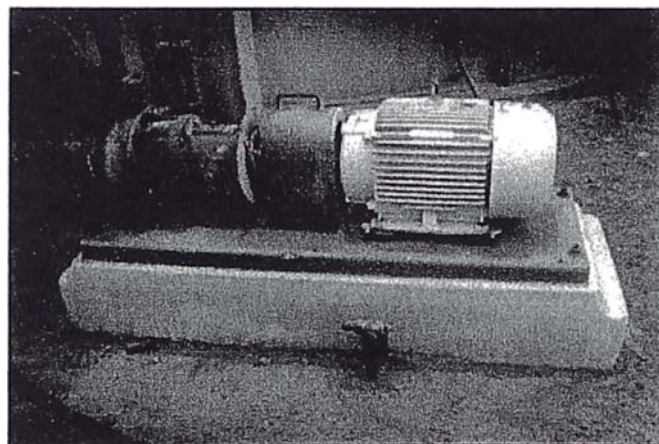
**Figura 4.7 Tubería de acero inoxidable  $\Phi 3''$**



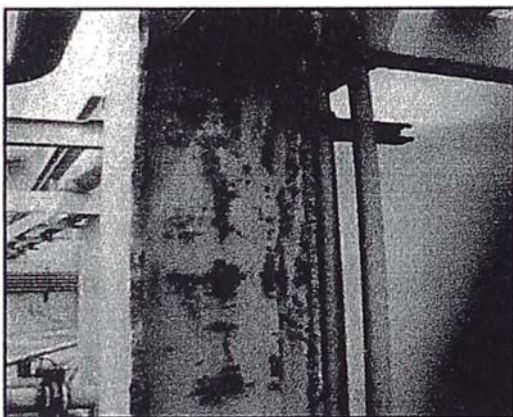
**Figura 4.8** Plataforma



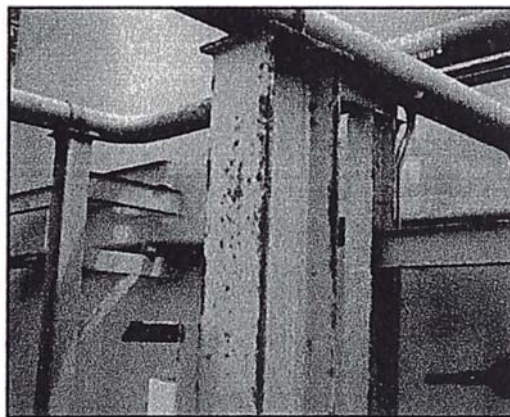
**Figura 4.9** Parrilla de la plataforma.



**Figura 4.10** Motor eléctrico.



**Figura 4.11** Soporte de tuberías.



**Figura 4.12** Soporte de tuberías.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones de la Evaluación

Según a los resultados de la evaluación en los elementos se puede concluir que se deberá aplicar:

- Mantenimiento Mayor:** Se realizará el reemplazo total de la pintura antigua, debido a que se alcanza una oxidación igual o mayor a 30% del área del elemento con una corrosión generalizada y/o por falta de adherencia de la pintura antigua u otro defecto considerable.

Los siguientes cuadros cumplen con los requisitos para realizar el mantenimiento mayor:

**Tabla 4.8 Tanque exterior e interior**

Tanque	Estado, % de corrosión $\geq 30\%$	Falta de Adherencia	Otro Defecto
Tanque exterior	√	√	-----
Tanque interior	√	-----	Picaduras y Ampollamiento

**Tabla 4.9 Tuberías a acero al carbono e inoxidable**

Tuberías	Estado, % de corrosión $\geq 30\%$	Falta de Adherencia
Acero al carbono 12" $\phi$	-----	√
Acero al carbono 8" $\phi$	√	√
Acero al carbono 6" $\phi$	-----	√
Acero al carbono 4" $\phi$	√	√
Acero al carbono 2 1/2" $\phi$	-----	√
Acero Inoxidable 3" $\phi$	√	-----

**Tabla 4.10 Plataforma**

<b>Elementos</b>	<b>Estado, % de corrosión <math>\geq 30\%</math></b>	<b>Falta de Adherencia</b>
Parrilla	√	√
Soporte	√	√
Baranda	-----	√

**Tabla 4.11 Motores**

<b>Elementos</b>	<b>Estado, % de corrosión <math>\geq 30\%</math></b>	<b>Falta de Adherencia</b>
Carcaza del motor	-----	√
Guarda	-----	√
Impulsor	√	√

- 2. Mantenimiento Menor:** Se realizará la aplicación de retoques en zonas puntuales con presencia de corrosión, debido a que se alcanza una oxidación menor a 10% del área del elemento con una corrosión generalizada.

El siguiente cuadro cumple con los requisitos para realizar el mantenimiento menor:

**Tabla 4.12 Tuberías**

<b>Tuberías</b>	<b>Estado, % de corrosión <math>&lt; 10\%</math></b>	<b>Falta de Adherencia</b>
Acero inoxidable 4" $\phi$	√	-----
Acero inoxidable 2 1/2" $\phi$	√	-----

## 5.2. Recomendaciones para Elementos Evaluados

Según el entorno de servicio de los elementos y a la duración del recubrimiento se recomienda los siguientes:

1. Tipo de preparación de superficie.
2. Sistemas de pinturas
3. Procedimiento de pintado.

### 5.2.1. Preparación de superficie

Se recomienda realizar la siguiente preparación de superficie según el cuadro 4.13.

**Tabla 4.13 Normas de referencia – Preparación de superficie**

<b>Elementos</b>	<b>Tipos de preparación de Superficie</b>
Tanque exterior	SSPC - SP 10
Tanque interior	SSPC - SP 10
Tuberías de acero al carbono	SSPC - SP 10
Tuberías de acero inoxidable	SSPC - SP 7
Escaleras y barandas	SSPC - SP 10
Parrillas	SSPC - SP 10
Carcaza de motor	SSPC - SP 2 y SSPC SP 3
Guarda	SSPC - SP 2 y SSPC SP 3
Impulsor	SSPC - SP 2 y SSPC SP 3
Soportes	SSPC SP 10

**Nota:** Ver el Anexo.

Al realizar la preparación de superficie en acero inoxidable no utilizar abrasivos a aceros al carbono.

### 5.2.2. Sistemas de Pintura.

Se recomienda el siguiente sistema de pintura según los siguientes cuadros:

**Tabla 4.14 – Esquema de pintura recomendado  
Interior del Tanque**

<b>Nº Capa</b>	<b>Producto</b>	<b>EPS Recomendado (mils)</b>
1 <sup>era</sup>	Epóxico 100% sólidos	6
2 <sup>da</sup>	Epóxico 100% sólidos	6
Total EPS (mils)		12

EPS: Espesor de película seca

**Tabla 4.15 – Esquema de pintura recomendado  
Exterior del Tanque**

<b>Nº Capa</b>	<b>Producto</b>	<b>EPS Recomendado (mils)</b>
1 <sup>era</sup>	Silicato de Zinc Inorgánico	3
2 <sup>da</sup>	Epóxico de altos sólidos	6
3 <sup>era</sup>	Poliuretano (acrílico) alifático	2
Total EPS (mils)		11

EPS: Espesor de película seca.

**Tabla 4.16 – Esquema de pintura recomendado  
Estructuras y Tuberías**

<b>Nº Capa</b>	<b>Producto</b>	<b>EPS Recomendado (mils)</b>
1 <sup>era</sup>	Epóxico rico en zinc	3
2 <sup>da</sup>	Epóxico de altos sólidos	6
3 <sup>era</sup>	Poliuretano (acrílico) alifático	2
Total EPS (mils)		11

EPS: Espesor de película seca.

### 5.2.3. Procedimiento de Pintado

Teniendo en cuenta la preparación de superficie y el sistema de pintura se procederá:

#### 1. Pre Preparación de Superficie

##### ✓ Lavado con agua y detergente

En caso de encontrarse contaminantes visibles en las estructuras metálicas, se deberá lavar la superficie con agua y detergente industrial según norma SSPC SP1 (Ver Anexo 3) para luego enjuagar con abundante agua potable de baja conductividad, en la totalidad de la superficie para eliminar la suciedad impregnada, aceite, grasas y otros materiales. Luego se procederá a secar pasando aire limpio y seco a presión.

#### 2. Pre Preparación de Superficie

##### ✓ Limpieza con chorro abrasivo

- Se utilizará abrasivo de tamaño medio Malla 18 de preferencia para obtener un perfil de anclaje de 2 a 3 mils.
- La Determinación de Sales Solubles en el abrasivo debe ser como máximo 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (ver anexo 23), en caso este valor sea superado se procederá a realizar la prueba según Método Bresle, prueba que será determinante para la aceptación o rechazo del abrasivo.
- La Determinación de Sales Solubles en agua, sobre la superficie exterior tratada, se realizará según Método Bresle (ISO 8502-6: 1995), permitiéndose un valor máximo de 16.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para la conductividad del agua y su equivalente en cloruro sódico de 100  $\text{mg}/\text{m}^2$  máximo. O se realizará la prueba del Clor Test para determinar la concentración de cloruros en

donde el valor será menor a 50 ppm. En el interior del tanque se el valor será menor a 30 ppm (Ver anexo 13).

- La preparación de la superficie, se efectuará en toda el área especificada, incidiendo en las esquinas, filos y/o cordones de soldadura.
- Se recomienda que el perfil de anclaje (rugosidad) ha obtener se encuentre entre 2.0 a 3.0 mils.

✓ **Limpieza con manual mecánica**

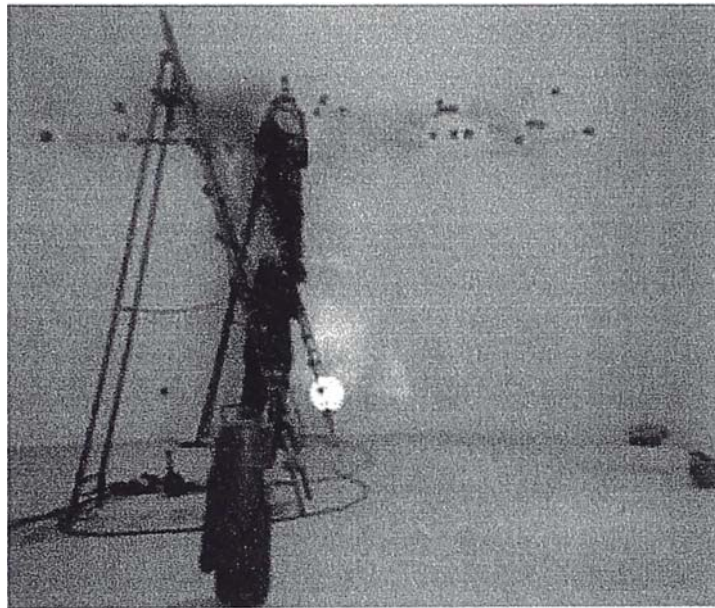
- El grado de limpieza a obtener es según norma SSPC-SP2 (ver anexo 4), Limpieza de superficie con herramientas manuales y SSPC-SP3 (ver anexo 5), Limpieza de superficie con herramientas motrices, independientemente del estado inicial de las estructuras y/o accesorios.
- Se utilizará lija N° 80, espátulas, cinceles, escobillas metálicas etc., a fin de eliminar el óxido formado, salpicadura de soldadura y todo contaminante visible adherido en la zona expuesta, los cuales son removidos con el solo esfuerzo humano ( SSPC-SP2).
- Se utilizará esmeriles, escobillas o gratas giratorias. agujas o cinceles neumáticas etc., a fin de eliminar el óxido formado, filos, cantos, salpicadura de soldadura, irregularidades en los cordones de soldadura y todo contaminante visible adherido en la zona expuesta, los cuales son removidos con estas herramientas mecánicas (SSPC-SP3).
- Posterior a toda limpieza mecánica, se debe lijar la superficie con lija N° 80.



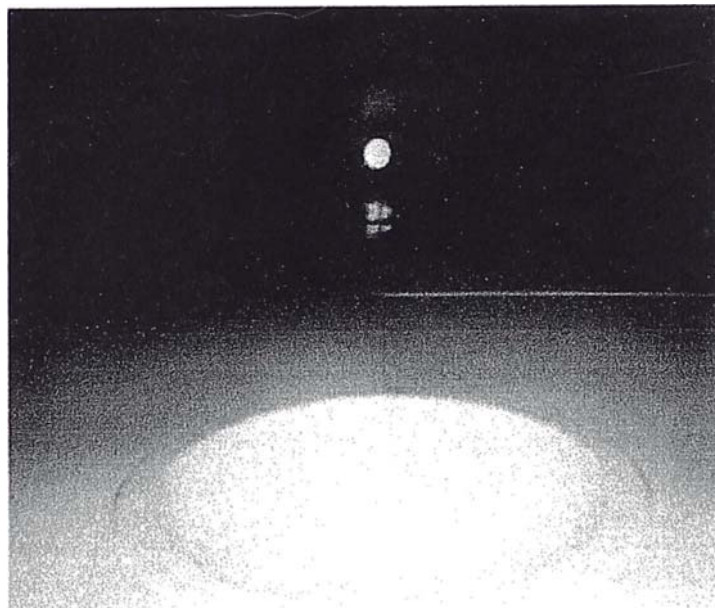
- La preparación de la superficie, se efectuará en toda la superficie que requiera mantenimiento.
  - Durante el desarrollo de los trabajos, es decir al inicio y durante la preparación de las superficies, se debe monitorear los parámetros de las condiciones ambientales como son: Humedad relativa, Punto de rocío, Materiales contaminantes, Temperatura de la superficie etc.
- ✓ **Post limpieza de la preparación superficial**
- Inmediatamente después de terminado, se procederá a limpiar con aire limpio y seco a presión para eliminar cualquier residuo o contaminante.
- ✓ **Aplicación de la pintura**
- Verificar que todos los accesorios del equipo de aplicación como, brocha, pistola y boquillas se encuentren completamente limpios, antes del inicio de la aplicación.
  - Medir las condiciones ambientales antes y durante la aplicación de la pintura. La temperatura de la superficie deberá ser mínimo 3 °C mayor que la temperatura del punto de rocío y/o la humedad relativa no debe ser superior al 85%.
  - Verificar que se disponga de todos los componentes, resina y catalizador y diluyente.
  - Homogenizar la resina y catalizador en forma individual usando un agitador neumático, mecánico o una paleta.
  - Tener presente la relación de mezcla en volumen entre la resina y el catalizador.

- Primero vierta la resina en un envase limpio y luego agregue el catalizador.
- Homogenizar completamente la mezcla con el agitador neumático o mecánico, a una revolución adecuada para evitar la formación de burbujas.
- El tiempo de inducción depende del producto. Esto se encuentra en la ficha técnica del producto.
- Filtrar la mezcla con una malla 180 o similar, usualmente se realiza con una tela de nylon.
- Aplicar la pintura a un espesor de película húmeda (usando medidores de película húmeda llamadas galletas o peines) para obtener un espesor de película seca especificado en cada capa y homogénea.
- Aplicar la pintura preparada antes de sobrepasar su tiempo de vida útil. El tiempo de vida útil disminuirá en caso aumente la temperatura ambiental.
- El tiempo mínimo para aplicar la siguiente capa de pintura y el máximo es depende el producto aplicado. La superficie debe encontrarse libre de contaminaciones. Tener en cuenta que si la superficie está expuesta permanente del sol, el tiempo máximo de repintado disminuye.
- Los espesores de película seca deben ser medidos, según el procedimiento de la norma SSPC PA2, después de su tiempo de manipuleo como mínimo.
- Utilizar el tipo de boquilla indicado en la hoja técnica del producto para lograr una buena aplicación y evitar reducir el rendimiento del producto.

- Condiciones extremas de alta humedad y bajas temperaturas retardan el proceso de secado y curado de las pintura afectando el acabado y apariencia.



**Figura 4.13 Esmerilado en el interior del tanque.**



**Figura 4.14 Pintado en el interior del tanque.**

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Brendan Fitzsimons, Visual Comparison Manual – Application and Coating Defects. 154.
- Chlord\*Rid, Chlord \*Test “C.S.N. Salts” Test Kit: Prueba de Detección de Iones Cloruros, Sulfatos y Nitratos en Campo.2.
- De la Cruz A. Condiciones Ambientales Previa a una Aplicación. Revista Inpra Latina. 2007. 14, 2
- NACE International, Programa de Inspectores de Recubrimiento Nivel 1. 22.
- Orozco R; Martínez E; Galván; Ramírez J.L.; Fernández I. Corrosión; Fenómeno Natural, Visible y Catastrófico. Revista de Divulgación Científica y Tecnología de la Universidad Veracruzana. 2007. XX, 31.
- PPG Protective & Marine Coatings. Determination of Water Soluble Salts.2
- Sigma Coatings, Manual Pinturas Marinas. 5.
- Sigma Coating, Especificación para Abrasivos Minerales.2007, 2.

## **7. ANEXOS**

**ANEXO 1: SSPC – VIS1:** Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared by Dry Abrasive Blast Cleaning.

**ANEXO 2: SSPC – VIS2:** Standard Method of Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces

**ANEXO 3: SSPC – SP1:** Solvent Cleaning

**ANEXO 4: SSPC – SP2:** Hand Tool Cleaning

**ANEXO 5: SSPC – SP3:** Power Tool Cleaning

**ANEXO 6: SSPC – SP5:** White Metal Blast Cleaning

**ANEXO 7: SSPC – SP6:** Commercial Blast Cleaning

**ANEXO 8: SSPC – SP7:** Brush-Off Blast Cleaning

**ANEXO 9: SSPC – SP10:** Near-White Blast Cleaning

**ANEXO 10: SSPC – SP11:** Power Tool Cleaning to Bare Metal

**ANEXO 11: ASTM E337:** Standard Test Method for Measuring Humidity with a Psychrometer (the Measurement of Wet- and Dry-Bulb Temperatures).

**ANEXO 12: ASTM D4417:** Field Measurement of Surface Profile of Blast Cleaned Steel – Method C.

**ANEXO 13: SSPC – TU4:** Field Methods for Retrieval and Analysis of Soluble Salts on Substrates.

**ANEXO 14: ASTM D4541:** Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers.

**ANEXO 15: ASTM D3359:** Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test – Method A.

**ANEXO 16: ASTM G62:** Standard Test Methods for Holiday Detection in Pipeline Coatings.

**ANEXO 17: SSPC PA2:** Measurement of Dry Coating Thickness with Magnetic Gages.

**ANEXO 18: ISO 12944 – Part 2:** Classification of environments.

**ANEXO 19: ASTM D610:** Standard Test Method for Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces.

**ANEXO 20: ASTM D714:** Standard Test Method for Evaluating Degree of Blistering of Paints.

**ANEXO 21: ASTM D6677:** Standard Test Method for Evaluating Adhesion by Knife.

**ANEXO 22: ASTM D4285:** Standard Test Method for Indicating Oil or Water in Compressed Air.

**ANEXO 23: ISO 11127: Part 6:** Determination of water-soluble contaminants by conductivity measurement.