

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA Y MANUFACTURERA**



**“SUPERVISIÓN EN LA APLICACIÓN DE PINTURAS  
ANTICORROSIVAS EN EL MANTENIMIENTO DE TANQUES  
DE ALMACENAMIENTO DE PETROLEO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**POR LA MODALIDAD DE ACTUALIZACION DE  
CONOCIMIENTOS**

**PRESENTADO POR:**

**DIOMEDES CABALLA FERNÁNDEZ**

**LIMA – PERU**

**2003**

**DEDICATORIA:**

A mis padres, por su esfuerzo en educar a sus hijos para hacerlos personas de bien y por sus consejos oportunos que transmiten la experiencia de quienes lograron todo en su vida a base de esfuerzo.

**AGRADECIMIENTO:**

A Dios, por las oportunidades brindadas a este modesto servidor sin merecerlo y por ser guía de sus pasos en los momentos de reflexión.

## RESUMEN

El presente informe de suficiencia tiene por finalidad, exponer el trabajo de supervisión en la aplicación de un sistema de pintado como parte del mantenimiento de tanques de almacenamiento de petróleo. Se empieza por desarrollar los fundamentos que explican cómo los sistemas de pintura protegen las estructuras metálicas de la corrosión, continuando con la exposición de los factores a tomar en cuenta para selección de los sistemas de recubrimientos empleados; los tipos de pinturas; los tratamientos de limpieza de la superficie a recubrir; la selección del material de limpieza; la aplicación del recubrimiento, indicando las variables y equipos que deben considerarse para efectuar y controlar su aplicación; y la evaluación post-aplicación del recubrimiento para dar la conformidad de obra. Todo este proceso implica el manejo de técnicas, equipos y normas, los mismos que serán tratados en el **Capítulo II: Desarrollo de los Conceptos y Técnicas** del presente informe. Correlativamente, en el **Capítulo III: Desarrollo del Tema**, se expone el trabajo de supervisión del sistema de pintado interior y exterior del tanque 5D1 de almacenamiento de crudo en la estación N° 5 del Oleoducto Nor-Peruano, el mismo que se apoya en los conceptos y técnicas desarrollados en el capítulo anterior.

Finalmente, se mencionan las conclusiones y recomendaciones que se pueden extraer del informe, las que buscan destacar los puntos más saltantes del trabajo de supervisión y la manera en que puede mejorarse.

Cabe señalar que el informe esta basado en la experiencia del autor como supervisor en la aplicación de sistemas de pinturas anticorrosivas como parte del mantenimiento de tanques de almacenamiento de petróleo en el Oleoducto Nor-Peruano, Refinería y Planta de venta en Iquitos, en RELAPASA, así como de estructuras metálicas y de concreto en otras empresas del país. La experiencia adquirida pretende darle un valor agregado al informe y para que el mismo sea un material bibliográfico de referencia para toda persona que desee involucrarse en el trabajo de supervisión.

## **INDICE**

	Pag.
<b>I. Introducción</b>	7
<b>II. Desarrollo de Conceptos y Técnicas</b>	9
II.1 Selección y características de los sistemas de pintado para mantenimiento Industrial	9
II.1.1 Mecanismo de corrosión sobre superficies Ferrosas	9
II.1.2 Mecanismo de protección de los sistemas de pintura	11
II.1.3 Composición de un sistema de pinturas	14
II.1.4 Factores para la selección del sistema de pintado	15
II.1.5 Características Físicas y Químicas de los tipos de Pinturas para mantenimiento industrial	20
II.1.6 Clasificación de pinturas anticorrosivas por el tipo de resina	22
II.1.7 Mecanismo de curado de las pinturas anticorrosivas	33
II.2 Sistemas de Pinturas anticorrosivas para la protección de Tanques de almacenamiento de Petróleo	35
II.2.1 Sistema de Pintado Anticorrosivo aplicado para el Interior de tanques de almacenamiento de petróleo	35
II.2.2 Sistema de Pintado Anticorrosivo para el Exterior de Tanques de almacenamiento de petróleo	36
II.3 Tratamientos para la preparación de superficies metálicas	36
II.4 Métodos para la aplicación de pinturas en Estructuras Metálicas	42
II.4.1 Aplicación Convencional con proyección de aire	42
II.4.2 Aplicación con equipos sin aire (Airless)	44
II.4.3 Aplicación para resane de recubrimientos y áreas pequeñas	46
II.5 Consideraciones para la supervisión en la aplicación del sistema de pintado.	47
II.5.1 Supervisión en la preparación de la superficie metálica	48
II.5.2 Supervisión en la aplicación del sistema de pinturas.	52

II.5.2.1	Monitoreo de variables ambientales	53
II.5.2.2	Inspección en la preparación de pintura	56
II.5.2.3	Inspección durante la aplicación de pintura	57
II.5.3	Inspección Posterior a la aplicación del sistema de pinturas	59
II.5.3.1	Control del espesor de recubrimiento seco	59
II.5.3.2	Prueba de adherencia de las capas de pintura	61
II.5.3.3	Prueba de continuidad del sistema de pinturas	61
II.5.3.4	Evaluación de la dureza del recubrimiento	63
II.5.3.5	Evaluación del curado del recubrimiento	63
II.6	Problemas, fallas y soluciones recomendadas en la aplicación de pinturas	64
<b>III.</b>	<b>Supervisión del Pintado del Tanque de Almacenamiento de Crudo de Petróleo 5D-1 en la estación N° 5 del Oleoducto Nor-Peruano</b>	<b>69</b>
III.1	Antecedentes	69
III.2	Localización de la obra	70
III.3	Condición de la Superficie del tanque 5D1 antes del mantenimiento	70
III.4	Sistema de Pintado recomendado para el mantenimiento	71
III.5	Trabajos previos al pintado del tanque	73
III.6	Desarrollo de la supervisión del trabajo de pintado	74
III.6.1	Supervisión de la preparación de superficie	74
III.6.2	Supervisión de la preparación y aplicación de pinturas en el interior- exterior del tanque 5D1	80
III.6.3	Inspección post-aplicación del sistema de pinturas	84
III.6.4	Problemas encontrados en la aplicación del sistema de pinturas	91
<b>IV.</b>	<b>Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>93</b>
<b>V.</b>	<b>Bibliografía</b>	<b>95</b>
<b>VI.</b>	<b>Apéndice</b>	<b>96</b>

## I. INTRODUCCION

La supervisión del sistema de pintado se resume como el conjunto de labores que permiten el aseguramiento de la calidad y la optimización de costos en los programas de protección y mantenimiento industrial que consideran al recubrimiento con pinturas como medio de protección anticorrosiva. El aseguramiento se realiza por medio del cumplimiento de estándares, normas y procedimientos, los cuales deben hacerse cumplir por parte del supervisor de pintado. Este trabajo toma importancia considerando que el comportamiento de un sistema de pintado industrial depende en buena parte de los procedimientos de preparación de superficie y de la forma en que se lleva a cabo la aplicación de los recubrimientos. Las técnicas modernas de evaluación de formulaciones de sistemas de pintado así como los sistemas de control de calidad de parte de los proveedores de pintura minimizan la posibilidad de un producto defectuoso. Muchos de los problemas de falla de una pintura supuestamente atribuibles al producto encuentran su verdadera causa en una defectuosa preparación de la superficie, en el uso incorrecto del producto o bien por una técnica defectuosa en la aplicación. Aproximadamente el 80% de las fallas de pinturas son ocasionadas por problemas relacionados con la inadecuada aplicación de los procedimientos de preparación de superficie o aplicación de la pintura.

Debido al grado de desconocimiento existente en el área de mantenimiento y protección por recubrimientos de parte de las empresas contratistas encargadas de llevar a cabo el trabajo de mantenimiento y protección, en la mayoría de los casos no basta con elaborar una especificación detallada o que la empresa contratista tenga un departamento de calidad. Actualmente resulta importante que el dueño de la estructura a proteger se asegure la supervisión de los trabajos y que se certifique que estos se han efectuado de acuerdo a las especificaciones, única forma de garantizar la inversión que se ha realizado y evitar los muy comunes problemas de retardo en la entrega de las estructuras y/o equipos, fallas prematuras en el comportamiento de los recubrimientos y corrosión del equipo antes del tiempo estimado.

En obras de envergadura, la labor de supervisión de mantenimiento o protección a nivel industrial se encuentra a cargo de empresas especializadas en el rubro, el mismo que se ve apoyado de un representante (con el cargo de supervisor de pintado) de la empresa proveedora del sistema de pinturas, el mismo que supervisa la preparación de la superficie a recubrir, el manejo y aplicación de las pinturas, solución de problemas en obra y la evaluación del sistema de pintado luego de ser aplicado, actividades que se informan periódicamente al dueño de obra y que posteriormente sirven de base para dar una garantía de parte del fabricante de pinturas por su sistema de pinturas.



## **II. DESARROLLO DE CONCEPTOS Y TÉCNICAS**

### **II.1 Selección y características de los sistemas de pintado para mantenimiento Industrial.**

Las pinturas de mantenimiento industrial son recubrimientos de tipo orgánico que se aplican sobre superficies nuevas o existentes con la finalidad de mantenerlas, protegerlas y alargar su vida útil, preservándolas del ataque del medio ambiente lo que se conoce como protección anticorrosiva.

Generalmente para tal protección no se emplea un solo tipo de pintura, en lugar de ello se usa dos o tres capas de diferentes tipos de pintura, cada una de las cuáles tiene una misión en el esquema de protección, y cuando una de ellas se excluye, el conjunto es menos efectivo. El total de tipos de pintura aplicadas, cantidad de capas y el espesor de cada una de ellas constituyen lo que en adelante se denominará *Sistema de Pinturas*. Sin embargo, en el diseño de un sistema anticorrosivo se debe especificar el tipo de pinturas que lo componen, el espesor y número de capas a aplicar, la preparación de la superficie a recubrir, las condiciones y métodos de aplicación, el tiempo de secado al tacto, tiempo de curado y periodo de recubrimiento entre cada capa. Esta especificación más completa pasa a conocerse en adelante como *Sistema de pintado* y es la que el proveedor de pinturas está obligado a proporcionar a sus clientes para asegurar el desempeño de su sistema de pinturas.

#### **II.1.1 Mecanismo de la Corrosión sobre superficies Ferrosas**

En el presente tópico se expone el mecanismo de corrosión de superficies metálicas ferrosas expuestas a soluciones electrolíticas, las que junto con el oxígeno y la humedad son los agentes responsables del ataque corrosivo al que están expuestas las superficies externa e interna de los tanques de almacenamiento de petróleo.

A continuación se presentan las reacciones químicas que se producen entre el agua, oxígeno y hierro durante el ataque corrosivo<sup>1</sup>:

1.  $4\text{Fe} \rightarrow 4\text{Fe}^{+2} + 8\text{e}^-$
2.  $4\text{H}_2\text{O} + 2\text{O}_2 + 8\text{e}^- \rightarrow 8\text{OH}^-$
3.  $4\text{Fe}^{+2} + 8\text{OH}^- \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_2$
4.  $4\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$
5.  $4\text{Fe} + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  (Reacción Total)

Las ecuaciones químicas mostradas describen la tendencia del hierro a pasar a convertirse en ión ferroso ( $\text{Fe}^{+2}$ ) de naturaleza soluble con la liberación de electrones, generando la denominada zona anódica. Los electrones viajan a través del metal, hasta encontrar lugares favorables conocidos como zonas catódicas donde puedan reaccionar con agua y oxígeno para generar iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ). Los iones ferrosos e hidroxilos reaccionan generando hidróxido ferroso, que es ligeramente soluble y de escasa adherencia, por lo que tiende a difundirse hacia el exterior del metal, reaccionando con el oxígeno para formar óxido férrico hidratado, conocido como herrumbre (mostrado en la ecuación química 4). Si el ión ferroso producido al inicio pudiera ser oxidado inmediatamente después de su formación a ión férrico ( $\text{Fe}^{+3}$ ), se formaría una capa de óxido férrico adherente al sustrato metálico, que inhibiría posteriormente el proceso de corrosión.

Los electrolitos tales como las sales presentan una tendencia a acelerar los procesos de corrosión. En el caso del cloruro de Sodio, las reacciones que se llevan a cabo son:

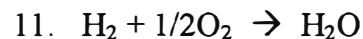
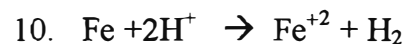
6.  $4\text{Fe} + 8\text{Cl}^- \rightarrow 4\text{FeCl}_2 + 8\text{e}^-$
7.  $4\text{H}_2\text{O} + 2\text{O}_2 + 8\text{e}^- + 8\text{Na}^+ \rightarrow 8\text{NaOH}$
8.  $4\text{FeCl}_2 + 8\text{NaOH} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 8\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$

El cloruro ferroso y el hidróxido de sodio formados con las ecuaciones químicas 6 y 7 son solubles, difundiéndose hacia el

<sup>1</sup> Payne, Henry F.; Tecnología de Pinturas; Editorial Blume. Barcelona 1973

exterior de la superficie del metal para generar al reaccionar con oxígeno el óxido férrico hidratado de la ecuación 8, el mismo que al formarse lejos de la superficie metálica se convierte en un producto esponjoso. En el interior de los tanque de almacenamiento de petróleo, este tipo de ataque es de esperar por la presencia de cloruro de sodio en la fase acuosa que acompaña al petróleo desde su extracción y tratamiento primario, la misma que se acumula en la zona inferior del tanque al tener mayor peso específico que el petróleo.

También, la disociación del agua provee las condiciones para que se lleven a cabo las reacciones corrosivas:



Como se observa, el hierro es atacado por los iones hidronio ( $\text{H}^+$ ), generando iones ferrosos, cuya formación y desprendimiento de la matriz metálica permite el progreso del ataque.

### II.1.2 Mecanismo de protección de los Sistemas de Pinturas

La manera en que las pinturas anticorrosivas protegen las superficies metálicas ferrosas se ha sistematizado en cuatro efectos, los cuáles tiene por objeto reducir, bloquear o inhibir las reacciones de corrosión mostradas en las ecuaciones anteriores. Estos son agrupados en:

**1. Efecto Barrera.** Se da cuando el recubrimiento reduce el acceso del oxígeno, humedad o agente agresivo a la superficie metálica al actuar como medio físico aislante. Sin embargo, debe mencionarse que debido a que todo recubrimiento orgánico es permeable en menor o mayor grado a los agentes agresivos, es necesaria una adecuada selección de los componentes del sistema de pinturas junto con un espesor adecuado dado por capas sucesivas que puedan dar lugar a

bajas velocidades de permeabilidad, a tal punto que puede considerarse permeabilidad cercana a cero para fines prácticos.

**2. Efecto Inhibidor.** Este mecanismo se da por medio de pigmentos especiales contenidos en el recubrimiento, los que interfieren las reacciones de corrosión. Se ha propuesto tres formas en que estos pigmentos actuarían<sup>2</sup>:

**a) Pigmentos inhibidores de naturaleza alcalina.** Generan condiciones alcalinas, tienen un efecto retardante sobre la reacción catódica evitando la reducción de oxígeno por desplazamiento de la reacción al aumentar la concentración del hidroxilo(OH<sup>-</sup>):



Al mismo tiempo, tales pigmentos neutralizan la acidez libre que se produce en los recubrimientos oleorresinosos, evitando la aceleración de la corrosión por la presencia de ácidos grasos libres. Como ejemplo de pigmentos de esta naturaleza tenemos al minio (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), el sulfato básico de plomo (Pb<sub>3</sub>(OH)SO<sub>4</sub>), el subóxido de plomo (Pb<sub>2</sub>O).

**b) Pigmentos de acción oxidante.** Ejercida por pigmentos que pueden oxidar los iones ferrosos(Fe<sup>+2</sup>) a férricos(Fe<sup>+3</sup>) dando lugar a productos de baja solubilidad que forman una película protectora firmemente adherida a la superficie del metal, bloqueando posteriormente la reacción anódica (de disolución metálica). Entre los pigmentos que presentan estas características se tiene a los cromatos de Zinc (ZnCrO<sub>4</sub>) y plúmbico (PbCrO<sub>4</sub>) y el silicocromato básico de plomo.

**c) Pigmentos de acción pasivante.** Son pigmentos que suministran iones que reaccionan con el metal y reducen la tendencia de éste a la corrosión. Ejemplos de este tipo de pigmentos son los fosfatos de zinc (Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) y el fosfato férrico (FePO<sub>4</sub>). Las pinturas que

---

<sup>2</sup> Sherwin Williams Peruana S.A Boletín Técnico de Pinturas N° 2, Abril de 1991,

tienen estos pigmentos se adhieren perfectamente a la superficie metálica ya que reaccionan con ella de manera que el sustrato viene a formar parte de la capa de pintura.

**3. Efecto de protección catódica.** Denominada también efecto de sacrificio, por el cuál, las pinturas incorporan pigmentos metálicos con mayor tendencia a la oxidación que el metal recubierto. Generalmente se usa como pigmento zinc en polvo, que actúa como ánodo en beneficio del metal a proteger al hacer la función de cátodo. Se ha establecido<sup>3</sup> que estos pigmentos actúan en principio de forma galvánica por medio de la oxidación del zinc, el mismo que forma productos de corrosión insoluble en la película de pintura seca, reforzando la impermeabilidad de la misma, por lo que en segunda instancia contribuiría con el efecto barrera. Estas pinturas deben poseer una concentración de pigmentos lo suficientemente alta como para establecer un contacto eléctrico entre las partículas del pigmento y la superficie a recubrir, habiéndose notado que concentraciones mayores al 85% en peso son las más adecuadas.

**4. Efecto de resistencia iónica.** Se acepta como el mecanismo principal de protección anticorrosiva ofrecida por los revestimientos de pintura. Se basa en la resistencia de las capas de pintura al desplazamiento de los iones del electrolito hacia el sustrato protegido y de los que se generan en la interfase metal/pintura. Este efecto actúa reduciendo la conducción de iones entre los ánodos y cátodos formados en la superficie metálica, reduciendo la corriente de las pilas de corrosión a niveles muy bajos. Este efecto depende de:

- a) La presencia de electrolito debajo o por encima de las capas de pintura.
- b) La penetración de agua u otro electrolito a través del recubrimiento.
- c) El espesor del sistema de pinturas.

---

<sup>3</sup> Barnhart, R.. How Coatings Protect Steel. SSPC Applicator Training Bulletin. 1997 Vol. 2 p.13

### II.1.3 Composición de un sistema de pinturas

Un sistema de pintura está compuesto normalmente por 3 capas de pintura, las cuáles son;

**A. Pintura base anticorrosiva.**- Es el primer recubrimiento aplicado directamente a la superficie a proteger. Entre sus funciones están la de adherirse al sustrato metálico, de modo que si esta capa no está bien adherida, hace peligrar a todo el sistema. Dependiendo del tipo de pintura, esta capa puede ofrecer como efectos de protección principal cualquiera de los citados anteriormente o una combinación de ellos. La preparación de superficie ayuda a que esta capa se enlace adecuadamente al sustrato, al eliminar los contaminantes que interfieren con el contacto íntimo y proveer un perfil de rugosidad que permita el anclaje de la misma.

**B. Pintura de capa intermedia.**- Los mecanismo de protección que brinda esta capa son principalmente el efecto barrera al incrementar el espesor del sistema de pinturas y el de resistencia iónica. Asimismo se aplica en los sistemas de pinturas con la finalidad de proveer resistencia química, servir de enlace entre la capa base y el recubrimiento final.

**C. Pintura de acabado.**- Es la última capa de pintura que se aplica para proteger a las capas previas de pintura, por lo que debe tener como característica fundamental una excelente resistencia al medio ambiente así como a los agentes agresivos que entren en contacto directo con ella. Asimismo posee características adicionales como color, brillo, resistencia a los hongos, a la intemperie y abrasión. La acción de protección de esta capa se basa en el efecto de protección por capa barrera, lo que se logra al dar un espesor de película adecuado y por su elevada resistencia química a los agentes agresivos externos.

#### **II.1.4 Factores para la selección del sistema de pintado**

La selección del recubrimiento adecuado pasa por un proceso que resulta del trabajo coordinado entre ingenieros de mantenimiento, consultores, contratistas y los fabricantes de recubrimientos. La decisión del sistema de pintado se toma al considerar una serie de factores técnicos y económicos los cuáles se presentan a continuación.

##### **1. Avances Tecnológicos en el Campo de los recubrimientos.**

Los fabricantes de pinturas invierten en investigación y desarrollo de alternativas en la búsqueda de productos con mejores propiedades. Criterios tales como las regulaciones ambientales, productos especializados, costos y el desempeño de los sistemas de pintado marcan la tendencia en el desarrollo de los recubrimientos de nueva tecnología. Ejemplo de ello son las pinturas de capa base de tiempo de repintado prolongado (de 6 a 12 meses), los recubrimientos de bajo contenido de componentes volátiles, los 100% libres de solventes, los poliuretanos o las pinturas industriales de base acuosa que han ingresado al mercado en los últimos años. El conocimiento de las características y la evaluación de los nuevos productos de parte del ingeniero de mantenimiento se logra por medio de la transferencia tecnológica que proviene de los fabricantes de pintura vía sus departamentos de servicio técnico y de investigación y desarrollo. Por ello, un paso esencial para seleccionar el sistema de pintado es identificar y evaluar los productos de nueva tecnología e incluso los tradicionales de las compañías que proveen la pintura.

## 2. Tipo de superficie a proteger

Es importante conocer el tipo de superficie metálica a ser protegida, de manera que se identifique si es acero estructural, superficie galvanizada o de aluminio, pues las dos últimas mencionadas presentan superficies lisas (sobre todo si son nuevas), por lo que requieren un recubrimiento específico de base para luego aplicar otro recubrimiento. Asimismo, en el caso de superficies previamente pintadas se debe evaluar el grado de corrosión(ver apéndice Item2), el estado de la pintura anterior para evaluar si se repinta sobre ella o si se requiere retirarla completamente para recién aplicar el nuevo sistema de pinturas. La importancia de una adecuada y eficiente preparación de superficie tiene un efecto directo en la adhesión del recubrimiento la misma que es un factor fundamental en la protección anticorrosiva. Todas estas consideraciones respecto a la superficie y su preparación se deben tener en cuenta al momento de seleccionar el sistema de pintado.

## 3. Condición de servicio de la superficie a pintar

La naturaleza de las condiciones ambientales, así como las condiciones de operación de las estructuras o equipos tales como presión, temperatura, abrasión, agentes químicos a contener, influirán fuertemente en el tipo de recubrimiento a ser seleccionado. La clasificación de la severidad del medio ambiente al que exponen las estructuras metálicas se ha establecido de acuerdo a los siguientes grados:

***Medio Ambiente Severo.***- Es un ambiente donde la superficie a ser protegida se encontrará expuesta permanentemente a emanaciones, vapores, salpicaduras o derrames de materiales químicos corrosivos, inmersión en agua salada ó cerca de la costa, es decir en un medio agresivo. La velocidad de corrosión



del acero en este ambiente es de 150 a 250 micrones ( $\mu\text{m}$ ) por año.

***Medio Ambiente Moderado.***- El medio es corrosivo por la presencia de salpicaduras, vapores, productos corrosivos pero sin contacto directo permanente sobre la superficie a proteger. La velocidad de corrosión del acero en este medio está entre los 75 a 150 micrones ( $\mu\text{m}$ ) por año.

***Medio Ambiente Normal.***- Es un medio de baja agresividad, donde la superficie protegida va a estar expuesta a lo sumo a la intemperie con la presencia de vapores o emanaciones suaves u ocasionales . La velocidad de corrosión del acero es menor a 75 micras ( $\mu\text{m}$ ) por año.

Si las estructuras metálicas a proteger van a ser sometidas a un medio agresivo tal como es la inmersión en medio salino, enterradas y ubicadas cerca de la costa o en atmósferas corrosivas, es aconsejable la mejor preparación de superficie posible, que elimine la cascarilla de laminación, óxidos y cualquier otra impureza sobre la superficie metálica para asegurar una buena adhesión de la capa base. Asimismo, se debe evaluar el sistema de pinturas que resista mejor el medio agresivo, siendo en algunos casos aconsejable el empleo de productos especiales, de alto contenido de sólidos, de secado rápido o de aplicación de alto espesor. Un medio moderado o normal puede requerir una preparación de superficie menos rigurosa y un sistema de pinturas convencional tal como un sistema alquídico.

#### 4. Tiempo de Servicio Estimado de los sistemas de pintado<sup>4</sup>

Para ello se requieren disponer de datos acerca del desempeño de los sistemas de protección en condiciones específicas de servicio, la misma que puede conseguirse en boletines técnicos, revistas especializadas o mediante el fabricante de pinturas. En base a esta información disponible, se han establecido las definiciones siguientes:

***Tiempo de vida ideal u óptimo.***- Se refiere al tiempo que transcurre desde el pintado original hasta que es necesario el primer mantenimiento o retoque puntual debido a que falla entre el 3 a 5% de la capa de pintura superficial (última capa) pero sin corrosión activa considerable en el sustrato a proteger.

***Tiempo de Vida Práctica.***- Es definido como el tiempo que transcurre entre el pintado original hasta que se realiza el primer mantenimiento o retoque al tenerse una falla del 5 al 10% de la capa superficial y presentarse corrosión activa hasta en un 10% del sustrato. El tiempo de vida práctica de un sistema de pintado es aproximadamente 50% mayor que el tiempo de vida ideal u óptimo.

***Tiempo de garantía.***- Es el periodo de tiempo que el fabricante de pinturas garantiza la efectividad de su sistema de pinturas hasta un cierto nivel de deterioro y que es fijado conjuntamente con el dueño de obra de acuerdo a su plan de mantenimiento. Normalmente, el tiempo de garantía es menor que el tiempo de vida ideal u óptima.

La elección de tales términos para fines prácticos lo define la política de mantenimiento y los niveles de protección contra la corrosión que establecen las empresas para la conservación de sus equipos y estructuras.

---

<sup>4</sup> Brevoort G., McLampy M.; Updated Protective Coating Cost, Products and Service Life; Coatings & Linings; Febrero 1997.

## **5. Limitaciones en el tratamiento de superficie o pintado**

Se debe considerar el tipo de limpieza que se puede realizar sobre la superficie a pintar, sea de tipo manual, mecánico, químico, por impacto de abrasivos, etc. los que se seleccionan de acuerdo a las limitaciones que puede ofrecer el entorno, sobre todo si el tipo de limpieza pueden afectar a equipos de proceso o terceras personas cercanas a la zona de trabajo. Incluso debe considerarse la accesibilidad del personal y equipos a la zona de trabajo y la forma de las estructuras para seleccionar el método de pintado más adecuado. En caso que el trabajo de pintado deba realizarse en lugares cerrados tales como el interior de tanques de almacenamiento o tuberías se debe procurar especificar pinturas cuyos vapores producidos a partir del solvente o diluyente sean lo menos tóxicos al ser humano, aparte de las medidas de seguridad que se puedan establecer.

## **6. Análisis Económico del sistema de pintado**

Actualmente, se toman una serie de consideraciones para evaluar económicamente los sistemas de pintado<sup>5</sup>, destacando:

- a. El tiempo de vida considerado para la estructura a ser protegida.
- b. Para cada sistema de pintado propuesto se establecen todas las operaciones de mantenimiento que se llevarán a cabo desde el momento del pintado original, incluyendo los posteriores retoques y repintado de mantenimiento y repintado total en el tiempo de vida útil de la estructura; a partir de ello se establecen los costos al presente de material y los que involucran el trabajo de mantenimiento (tales como preparación de superficie, mano de obra, inspección, etc.).

---

<sup>5</sup> Brevoort G., McLampy M.; Updated Protective Coating Cost, Products and Service Life; Coatings & Linings; Febrero 1997.

- c. Los costos establecidos en el paso anterior se llevan al futuro, (final de la vida útil de la estructura) empleando índices de inflación ( $i_1$ ) para establecer el llamado Valor Neto a Futuro (NFV).

$$\text{NFV} = (\text{costo actual}) * (1+i_1)^n \dots\dots\dots(1)$$

donde  $i_1$ : tasa de inflación anual

n: años considerados como vida útil de la estructura

- d. Se establece el Valor Neto al Presente (NPV) para calcular el capital actual que se necesitaría para disponer a futuro un monto similar al Valor Neto al Futuro a la tasa de interés ( $i_2$ ) producto de una inversión.

$$\text{NPV} = (\text{NFV}) * 1 / (1+i_2)^n \dots\dots\dots (2)$$

Donde  $i_2$ : tasa de interés anual

n: años considerados como vida útil de la estructura

- e. Se comparan los valores de NPV entre los sistemas de pintado propuestos para establecer los costos reales en moneda actual y se establece el más favorable desde el punto de vista económico.

### **II.1.5 Características Físicas y Químicas de los tipos de pinturas para mantenimiento industrial**

Las pinturas están constituidas de tres componentes principales; el vehículo, los pigmentos y en menor proporción los aditivos y secante<sup>6</sup>. Adicionalmente se agrega un componente denominado diluyente antes de su aplicación para facilitar la misma.

#### ***Pigmentos***

Son sólidos finamente divididos, que imparten características tales como inhibición de la corrosión, protección catódica, color,

<sup>6</sup> Parker, Dean; Tecnología de los Recubrimientos de Superficie; Enciclopedia de la Química Industrial, Tomo VII. Editorial Reverté. Madrid, 1978.

protección ultravioleta. Al secarse la pintura, estos se encuentran distribuidos en la película de pintura..

### ***Vehículo.***

Formado por una porción volátil, la misma que se evapora luego de aplicar la pintura y otra no volátil que forma la película de pintura que se adhiere al sustrato a proteger. Lo constituyen:

- a) **Resinas.-** Son compuestos químicos de tipo orgánico ó inorgánico de elevada complejidad molecular y responsables de formar la película protectora de pintura que se enlaza ya sea a la superficie metálica que se quiere proteger o a otra capa de pintura. Sirve de soporte físico a los pigmentos y aditivos.
- b) **Solventes.-** Constituye la parte volátil del vehículo. Son sustancias que tiene por función disolver las resinas para facilitar su aplicación y permitir la formación de la película protectora cuando se evaporan.

### ***Aditivos y secantes***

Los aditivos, cumplen funciones tales como impedir el asentamiento de pigmentos, mejorar el nivelado de película, conservar el producto, etc. Mientras que los secantes tienen la misión de acelerar los procesos de secado.

### ***Diluyente***

Es una mezcla de solventes que al añadirse a la pintura le proporciona una viscosidad adecuada para su aplicación, así como un mejor nivelamiento de la película de pintura depositada en el sustrato a cubrir. No forma parte de la composición de la pintura envasada, pues se agrega momentos antes de aplicarla Actualmente se dispone de pinturas que no requieren diluyente debido a consideraciones ambientales y por la aparición de equipos de aplicación que no necesitan añadir diluyente a la pintura.

### II.1.6 Clasificación de pinturas anticorrosivas por el tipo de resina

Las pinturas de mantenimiento industrial se clasifican de acuerdo al tipo de resina empleada en su formulación. A continuación se da una exposición de las características, ventajas y desventajas de cada una de ellas., mientras que en el apéndice I: Clasificación de pinturas: Ventajas y Limitaciones, se presenta tabulado un resumen de lo desarrollado en el presente ítem.

#### • Pinturas Alquídicas

Compuestas por resinas provenientes de aceites naturales modificados químicamente para mejorar la resistencia química, dar mayor dureza y una mayor velocidad de curado. Son pinturas diseñadas para su aplicación en una amplia gama de sustratos, tales como superficies metálicas, concreto, madera, cartón, etc. Son de fácil aplicación y pueden usarse como componentes de pinturas de capa de base o de acabado. Un sistema de pinturas a base de este tipo de resina se denomina "Sistema Convencional".

#### Ventajas

- Excelente resistencia a la intemperie.
- Excelente retención de brillo y color en el tiempo.
- Buena adherencia y facilidad de aplicación.
- No requiere de preparación de superficie exigente.

#### Desventajas

- Tiene poca resistencia Química, siendo saponificables en medio alcalino.
- Presentan poca resistencia a la inmersión en agua.
- Secan lentamente al aire por oxidación.
- No se puede lograr alto espesor de película en una sola capa., variando entre 50 a 75  $\mu\text{m}$  (2 a 3 mils en seco, siendo 1 mil = 1 milésimo de pulgada).
- Tiene baja resistencia a la temperatura (90°C como máximo)

### • **Pinturas de Caucho Clorado**

Las resinas de caucho clorado proporcionan a la pintura una alta resistencia al ataque por álcalis y la oxidación y en menor grado a los ácidos minerales. Secan por evaporación del solvente que las mantiene en solución y frecuentemente son modificadas con resinas alquídicas para disminuir su costo y proveerles de una mayor facilidad de aplicación.

#### Ventajas

- Excelente resistencia a la abrasión, a los álcalis, ácidos minerales, sales y a la inmersión en agua.
- Impide el crecimiento de hongos, por lo que se le recomienda para el recubrimiento de piscinas y tanques de agua potable.
- Presenta secado rápido y facilidad de repintado.
- Se puede aplicar bajas temperaturas.
- Impermeables al vapor de agua
- Forma una capa de película moderadamente dura y con buena retención del color.

#### Desventajas

- Poca resistencia a la mayoría de solventes orgánicos tales como los hidrocarburos alifáticos, los aromáticos y cetonas.
- No resiste al contacto con grasas o aceites vegetales.
- Sufre desgaste superficial al exponerse permanentemente al sol, fenómeno conocido como tizamiento.
- Baja resistencia a la temperatura (66°C como máximo) de lo contrario se reblandecen o deterioran.
- Da bajos espesores de película por su bajo contenido de sólidos y alta proporción de solventes.

- **Pinturas Epoxi-Aminas**

Son recubrimientos formados por la reacción química de dos componentes; uno de ellos es un componente epóxico y el otro es un componente amina, los que por reacción química generan una polimerización entrecruzada. Se caracterizan por formar una película de buena dureza, resistente a la abrasión pero sobre todo, resistente a muchos productos químicos. Actualmente se disponen de productos de alto contenido de sólidos (mayor a 60%) que permiten obtener alto espesor por capa de pintura aplicada

Ventajas

- Buena resistencia a los álcalis y ácidos diluidos y medianamente concentrados.
- Presentan resistencia a salpicaduras y contacto de la mayoría de los solventes orgánicos.
- Se obtienen aplicaciones de alto espesor en una sola capa debido a que se dispone de productos de alto contenido de sólidos (aquellos con un contenido de sólidos superior al 60%).
- No requiere preparación de superficie rigurosa para superficies nuevas excepto para la inmersión.
- Puede aplicarse sobre pinturas antiguas y óxidos bien adheridos (excepto sobre superficies pintadas con pinturas de caucho clorado).
- Buena respuesta a la abrasión.

Desventajas

- Pérdida de brillo con el transcurso del tiempo.
- Decoloración y desgaste superficial del recubrimiento, conocido como tizamiento.
- Vida útil limitada para la aplicación del producto una vez mezclado al cambiar sus propiedades reológicas. Esta propiedad se conoce como pot life.



- Son de dos componentes (parte epóxica y parte amina) por lo que requieren control en la proporción de la mezcla de cada componente.
- Son altamente sensitivas a la humedad durante su aplicación, debiendo tomar precauciones para que no aparezcan ampollas (por condensación de humedad) o pierda brillo (fenómeno conocido como bruma).

- **Pinturas Epoxi-Poliamidas**

El recubrimiento se forma por la reacción de dos componentes, uno epóxico y otro a base de poliamidas, los que se mezclan antes de aplicarse.

Ventajas

- Debido a su dureza, son recomendados para proteger superficies sometidas a abrasión, presentando mejor desempeño que las epoxi-aminas.
- Son recubrimientos flexibles y de resistencia superior a la inmersión en agua salada.

Desventajas

- Presentan menor resistencia que las epoxi-aminas a los ácidos y álcalis o solventes.
- Decoloran y tizan por exposición a la luz solar.
- Pierden su brillo con el transcurso del tiempo, pero de manera más lenta que los recubrimientos de epoxi-amina.
- La vida útil de aplicación de la mezcla limitada.

- **Pinturas Epoxi Coal Tar**

Son recubrimientos formados por la reacción de dos componentes, uno de tipo epóxico mezclado con coal tar (un tipo de brea) y el otro de poliamida o amina los que al mezclarse forman un polímero entrecruzado. Su mecanismo de protección es

básicamente por efecto capa barrera, por lo que se requiere de altos espesores para su puesta en servicio.

#### Ventajas

- Excelente para inmersión en agua dulce, agua de mar o para contener petróleo crudo por su baja permeabilidad.
- Excelente adhesión sobre superficies metálicas, de concreto o madera.
- Se recomienda para recubrir superficies enterradas.
- Presenta resistencia química a los ácidos, álcalis y productos químicos.
- Permiten alcanzar alto espesor en un sola capa (200  $\mu\text{m}$  o 8 mils en seco).
- Forman películas duras pero flexibles.

#### Desventajas

- Presentan color negro o marrón únicamente (por la presencia del coal tar)
- Requieren limpieza a metal blanco cuando se emplea para proteger en inmersión.
- Tiempo de vida útil de aplicación de mezcla limitada.
- Tiene un tiempo limitado para su repintado cuando se aplique para proteger bajo condiciones de inmersión (12 horas mínimo y 48 horas como máximo).
- Requiere una temperatura mínima de 10 °C para su curado.

#### ● **Pinturas Epoxi-fenólicas**

Generan la capa de protección al reaccionar dos componentes, uno epóxico y otro de naturaleza fenólica. Se emplean para recubrir el interior de tanques que contienen productos refinados del petróleo y como recubrimiento para el interior de recipientes en las plantas nucleares por su resistencia a la radiación.

Ventajas

- Excelente resistencia a los solventes derivados de la destilación del petróleo y demás refinados, en especial la gasolina con aditivos de plomo.
- Forma una película de alta dureza y de alta resistencia a la abrasión.
- Excelente resistencia al paso del agua.
- Presenta alto espesor por capa.
- Buena resistencia a las soluciones salinas, álcalis y ácidos diluidos y de concentración moderada.
- Actúa de capa de base y de acabado

Desventajas

- Producto de tiempo limitado de aplicación cuando se mezclan los dos componentes.
- Mala retención del brillo y color.
- Presenta tizado durante su envejecimiento.
- Requiere una preparación de superficie excelente, al metal blanco en el caso de metales a ser recubiertos.

- **Pinturas Epoxi-ester**

Son recubrimientos que se preparan por la mezcla de una resina epóxica y un aceite secante. Estos recubrimientos secan por un mecanismo de oxidación al ambiente y por evaporación de solvente.

Ventajas

- Se presentan como un solo componente, por lo que su vida útil tiene un tiempo prolongado.
- Su resistencia a los solventes es de buena a moderada.
- Forma una película dura pero flexible
- Presenta buena resistencia al paso de la humedad.

- Son fáciles de aplicar y no requieren una preparación exhaustiva ni remueven pinturas antiguas bien adheridas.
- No saponifica en medio alcalino en el mismo grado que una pintura alquídica

#### Desventajas

- Pobre resistencia química, solo superior a las pinturas alquídicas.
- Presentan tono amarillento y tizan por exposición al sol.
- Presentan pérdida de brillo con el paso del tiempo.

#### • **Pinturas Ricas en Zinc de base orgánica**

Son recubrimientos de tres componentes formados por una parte epóxica, otra parte formada por poliamidas y la tercera está constituida por Zinc en polvo, las cuales se mezclan antes de aplicarla sobre la superficie metálica a proteger. La reacción entre el epóxico y la poliamida da como resultado un polímero entrecruzado, mientras el zinc que se halla distribuido uniformemente provee protección por medio del efecto de protección catódica.

#### Ventajas

- Provee excelente protección en una sola capa para condiciones de exposición a medio ambiente normal.
- Resistencia a la abrasión excelente.
- Resiste temperaturas hasta los 260 °C.
- Menos costosas que los recubrimientos ricos en zinc de base inorgánica.
- Finalizado su desempeño por protección catódica, forma una capa que provee protección por efecto barrera.

#### Desventajas

- Se aplica sobre superficies metálicas exclusivamente.
- Requiere una limpieza de superficie al metal blanco para una buena adherencia.

- Requiere cuidados especiales para su aplicación, como agitación constante y pistola convencional o airless con boquilla resistente a la abrasión.
- Limitada resistencia a productos o medios ácidos y alcalinos. Baja resistencia a los solventes orgánicos.

- **Recubrimientos Ricos en Zinc de base Inorgánica**

No se consideran apropiadamente como pintura por tener a una resina inorgánica como la formadora de película de pintura, sin embargo como pueden formar parte de un sistema de pinturas se describen. Son recubrimientos inorgánicos de dos componentes. Uno de ellos es un formador de película tipo alquil silicato alcalino (naturaleza inorgánica) y un segundo componente constituido por zinc metálico finamente pulverizado, los que se mezclan momentos antes de la aplicación. La resina inorgánica de alquil silicato se polimeriza por la absorción de humedad, formando una matriz dura que contiene al zinc en polvo, el mismo que protege a la superficie metálica por efecto catódico. Se clasifican en autocurantes de no requerir ayuda posterior para su curado y en post curantes, cuando requieren la aplicación de una solución química o calor para completar su curado. En medios altamente agresivos, como medios ácidos, alcalinos o en inmersión en agua salada, requiere ser recubierto, por lo que hace el papel de pintura de base. En medios moderados y normales basta aplicar una sola capa para la protección anticorrosiva.

Ventajas

- Inicialmente provee protección catódica al metal base por medio de la oxidación del polvo de zinc, formando posteriormente una capa de óxido insoluble bien adherido que provee el efecto de capa barrera para la protección del sustrato.

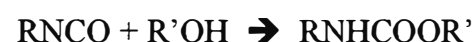
- Tiene excelente resistencia a los solventes orgánicos e hidrocarburos
- Resiste altas temperaturas (hasta 400 °C), por lo que también se emplea como recubrimiento interno de chimeneas.
- Ofrece buena protección catódica en una sola mano para exposición a ambientes normales o moderados.

#### Desventajas

- Requiere de limpieza a metal blanco para su aplicación y buena adherencia
- Limitada resistencia a productos o medios ácidos y alcalinos
- Requiere cuidados especiales para su aplicación, como agitación constante, uso de pistolas airless o convencionales con boquillas resistentes a la abrasión.
- Son de alto costo.
- Requiere un control de su espesor por su tendencia a cuartearse si se aplican a espesores altos (mayor a 100  $\mu\text{m}$  ó 4 mils en seco)
- Necesita cuidados especiales cuando se necesita recubrirlo con otra capa, tal como con una epóxica, donde se necesita aplicar una capa diluida antes de la capa de acabado.
- No se aconseja recubrirlos con pinturas basadas en aceites secantes, esmaltes alquídicos ni pinturas de base vinil-alquídicas de curado por oxidación ni los del tipo epoxi-ester por generar medios ácidos en el tiempo, el mismo que atacaría el recubrimiento rico en zinc.

#### • **Pinturas poliuretánicas Catalizadas.**

Son recubrimientos que resultan de la reacción de polimerización por adición de un grupo isocianato ( $\text{R-N=C=O}$ ) con un grupo hidroxil alcohólico ( $\text{R}'\text{-OH}$ ) tal como se presenta:



Asimismo, el agua proveniente de la humedad del medio ambiente reacciona con los isocianatos para formar diaminas con liberación de dióxido de carbono de acuerdo a la reacción:



A su vez, las diaminas reaccionan con más isocianato formando poliureas por medio de la reacción:



Estas reacciones forman desde polímeros lineales hasta estructuras altamente entrecruzadas, las que finalmente proveen las características de las películas formadas. Los poliuretanos catalizados vienen en dos componentes, los cuáles deben mezclarse momentos antes de su aplicación.

#### Ventajas

- Buena resistencia a los productos químicos, lo mismo que a los ácidos y álcalis de concentración media.
- Excelente resistencia a la permeabilidad por agua.
- Excelente retención del brillo y color con el paso del tiempo.
- Resistencia a la abrasión y a la exposición solar permanente
- Aplicable a bajas temperaturas y en condiciones de alta humedad.
- Forma una capa de elevada adherencia y dureza.

#### Desventajas

- Las películas de poliuretano son de bajo espesor, por lo que forman parte del acabado de un sistema de pinturas que tenga una base epóxica.
- Son de alto costo
- Producto de dos componentes que tiene tiempo limitado de aplicación una vez mezclado.

### • Pinturas Vinílicas

Este grupo de pinturas presentan como formadores de película a resinas denominadas vinílicas que tienen propiedades termoplásticas y que adquieren sus propiedades finales de capa protectora por evaporación del solvente que las acompaña en el vehículo. Su formulación le permite una buena adherencia sobre las superficies metálicas, pues el ácido fosfórico contenido ataca la superficie metálica generando un perfil de rugosidad adecuado para el enlace metal-recubrimiento. El mecanismo de protección de este tipo de pintura está basado en el efecto inhibitor, proporcionado por la presencia de pigmentos anticorrosivos que pasivan la superficie metálica.

#### Ventajas

- Son de secado rápido por evaporación de solventes y por tanto de repintado rápido.
- Excelente impermeabilidad al agua y resistencia al ambiente marino.
- Buena respuesta a la abrasión.
- Forman películas flexibles, de elevada retención de color y brillo.
- Presentan buena resistencia a los ácidos y álcalis en concentraciones diluidas y moderadas, lo mismo que a atmósferas donde se encuentran humos químicos corrosivos.
- Son solubles en sus propios solventes, por lo que las reparaciones de la capa aplicada se hace fácilmente.

#### Desventajas

- Requiere una limpieza de superficie a metal blanco preferentemente para lograr una buena adherencia.
- Poca resistencia a los solventes orgánicos.
- Se aplica con pistola de pintado únicamente, pues la rapidez de la evaporación del solvente y su baja viscosidad no permite aplicaciones manuales con brocha o rodillo.



- Resiste hasta los 66 °C de temperatura.
- Son de bajo contenido de sólidos, por lo que son de bajo espesor por capa, necesitando capas adicionales de recubrimiento.

### **II.1.7 Mecanismo de curado de las pinturas anticorrosivas**

Las pinturas aplicadas sobre la superficie metálica pasan por una etapa de evaporación de solventes y diluyentes; simultáneamente se desarrolla una reacción de enlazamiento tridimensional entre las resinas conocida como reacción de polimerización. El tiempo que tarda en completarse esta reacción se conoce como *tiempo de curado*, el mismo que tarda entre 5 a 7 días (a 25° y 85% de humedad relativa) y es afectado por condiciones ambientales, como humedad, temperatura ó corrientes de aire fresco. Al completarse este tiempo de curado, el recubrimiento formado obtiene sus propiedades finales y recién puede ser puesto en servicio, siendo esto de importancia sobre todo cuando va a estar sometido a condiciones tales como inmersión ó en contacto con agentes químicos agresivos.

A continuación se presenta una descripción del mecanismo de curado de los tipos principales de pinturas industriales.

#### **• Pinturas que curan por oxidación al aire**

Estas pinturas forman recubrimientos cuando el oxígeno del aire reacciona con la resina para crear un polímero sólido. El oxígeno crea por oxidación en las moléculas de la resina zonas activas conocidas como radicales libres que reaccionan con los enlaces dobles de otras moléculas, produciendo nuevos enlaces entrecruzados. La reacción es lenta a temperatura ambiente, siendo acelerada por aditivos conocidos como secantes. Debido a que su curado depende del ingreso del oxígeno a través de la película, estas pinturas se aplican a bajo espesor, pues de ser aplicadas a alto espesor, el solvente se evaporará de la superficie, el oxígeno

reaccionará con la capa superior, y dificultará la evaporación del solvente de las capas inferiores y la penetración del oxígeno, haciendo que el resto de la película no cure apropiadamente. Las pinturas a base de resinas alquídicas y las de epoxi-éster forman recubrimientos bajo este mecanismo.

#### • **Pinturas que curan por evaporación de solvente**

La capa de recubrimiento se forma al evaporarse el solvente. Estas pinturas están compuestas por polímeros de elevado peso molecular, que se depositan sobre la superficie, entrecruzándose físicamente entre sí, sin que ocurra un cambio químico, proporcionando una película dura termoplástica que es soluble en el disolvente que la acompañaba en la pintura. Bajo este mecanismo curan las pinturas de caucho clorado y las vinílicas.

#### • **Pinturas que curan por reacción Química**

Son pinturas que forman el recubrimiento por la reacción química de dos ó más componentes, los que viene envasados por separado con cantidades premedidas para su mezcla, la que se realiza momentos antes de su aplicación. Como se lleva a cabo una reacción en donde dos moléculas se unen químicamente para formar moléculas más largas y entrecruzadas tridimensionalmente, presentan un tiempo de vida útil para su uso denominado “Pot Life”, luego del cuál la pintura se vuelve inutilizable para su aplicación al cambiar sus propiedades reológicas. Es de suma importancia mantener la proporción de mezcla de cada uno de los componentes, la que es especificada por el fabricante de pintura, de lo contrario el recubrimiento no curará apropiadamente. Ejemplos de pinturas que curan bajo este mecanismo son las pinturas poliuretánicas, las epóxicas de dos componentes y las ricas en zinc de base orgánica.

## II.2 Sistemas de Pinturas anticorrosivas para la protección de tanques de Almacenamiento de Petróleo.

Normalmente la estructura del tanque de petróleo está armada por planchas de acero al carbono unidas por soldadura y remaches las que son recubiertas en el exterior para preservarlo del medio ambiente, mientras que en su interior se pinta el fondo y el primer anillo inferior (de 0.50 a 1.5 m desde el fondo) con el fin de preservarlo del ataque de agua salada que acompaña al petróleo y que por diferencia de densidad se deposita en la parte inferior del tanque. A continuación se presentan sistemas de pinturas que se han usado en nuestro medio para la protección de los tanques de almacenamiento de petróleo a temperatura ambiente.

### II.2.1 Sistema de Pintado Anticorrosivo aplicado para el Interior de tanques de almacenamiento de petróleo

Sistema 1	Sistema 2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cliente: Oleoducto Nor-Peruano</li> <li>• Arenado a metal blanco</li> <li>• 02 capas de epoxi coaltar poliamida al 73% de sólidos a 200 <math>\mu\text{m}</math> (8 mils) secos por capa</li> <li>• Espesor total de 400 <math>\mu\text{m}</math> (16 mils) en seco</li> <li>• Mecanismo de protección: efecto barrera y de resistencia iónica.</li> <li>• 09 años de vida práctica estimada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cliente : RELAPASA</li> <li>• Arenado a metal blanco</li> <li>• 01 capa base de pintura rica en zinc base inorgánica a 100 <math>\mu\text{m}</math> (4 mils) de espesor en seco</li> <li>• 02 capas de pintura epoxi amina al 80% en sólidos a 100 <math>\mu\text{m}</math> (4 mils) de espesor seco c/u.</li> <li>• Espesor total de 300 <math>\mu\text{m}</math> (12 mils) en seco</li> <li>• Mecanismo de protección: Efecto de protección catódica y efecto barrera.</li> <li>• 17 años de vida práctica estimada</li> </ul>

## II.2.2 Sistema de Pintado Anticorrosivo para el Exterior de tanques de almacenamiento de petróleo.

SISTEMA 1	SISTEMA 2
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cliente: Oleoducto NorPeruano</li> <li>• Arenado a metal blanco</li> <li>• 01 capa de primer epoxi-amina al 65% de sólidos a 100 <math>\mu\text{m}</math> (4 mils) de espesor seco</li> <li>• 01 capa de esmalte epóxi-amina al 70% de sólidos a 100 <math>\mu\text{m}</math> (4 mils) de espesor.</li> <li>• Espesor total: 200 <math>\mu\text{m}</math> (8 mils) en seco</li> <li>• Garantía de 05 años por el sistema aplicado (falla en menos del 5% de la superficie pintada)</li> <li>• 13 años de vida práctica estimada en estaciones de selva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cliente: RELAPASA</li> <li>• Arenado a metal blanco</li> <li>• 01 capa de pintura rica en zinc base inorgánica a 100 <math>\mu\text{m}</math> (4 mils) de espesor seco</li> <li>• 01 capa de esmalte epoxi-amina al 80% de sólidos a 100 <math>\mu\text{m}</math> (4 mils) de espesor</li> <li>• 01 capa de esmalte poliuretánico de dos componentes al 50% de sólidos a 50 <math>\mu\text{m}</math> (2 mils) de espesor seco</li> <li>• Espesor total de 250 <math>\mu\text{m}</math> (10 mils) en seco</li> <li>• Garantía de 05 años por el sistema aplicado (falla en menos del 5% de la superficie pintada).</li> <li>• 16 años de vida práctica estimada en zona próxima a la costa</li> </ul>

## II.3 Tratamientos para la preparación de superficies metálicas

### A. Fundamentos

La preparación de superficie tiene por fin eliminar la materia contaminante que impida la buena adherencia de la pintura sobre el sustrato metálico y al mismo tiempo crear rugosidad sobre la superficie metálica aumentando el área específica de contacto metal-pintura. La integridad y adhesión al sustrato metálico de la película protectora y su vida estimada se pueden reducir debido a una mala o inadecuada

preparación de superficie. La elección del método de preparación de superficie adecuado se hace en función a:

- Condiciones de servicio de la estructura a proteger.
- Tipo y condición de la superficie.
- Facilidad para efectuar la labor de preparación de superficie.
- El sistema de pinturas recomendado
- Tiempo de vida útil del sistema protector.

La mayoría de las pinturas de protección anticorrosiva están elaboradas con resinas orgánicas, componente responsable de la formación de la capa de recubrimiento sobre el metal. El acero libre de óxidos, escamas de laminación, polvo, grasas u otro contaminante es organofílico, es decir atrae y forma enlaces moleculares estables con compuestos orgánicos; por ello las superficies metálicas limpias son fácilmente humedecidas por la mayoría de las resinas orgánicas que componen las pinturas y eso explica la buena humectación y adhesión de la pintura sobre los acero limpios. En cambio, cuando la superficie metálica se encuentra oxidada o en presencia de humedad, su comportamiento es hidrofílico, es decir se vuelve ávido por combinarse con agua. Debido a ello se explica porque una superficie oxidada es tan difícil de cubrir con recubrimientos orgánicos, a menos que estos tengan propiedades extremadamente buenas de humectación.

## **B. Condición inicial de la superficie**

Las superficies a ser recubiertas pueden encontrarse en diversidad de condiciones, sin embargo, estas pueden ser reunidas en las siguientes categorías:

### **B.1 Superficies de Acero Nuevas**

De acuerdo a la reconocida institución norteamericana Steel Structures Painting Council (SSPC), los grados de oxidación de superficies nuevas de acero son:

**Tabla 1.** Grado de oxidación para superficies nuevas de acero según Norma SSPC-Vis 1-89

<b>Grado</b>	<b>Descripción</b>
A	Superficie cubierta completamente con escama de laminación
B	Superficie cubierta con escama de laminación y óxido
C	Superficie completamente cubierta con óxido y con picaduras ligeramente visibles
D	Superficie completamente cubierta de óxido y con picaduras visibles.

## **B.2 Superficies de acero previamente pintadas**

La Steel Structures Painting Council establece 10 grados de oxidación para superficies metálicas previamente recubiertas y cuenta para ello con patrones fotográficos y un diagrama gráfico que representa los grados de oxidación. (Ver Apéndice II: Guide to Visual Standard N° 2) En ellas se describen los grados de oxidación de la superficie en base al porcentaje de área afectada por la presencia de óxido.. Se establecen los siguientes grados:

**Tabla 2.** Descripción del grado de oxidación para superficies previamente pintadas según norma SSPC Vis-2

<b>Grado de Oxidación</b>	<b>Descripción</b>
10	Presencia de menos del 0.01% de óxido en la superficie o ausencia del mismo.
9	Presencia minoritaria de óxido en menos del 0.03% de la superficie
8	Puntos aislados de oxido que cubren menos al 0.1% de la superficie
7	Menos del 0.3% de la superficie está oxidada.
6	Puntos de oxidación que ocupan menos del 1% de la superficie
5	El óxido se encuentra extendido en el 3% de la superficie
4	El óxido se encuentra extendido en el 10% de la superficie
3	Casi la sexta parte de la superficie se halla recubierta por óxido
2	Cerca de la tercera parte de la superficie se encuentra afectada por óxidos
1	Aproximadamente el 50% de la superficie se encuentra oxidada
0	Aproximadamente, el 100% de la superficie se encuentra oxidada

La elección del método de preparación de superficie en superficies nuevas o pintadas se hace en gran medida en función del grado de oxidación de la superficie.

### **C. Normas de Preparación de Superficie**

A nivel de mantenimiento industrial, instituciones vinculadas al rubro han establecido estándares que permiten establecer el grado de preparación de superficie. Las instituciones de relevancia que han establecido estos patrones son:

1. **Steel Structures Painting Council (SSPC).** Institución norteamericana que dispone de estándares visuales compuestos por fotos a color para comparar el grado de preparación de superficie, partiendo de sustratos de acero en diferente estado de oxidación.
2. **Swedish Estándar Institution.** Es el organismo de normas suecas y cuenta con patrones similares a la SSPC.
3. **National Asociation of Corrosion Engineers (NACE).** Organización norteamericana que dispone de paneles metálicos forrados con plástico de 4 grados de preparación de superficie.

Los estándares de preparación de superficie que presentan mayor relevancia y que forman parte de la documentación técnica que aparece en manuales, contratos, estándares de ingeniería, etc, son los de la Steel Structures Painting Council.

Debido a esta importancia asignada por contratistas, ingenieros de mantenimiento, fabricantes de pintura y supervisores en general, se describen los métodos de preparación de superficie establecidas por la SSPC para superficies de hierro y acero.



**Tabla 3. Métodos de preparación de superficie establecidos por la Steel Structures Painting Council (SSPC).**

<b>Método SSPC</b>	<b>Descripción</b>
SSPC-SP-1-63 Limpieza con solventes	Eliminación de aceites, grasa, tierra, sales y suciedad en general por medio de lavado con solvente, vapor de agua, o solución alcalina. Normalmente antecede a cualquiera de los demás métodos mencionados posteriormente
SSPC-SP-2-63 Limpieza manual	Eliminación de óxido, escoria o pintura mal adherida por medio de rasquetado, lijado o cepillado manual. Es un método aceptable para preparar superficies previamente pintadas que van a estar expuestas a atmósferas normales, para interiores y para repintado de mantenimiento siempre que se usen pinturas con buena capacidad de humectación
SSPC-SP-3-63 Limpieza mecánica	Eliminación de óxido, escoria y pintura pobremente adheridos mediante rasquetado, lijado o cepillado mecánico. Proporciona una mayor calidad de superficie sobre todo para la imprimación.
SSPC-SP-4-63 Limpieza con soplete al fuego	Eliminación de óxido, escoria por medio de soplete de fuego seguido por limpieza con cepillo metálico. Esta especificación es descontinuada desde 1982 entre otras consideraciones por su nivel de peligrosidad.
SSPC-SP-5-63 Arenado al metal blanco	Eliminación de todo óxido, escoria, pintura y demás contaminante visible por medio de chorro a presión de arena o granalla sobre la superficie metálica. Se emplea para proteger estructuras en atmósferas corrosivas o para servicio en inmersión donde se requiere un alto desempeño del sistema de pinturas.
SSPC-SP-6-63 Arenado comercial	Arenado de la superficie hasta que por lo menos 2/3 partes de la superficie esté libre de todo residuo visible de pintura, óxido, escoria o materiales extraños. Se usa generalmente en repintado para mantenimiento.
SSPC-SP-7-63 Arenado simple	Eliminación por chorro de arena a presión de todo material que se encuentre mal adherido a la superficie metálica, permitiéndose escoria, pintura antigua firmemente adheridos. Su bajo costo lo hace económicamente recomendable para preparar superficies expuestas a medios de agresividad media o para repintado de mantenimiento.
SSPC-SP-8-63 Lavado con ácido	Eliminación de óxido y escoria por medio de ácidos fuertes en tanques de inmersión y lavado posterior con agua limpia. Normalmente es empleado en talleres para limpieza de estructuras pequeñas a medianas.
SSPC-SP-9-63 Exposición a la intemperie	Esta especificación está descontinuada desde 1971. Se objetó que la exposición en medios severos no permitía una preparación de superficie adecuada..
SSPC-SP-10-63 Arenado al metal cercano al blanco	Limpieza con chorro de arena o granalla a presión eliminando todo residuo contaminante visible en por lo menos el 95% de la superficie, permitiéndose sombras de óxido en el resto de la superficie. Se emplea para lograr un alto grado de limpieza en atmósferas de alta humedad, marinas o corrosivas.

Existen métodos no cubiertos por la SSPC que sin embargo son de importancia comercial, tales como:

#### **Limpieza con Chorro de agua. Norma NACE Std RP-01-72.**

Se elimina aceites, grasas, óxido escamas de laminación, pintura suelta y demás contaminantes con un chorro de agua a una presión entre los 140 a 350 kg/cm<sup>2</sup> (2000 a 5000 psi) a un flujo de 0.25 a 0,9 litros/s (4 a 14 galones por minuto) y que emplea emulsificantes y aditivos.

#### **Limpieza con granalla de hielo seco..**

El granallado de hielo seco es un proceso de limpieza industrial que utiliza partículas de anhídrido carbónico sólido (hielo seco) a alta presión como un material de limpieza, removiendo suciedad, óxido, grasas y aceite de superficies metálicas. En el impacto, las partículas se evaporan sin dejar residuos externos ni peligrosos. Su empleo es ideal en talleres de fabricación.

### **II.4 Métodos para la aplicación de pinturas en Estructuras Metálicas**

Los métodos empleados para la aplicación de recubrimientos industriales son:

#### **II.4.1 Aplicación Convencional con proyección de aire**

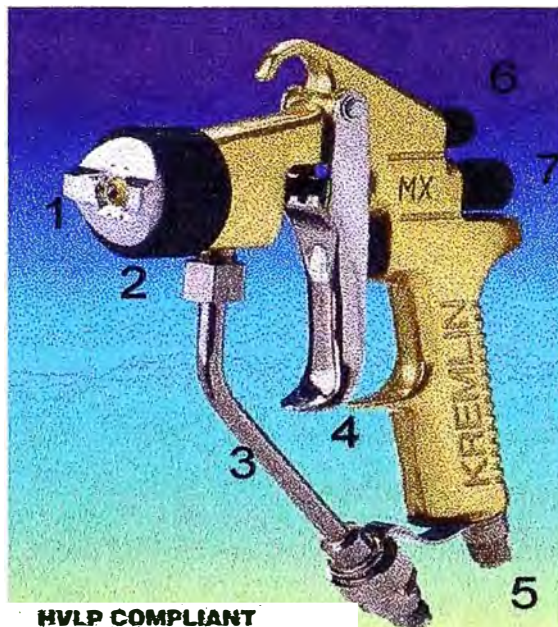
También conocido como rociado por aire, porque emplea aire comprimido para romper y atomizar una corriente de pintura. Para ello, un compresor abastece de aire a presión por medio de una manguera a una pistola de rociado (ver figura1) donde se mezcla la pintura y el aire a presión, lo que produce una fina nube de pintura atomizada, la misma que es proyectada hacia la superficie..

Estas pistolas cuentan generalmente con dos tornillos reguladores, uno de los cuáles se usa para controlar el ingreso de aire a la pistola y con ello se regula la forma y tamaño del abanico de rociado, mientras que el otro tornillo controla el flujo de pintura. El gatillo de la pistola permite el ingreso de aire y pintura hacia el

casquillo, en donde se mezclan y permite el rompimiento del material en partículas pequeñas, las que salen por el pico de fluido y van hacia la superficie a recubrir.

Este método requiere el uso de filtros que retengan la humedad condensada del aire proveniente del compresor para evitar la falla prematura del recubrimiento.

El rociado por aire ocasiona pérdidas de pintura estimada en el orden del 20 al 40%, por la generación de sobre rociado a lo que se suma la presencia de vientos fuertes durante la aplicación.



**Figura 1.-** Pistola de rociado con aire de alta presión y sus partes

1. Pico de fluido
2. Casquillo de aire
3. Línea de ingreso de pintura
4. Gatillo
5. Línea de ingreso de aire de la compresora
6. Tornillo regulador de forma de rocío
7. Tornillo regulador de flujo de pintura

Por la manera en que la pintura es alimentada a la pistola, los rociados se clasifican en:

**Rociado con alimentación por succión.-** Es el método más simple y menos costoso para aplicaciones que requieren menos de un litro de pintura (por lo general retoques) y para aquellos materiales de viscosidad ligera o mediana. En este tipo de rociado, la presión del aire que proviene del compresor genera un vacío en el interior de la pistola, el mismo que provoca la succión de la pintura que se encuentra en un depósito acoplado en la parte superior o inferior de la pistola, pasando por ella y siendo atomizada en su interior.

***Rociado por alimentación a presión.***- Por medio de este método, la pintura es alimentada desde un tanque de almacenamiento a la pistola de rociado bajo presión la que varía entre los 0.7 a 5 Kg/cm<sup>2</sup> (de 10 hasta 70 PSI) de acuerdo a su viscosidad y porcentaje de sólidos en volumen. Permite manejar flujos mayores y materiales de mayor viscosidad, por lo que se hace recomendable para trabajos intensivos.

#### **II.4.2 Aplicación con equipos sin aire (Airless)**

En este caso, la atomización se efectúa haciendo pasar la pintura a alta presión a través de un pequeño orificio ubicado en la parte frontal de la pistola de rociado. La presión es suministrada por una bomba accionada por un compresor de aire, un motor eléctrico o máquina a combustión succionando la pintura desde un recipiente abierto. Se dispone de equipos que proporcionan rangos de presión comprendidas entre los 70 a 520 Kg/cm<sup>2</sup> (1000 a 7400 psi), de acuerdo al modelo de equipo y del tipo de pintura a emplear.

Entre sus características favorables están el menor porcentaje de pérdidas por atomización comprendido entre 10 a 20%, su velocidad de aplicación, el proporcionar mayor espesor de película de pintura por pasada y eliminar problemas de falla del recubrimiento ocasionada por la presencia de humedad (al no emplear aire para la atomización) en la línea de alimentación de pintura. Sin embargo, el uso de altas presiones requiere personal adiestrado y extremas medida de precaución para su manejo.

El tamaño de orificio de la boquilla de atomización se selecciona de acuerdo al tipo de pintura a emplea, recomendándose la selección de acuerdo a la tabla 4.

**Tabla 4.** Selección de tamaño de orificio por tipo de pintura

<b>Diámetro de orificio en <math>\mu\text{m}</math> / pulgadas</b>	<b>Tipo de pintura</b>
280-380 $\mu\text{m}$ / 0.011 – 0.015”	Lacas, barnices
380-430 $\mu\text{m}$ / 0.015 – 0.017”	Alquídicas, látex, poliuretano
482-530 $\mu\text{m}$ / 0.019 - 0.021”	Epóxicos de alto espesor; Ricos en Zinc
582-635 $\mu\text{m}$ / 0.023 – 0.025”	Epóxicos bituminosos (Coal Tar)

Debe destacarse que la pistola debe ubicarse a una distancia de 20 a 25 cm de la superficie a recubrir para evitar el exceso de pintura que produzca chorreaduras así como pasar la pistola en forma perpendicular a la superficie, nunca con movimientos de abanico para evitar el sobre rociado seco y áspero en las áreas contiguas.

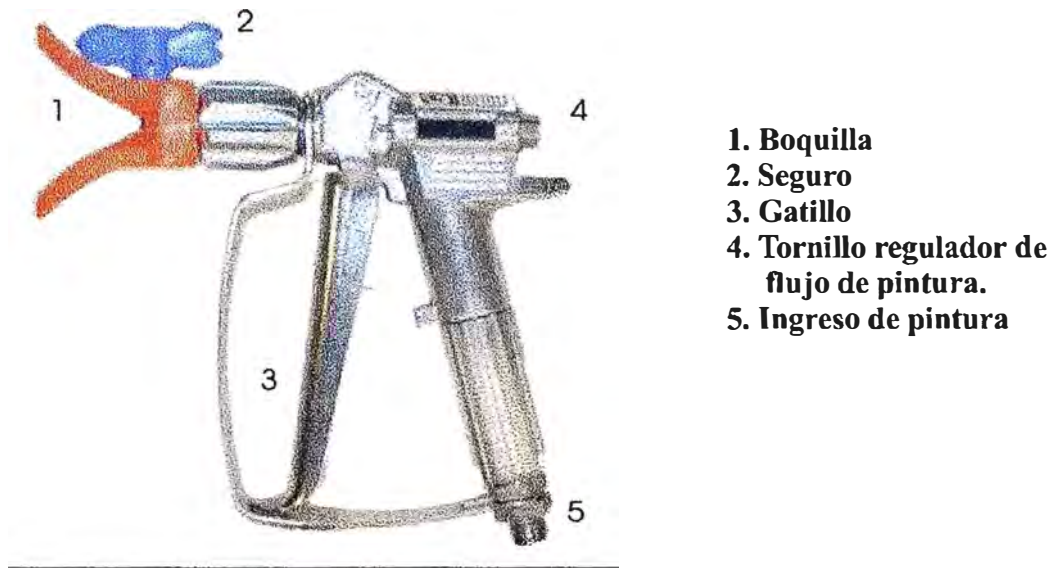
En las siguientes figuras 2 y 3 se muestran equipos airless y una pistola airless con sus principales detalles.



- 1. Pistola airless**
- 2. Manguera de alta presión.**
- 3. Bomba de alta presión**
- 4. Succión**
- 5. Recipiente de pintura**

**Figura 2.** Equipo airless y sus partes principales.





**Figura 3.** Pistola airless con detalles principales

#### **II.4.3 Aplicación para resane de recubrimientos y áreas pequeñas**

Para realizar resanes sobre recubrimientos aplicados o cuando se quiere recubrir áreas pequeñas donde la aplicación por rociado no es efectiva, tales como ángulos fillos o esquinas de difícil acceso, cordones de soldadura etc, se hace necesario emplear brochas de pelo de nylon para tal fin, las mismas que cumplen una eficiente labor en la humectación y penetración sobre superficies de configuración difícil o para mejorar la humectación de las pinturas de base en superficies que presentan dificultades para la adherencia. Se dispone de brochas de diverso tamaño desde 1/2" hasta de 6". En cuanto a la técnica para aplicar pinturas con brocha, ésta se debe sumergir previamente al trabajo en el mismo tipo de diluyente de la pintura, escurrirla y cargarla de pintura sin que se derrame. Se recomienda cubrir áreas pequeñas con cada cargada, de manera que la superficie promedio debe ser un cuadrado cuyos lados midan aproximadamente tres veces el ancho de la brocha. Peinar siempre en una misma dirección.

## **II.5 Consideraciones para la supervisión en la aplicación del sistema de pintado.**

La función del supervisor de pinturas consiste en asegurar la calidad del trabajo de pintado al hacer cumplir las reglas o disposiciones establecidas para llevar a cabo la aplicación del recubrimiento protector de acuerdo a las especificaciones proporcionadas por el departamento de ingeniería de mantenimiento del propietario de la obra y el proveedor de pintura, las que en el caso de trabajos de envergadura son señaladas por medio de un contrato de obligaciones y responsabilidades de las partes involucradas en el trabajo.

La información vital para desarrollar el trabajo de supervisión requiere la especificación del **sistema de pintado**, el mismo que debe describir:

1. Preparación de superficie. Donde se menciona el grado de preparación de superficie y la rugosidad necesaria requerida por el sistema de pinturas.
2. Sistema de pinturas. Donde se especifica el número de capas de pintura a emplear, el diluyente para cada capa y su porcentaje de dilución, el espesor de cada capa en seco y en húmedo, rendimiento de cada tipo de pintura, incluyendo el porcentaje de pérdidas estimado, las condiciones ambientales de aplicación, el tiempo de curado de cada capa y el equipo de aplicación recomendado. Es indispensable contar con la información técnica de cada pintura que debe ser proveída por el fabricante de pintura.
3. Las pruebas necesarias a las que debe ser sometido el sistema de pinturas para su calificación, tales como las pruebas de adherencia, de dureza, de continuidad de película y curado del sistema.

De acuerdo a lo mencionado, el supervisor de aplicación de pintura debe tener como primer paso el estudiar y comprender las especificaciones de la obra y elaborar la planificación de su trabajo, el mismo que depende del tamaño de la obra y de la función que cumple el recubrimiento protector seleccionado<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> Steel Structure Practice Council; Coating and Lining Inspection Manual; SSPC Publications, EE.UU. 1997.

La labor del inspector durante el desarrollo del trabajo debe ser complementada con la presentación de reportes periódicos, donde se mencionen las zonas de inspección, el tipo de equipo usado, las condiciones del clima, el estado de preparación de superficie, grado de dilución de pintura, espesor de película por capa, tiempo de curado, además de mencionar la cantidad de pintura empleada, el área recubierta y el rendimiento.

En el reporte de inspección final se debe considerar mencionar el espesor total del sistema de pintado, la continuidad de película, su dureza, adherencia, aspecto general (color, brillo, cubrimiento, textura) y su aprobación para la puesta en servicio de la estructura pintada. Seguidamente se pasa a describir los pasos que se hacen en la supervisión de los trabajos de pintado para mantenimiento industrial, destacando la razón de la importancia de cada paso.

### **II.5.1 Supervisión en la preparación de la superficie metálica**

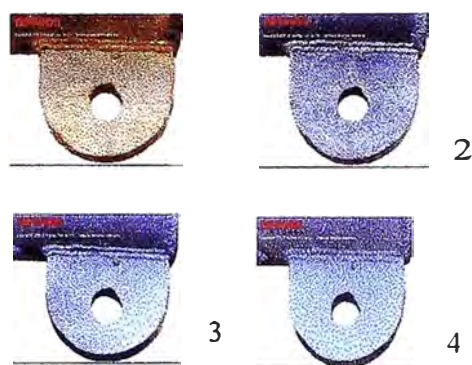
Durante la preparación de superficie, el inspector debe asegurar la idoneidad del material y equipos necesarios para llevar a cabo la limpieza de superficie especificada. Asimismo, debe evaluar la preparación de superficie y el grado de rugosidad de la misma de acuerdo a las especificaciones del sistema de pintado.

#### **A. Evaluación del grado de preparación de Superficie.**

La institución norteamericana Steel Structure Painting Council (SSPC) provee los grados de preparación de superficies de acero al carbono mediante fotos a color, los que sirven para compararlos en el trabajo de campo y son de amplia aceptación por parte de ingenieros de mantenimiento, proveedores de pintura y contratistas de mantenimiento en general (revisar la tabla N° 3 sobre los grados de preparación de superficie). A continuación se presentan fotos descriptivas de algunos grados de preparación de



superficie a partir de una superficie oxidada y que ha sido tratada por chorro de arena a presión a los grados de preparación mostrados.



**Figura 4.-** Muestras de grados de preparación de superficie por chorro de arena a presión.

1. Muestra inicial de acero oxidado
2. Muestra tratada con arenado simple
3. Muestra tratada con arenado comercial
4. Muestra tratada con arenado al metal blanco

## B. Perfil de rugosidad de superficie

Para la mayoría de recubrimientos industriales, el grado o perfil de rugosidad de una superficie metálica tratada es importante, puesto que incrementa el área de contacto entre el sustrato y la pintura aplicada, mejorando el anclaje mecánico de la pintura y con ello la adherencia. Este perfil varía entre 13 y 75 micras (0.5 y 3.0 milésimas de pulgada) de acuerdo método de tratamiento de superficie y al recubrimiento a emplear. Debe procurarse un perfil adecuado dentro del rango que se especifique en el sistema de pintado, pues perfiles de rugosidad elevados (mayores a  $75\ \mu\text{m}$  ó 3 mils) con capas de pintura de bajo espesor corren el riesgo de un fallo prematuro del sistema de pinturas, mientras que perfiles bajos presentan el riesgo de una baja adherencia para la primera capa de pintura. Como regla general un recubrimiento de alto espesor (que tiene un alto contenido de sólidos) con un sistema de pinturas de espesor de capa elevado (250 a  $300\ \mu\text{m}$ ) acepta de un perfil de rugosidad alto (13 a  $75\ \mu\text{m}$ ) en contraposición a una pintura de bajo contenido de sólidos

o de un sistema de pinturas de bajo espesor de capa que requiere de perfiles de rugosidad menores.

El valor que representa el perfil de rugosidad es la altura promedio que existe entre picos y valles dejados sobre la superficie metálica debido al impacto de abrasivo, tal como un chorro de arena o granalla a presión. La determinación del perfil de rugosidad de superficie se efectúa con un comparador visual de perfil de rugosidad de superficie tal como el Keane-Tator profile comparator, el cuál consta de una luna de aumento con linterna y 3 discos comparadores que se usan de acuerdo al abrasivo empleado en el tratamiento de superficie. Si se hizo un chorreado con arena se usa el comparador tipo S, si se hizo con granalla metálica con el comparador tipo SH; y si el trabajo se realizó con escoria se emplea el tipo GS. Cada disco comparador esta dividido en 5 sectores, cada uno de los cuáles representa una determinada rugosidad, tal como se presenta a continuación en la figura 5.



**Figura 5.** Comparadores de perfil de superficie de acero tipo Keane-Tator

- S Para superficie tratada con chorro de arena a presión
- SH Para superficie tratada con granalla metálica
- GS Para Superficie tratada con escoria

### C. Características del material y equipo de limpieza

Para cumplir con el grado de preparación de superficie especificado, se hace necesario contar con el material y equipo idóneo. Para efectuar el trabajo de acondicionamiento de superficie se dispone de los siguientes materiales y/o equipos:

#### ***Abrasivos.***

Son todos aquellos materiales que son impulsados a presión sobre la superficie a tratar, erosionándola durante el impacto de manera que se desgaste controladamente el sustrato metálico, eliminando con ello todo contaminante superficial. Se dispone de los siguientes abrasivos a nivel comercial.

**Arena.-** Es un abrasivo mineral compuesto principalmente de sílice. El material debe estar libre de sales y cualquier otro contaminante potencialmente peligroso para el tratamiento de superficie. Para el trabajo de limpieza por arenado a presión se recomienda usar arena cernida entre las mallas 20 y 80 mesh de la serie tyler (841  $\mu\text{m}$  a 180  $\mu\text{m}$  de abertura nominal de malla) para generar un perfil de rugosidad estimado entre 38 a 50  $\mu\text{m}$  (1.5 a 2 mils), suficiente para cumplir los requerimientos de la mayoría de los sistemas de pintado.

**Escoria.-** Abrasivo mineral obtenido como residuo de las concentradoras de cobre y plomo. Este material es lavado y clasificado empleándose el material que pasa por malla 20 mesh (841  $\mu\text{m}$  de abertura nominal de malla). Presenta mayor dureza que la arena, y mayor resistencia al impacto, por lo que puede ser reutilizado. Normalmente deja un color ligeramente oscuro sobre la superficie metálica cuando se emplea para la limpieza a metal blanco

**Granalla metálica.-** Material artificial hecho de acero aleado, que se presenta en formas angular o esférica. Debido a sus

resistencia al impacto, son reutilizables. Su aplicación esta limitada a talleres.

**Agua a presión.-** Es un método que emplea agua a presiones entre los 140 a 350 Kg/cm<sup>2</sup> (2000 a 5000 psi), eliminando recubrimientos, óxidos y cualquier otro contaminante presente en la superficie. El resultado es similar a emplear arena o granalla, pero con oxidación prematura luego del secado de la superficie.

**Máquinas.-** Se tienen equipos que requieren de fuentes de energía para su accionamiento, tales como lijadoras eléctricas, martillo neumático, cepillos de acero, discos con abrasivos entre otros. Son ideales para preparar las soldaduras antes de ser recubiertas.

**Herramientas manuales.-** Se dispone de escobillas de acero, cobre, martillo, picota, lijas con las cuales se puede hacer la limpieza de áreas reducidas para retirar escamas de óxido o pintura floja. Ideal para resanes en áreas pequeñas.

#### **D. Limpieza de superficie**

Se debe cuidar que la superficie tratada y previa a la aplicación de pintura se encuentre libre de aceite, grasa o humedad, así como de residuos mal adheridos o sueltos de óxido, polvo, escoria o abrasivo, los mismos que debe eliminarse por medio de un chorro de aire seco a presión.

#### **II.5.2 Supervisión en la aplicación del sistema de pinturas.**

Las condiciones ambientales afectan la preparación de superficie y la aplicación de los recubrimientos, así como su curado y desempeño posterior por lo que se deben controlar ciertas variables ambientales que permitan asegurar la calidad del trabajo de pintado.

### **II.5.2.1 Monitoreo de variables ambientales.**

**a. Medición de la humedad Relativa..-** La humedad relativa es un parámetro de importancia, pues permite establecer la posibilidad de la formación de gotas de rocío sobre la superficie metálica, lo que hace susceptible la formación de óxido en la superficie metálica recién tratada, condición inaceptable en sistemas de pinturas sometidos a inmersión. Un segundo punto de observación es que al pintar sobre superficies húmedas o donde la humedad se condensa es segura la presencia de ampollas generadas por las gotas de agua al volver a la fase vapor, las que romperán la continuidad de la película de pintura y con ello ocasionarán la falla prematura del recubrimiento. La presencia de un exceso de humedad posterior a la aplicación de ciertas pinturas como las de base epóxica puede afectar su tiempo de curado, prolongándolo más allá de lo esperado o generando una bruma sobre la capa superficial, la misma que quita el brillo del recubrimiento, afectando su presencia sobre todo si se trata de la capa final. En contraposición, las pinturas ricas en zinc de base inorgánica requieren la presencia de humedad relativa en niveles del 80% para su curado, por lo que se necesita mantener esta condición.

La medición de la humedad relativa se hace con ayuda de los psicómetros, instrumentos que permiten medir la temperatura de bulbo húmedo y bulbo seco. Tales datos se cruzan en una tabla psicométrica del sistema aire agua, con lo que se procede a calcular la humedad relativa y el punto de rocío (condición de humedad relativa y temperatura ambiente que permite la condensación de la humedad en forma de gotas).

La medición de la humedad relativa y la determinación del punto de rocío debe efectuarse antes de empezar el trabajo de pintado y durante el desarrollo del mismo al menos 1 vez cada 4 horas para trabajos intensivos y con condiciones climáticas estables. Mediciones más frecuentes deben realizarse en condiciones de tiempo variable.

**b. Temperatura de Superficie.-** Antes de proceder con la aplicación de la pintura, es adecuado medir la temperatura del sustrato metálico a ser recubierto. Para evitar la formación de humedad condensada sobre la superficie metálica, ésta debe estar al menos 3 °C de temperatura por encima del punto de rocío<sup>8</sup>. Ello para dar un margen de seguridad que la humedad no se depositará sobre la superficie y considerando que la evaporación del solvente de la pintura puede reducir la temperatura del sustrato. Si la temperatura de superficie metálica es baja, ocasionará una pobre evaporación del solvente, afectando las propiedades del recubrimiento tales como tiempo de curado, dureza, permeabilidad, brillo, y la adhesión al sustrato metálico existiendo incluso la posibilidad que parte del solvente quede atrapado permanentemente. En cambio, Cuando la temperatura de superficie es demasiado alta, el solvente se volatilizará dejando rápidamente el recubrimiento, pero con la presencia de ampollas o agujeros pequeños conocidos como pinholes, dejando un recubrimiento poroso y en muchos casos mal adherido, afectando sus propiedades protectoras y con riesgo de falla prematura.

---

<sup>8</sup> Steel Structure Practice Council; Coating and Lining Inspection Manual; SSPC Publications, EE.UU. 1997. Pag. 5-10

**c. Temperatura Ambiente.-** La temperatura del ambiente tiene un efecto directo sobre la viscosidad de las pinturas de mantenimiento industrial. Climas fríos aumentan la viscosidad, mientras que los calurosos crean el efecto inverso. El rango de temperatura ideal de aplicación para muchos recubrimientos se encuentra entre los 10 y los 35 °C. Sin embargo, para muchos recubrimientos catalizados (dos o tres componentes) es preciso señalar de parte del proveedor de pintura, las temperaturas máximas y mínimas del medio ambiente a las cuáles se puede aplicar sin afectar su desempeño esperado. Temperaturas bajas crean la necesidad de aumentar la cantidad de diluyente a la pintura para disminuir la viscosidad, obteniéndose espesores en seco menores al reducirse el contenido de sólidos ó generando recubrimientos porosos con mayor permeabilidad, (algo indeseable). En tanto, altas temperaturas pueden reducir la viscosidad de la pintura hasta el punto que al aplicarla sobre superficies verticales se “descuelgue”, generando chorreaduras o que el recubrimiento alcance la superficie muy seco, dando la apariencia de un pulverizado grueso, en especial si se aplica con rociadores de aire. Por lo general, los recubrimientos no deben ser aplicados cuando la temperatura del medio ambiente sea inferior a 4 °C o superior a los 43 °C. Adicionalmente, los fabricantes de pintura deben recomendar el tipo y la cantidad de diluyente que debe ser adicionado al producto, así como el equipo de aplicación, los que varían de acuerdo a condiciones de alta o baja temperatura existentes en la aplicación.

### II.5.2.2 Inspección en la preparación de pinturas

Previo a la preparación de la pintura, el supervisor debe asegurarse de la condición e idoneidad del equipo de aplicación de pintura recomendado o especificado. A continuación se debe preparar la pintura, verificando que sea el tipo de pintura y diluyente especificado para cada etapa de la obra, así como un estimado de los requerimientos de pintura necesarios para cubrir el área tratada.

Durante la preparación de la pintura es necesario controlar:

**a. Relación de mezcla.-** Para el caso de pinturas de dos ó tres componentes tales como las epóxicas o las de zinc de base orgánica respectivamente, se hace necesario controlar la relación volumétrica entre componentes de acuerdo a las especificaciones señaladas en la hoja técnica de cada producto. En estos productos es necesario guardar las recomendaciones de relación de mezcla pues de otro modo se obtendrán recubrimientos que no endurecerán oportunamente o en el peor de los casos no lo harán nunca, obligando a retirarlo con el respectivo perjuicio por pérdida de trabajo material y tiempo.

**b. Cantidad de diluyente y control de la viscosidad.-** El diluyente se adiciona con el fin de adecuar la viscosidad del producto de acuerdo la recomendación del fabricante de pintura, la misma que varía de acuerdo al método de aplicación de pintura y las condiciones ambientales. En general, el empleo de un equipo de atomización por aire requiere emplear mayor cantidad de diluyente que si se empleara un equipo de aplicación airless en iguales condiciones ambientales. Pero en regiones cálidas se hace



necesario menor cantidad de diluyente que en regiones frías, debido a que la viscosidad depende de la temperatura.

**c. Tiempo de inducción y agitación.-** Una vez mezclados los componentes de la pintura y adicionada la cantidad de diluyente necesaria, la pintura preparada requiere un tiempo de inducción o reposo, lapso en donde los componentes proceden a reaccionar y logran el estado óptimo para su aplicación. Normalmente este tiempo varía entre 10 a 30 minutos, de acuerdo al tipo de recubrimiento y la temperatura ambiente.

**d. Filtrado de la mezcla.-**Una vez cumplido el tiempo de inducción, la mezcla que forma la pintura se hace pasar por un filtro para retener partículas sólidas que puedan obstruir las boquillas de las pistolas de rociado ya sean estas las de tipo de atomización con aire o sin aire.

### **II.5.2.3 Inspección durante la aplicación de pintura**

Durante la aplicación de pintura, el supervisor debe prestar especial atención a:

#### **a Control de la aplicación del recubrimiento**

En el caso de emplearse pistola de atomización con o sin aire se debe asegurar que la presión de atomización es la recomendada para el producto que se maneja. Si se usa pistola para rociado con aire, se verificará que el aire comprimido de atomización este seco y libre de aceite, evitando que se depositen en la superficie a recubrir, para lo cuál se debe purgar periódicamente el filtro en la línea de aire comprimido que proviene del compresor. Asimismo para procurar la uniformidad del recubrimiento aplicado es necesario la

agitación constante del producto en el recipiente que lo contiene.

El supervisor controlará el trabajo del pintor, haciendo respetar las técnicas de aplicación de pintado. En el caso del rociado con aire, la pistola debe mantenerse perpendicular a la superficie, a una distancia de 15 a 25 centímetros (6 a 10 pulgadas) y trasladándose con velocidad uniforme. En el caso de la pistola airless, la distancia a la superficie debe ser de 25 a 35 centímetros (10 a 14 pulgadas), y cada pasada debe cubrir el 50% del área cubierta anteriormente.

#### **b. Control del espesor de película en húmedo**

Para asegurar el espesor de película en seco, se debe controlar el grosor de la capa de pintura depositada sobre el sustrato. A este grosor se le conoce como espesor de película de pintura en húmedo, el mismo que se mide por medio de un calibrador, el mismo que se presenta en forma de una placa rectangular, cuadrada o hexagonal que tiene en sus extremos dos filos al mismo nivel y entre estos hay pequeños dientes donde cada uno representa un valor en milésimas de pulgadas que es la distancia entre el diente y el plano del sustrato. Para medir el espesor húmedo, el lado adecuado del calibrador se posiciona sobre una superficie plana y recubierta recientemente con pintura. Esto humedecerá alguno de los dientes, siendo la mayor de las medidas el espesor en húmedo correspondiente.

El control de este espesor en húmedo se hace considerando el porcentaje de sólidos del recubrimiento y el porcentaje de diluyente adicionado. La norma

ASTM D 4414-84: Medición de espesor de capa húmeda por calibrador de inserción, (ver ítem III del apéndice) es una buena referencia para llevar a cabo la medición del recubrimiento en húmedo.



**Figura 6.-** Medidor de espesor de película de pintura en húmedo hexagonal.

### **II.5.3 Inspección Posterior a la aplicación del sistema de pinturas.**

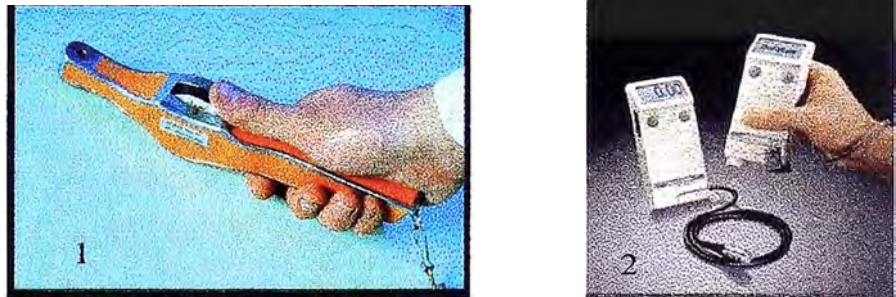
La inspección posterior a la aplicación de pintura se hace, asegurándose que estas se encuentren debidamente curadas, pues en esta situación los recubrimientos han llegado a obtener sus propiedades finales. Este control debe hacerse entre capas para asegurar cada etapa del trabajo. A continuación se pasa a describir el común de pruebas que todo supervisor de pintado hace regularmente, mencionando de paso la importancia de cada una de ellas.

#### **II.5.3.1 Control del espesor de recubrimiento seco**

Es de suma importancia controlar el espesor en seco de la película de pintura, pues esta necesita un mínimo para poder cumplir su misión. Así, el espesor en seco de la primera capa base debe estar por encima del de tamaño de perfil de rugosidad de la superficie metálica. Otra de las razones del control de espesor de la pintura base son cumplir con el efecto de capa barrera, proveer la cantidad

necesaria de pigmento inhibidor o de sacrificio para retardar el proceso de corrosión. Las capas intermedias requieren un espesor mínimo para proteger la capa base y contribuir con el efecto barrera. En tanto, la capa final que provee la protección de las capas inferiores del ataque del medio ambiente, abrasión o daño mecánico. Las capas gruesas, por encima de lo recomendado tampoco son favorables, primero por constituir un gasto innecesario de material y porque en otros casos, va en contra de su adecuado desempeño, presentándose problemas como el cuarteado y desprendimiento en el caso de las pinturas ricas en zinc de base inorgánica, o impidiendo la oxidación o la evaporación de solvente.

Se dispone de medidores de espesor en seco de tipo magnético o digital, tal como se presenta a continuación en la figura 7.



**Figura 7.** Calibradores de espesor de película en seco  
 1. Tipo Magnético mecánico  
 2. Tipo Automático Digital

Las normas que se emplean para efectuar la calibración del espesor de película seca son:

SSPC-PA2 describe el procedimiento para la medición del espesor de película de pinturas con medidores magnéticos (ver en apéndice item IV.- Measuring Dry Film Thickness), mientras que la ASTM lo hace por medio de su

norma D1186-81, para recubrimientos no ferromagnéticas aplicados sobre áreas grandes de base ferrosa. En todos los casos, antes de proceder a efectuar las mediciones de espesor, los instrumentos de medición, sean del tipo magnético mecánico o magnético digital deben ser calibrados con los patrones estándar que consisten en superficies ferrosas cubiertas con recubrimientos de espesor conocido.

### **II.5.3.2 Prueba de adherencia de las capas de pintura**

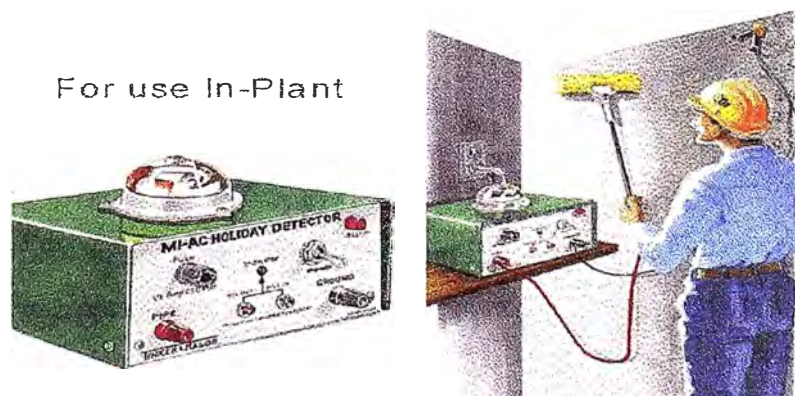
La adherencia entre capas de pintura o entre el metal y la pintura de base es de suma importancia, pues permite establecer la correcta unión entre sustratos, descartando la falla prematura por desprendimiento de capas, lo que de ocurrir, podría acortar la vida de las capas intermedias o peor aún, dejar expuesto el sustrato metálico al medio corrosivo, ocasionando la falla prematura. Un procedimiento de campo que debe ser aplicado por el supervisor de pintado es el estándar ASTM D3359-83: Métodos de prueba para la medición de adherencia por medio de la prueba de la cinta (ver apéndice Item V.- Measuring Adhesión by tape test)

### **II.5.3.3 Prueba de continuidad del sistema de pinturas**

La continuidad de película es la propiedad que permite asegurar el aislamiento entre el sustrato metálico y el exterior cuando termina de curar todo el sistema de pintura aplicado. Este tipo de prueba se hace necesario en el caso que la superficie recubierta va a estar en inmersión, condiciones de alta humedad o en atmósferas altamente corrosivas. En el caso de superficies conductoras, la

continuidad de película se detecta mediante el equipo detector de discontinuidad de película y porosidad, conocido como Holliday Detector, el cual se fundamenta en el establecimiento de un circuito eléctrico que se presenta cuando uno de los extremos del aparato va conectado a tierra y el otro a un medio humedecido (esponja o cerdas). Cuando existe una falla en la continuidad del recubrimiento, se establece un circuito eléctrico entre el electrolito y la superficie metálica, activándose una señal luminosa o acústica con lo que se permite detectar y marcar la zona deficiente para su posterior compensación.

Existen dos tipos de Holliday Detector; el de bajo voltaje recomendado para ser usado en recubrimientos de hasta 500 micras (20 mils) de espesor (ver figura 8). Si el sistema de pinturas está por encima de las 500 micras se emplea el Holliday detector de alto voltaje (hasta 35000 voltios), recomendándose por seguridad aplicar 100 voltios por cada 25 micras de espesor para recubrimientos por encima de las 500 micras, de lo contrario puede causarle daño a la película de pintura.



**Figura 8.-** Holliday Detector de bajo voltaje con esponja húmeda

La norma ASTM asociada para la evaluación de la continuidad de película es la ASTM D5162-01: Estándar

práctico para la prueba de discontinuidades de recubrimientos no conductores sobre sustratos metálicos.

#### **II.5.3.4 Evaluación de la dureza del recubrimiento**

Con esta prueba se evalúa la resistencia al rayado o raspadura superficial de la capa de pintura. El método más común consta de probar la dureza del recubrimiento con una escala de lápices cuya dureza varía desde el más blando (6B) al más duro (6H), pasando por los intermedios: 6B-5B-4B-3B-2B-B-HB-F-H-2H-3H 4H-5H-6H. Estos lápices son afilados, luego la punta se torna en plana restregándola perpendicularmente contra papel lija N° 400. A continuación cada uno de los lápices se presiona con un ángulo de inclinación de 45° sobre el recubrimiento, avanzando en dirección opuesta al operador y empezando desde el lápiz de menor dureza hacia el más duro. La dureza del recubrimiento es proporcionada por la denominación del lápiz de aquella dureza que logró cortar o rayar el recubrimiento. La descripción de esta prueba se halla en la norma ASTM D 3363-74, Dureza de película por la prueba del lápiz (ver apéndice item VI.-Film Hardness by pencil Test).

#### **II.5.3.5 Evaluación del curado del recubrimiento**

Se hace para asegurar que el recubrimiento ha alcanzado la estabilización de sus propiedades finales. Con ello se tiene la certeza que el sistema de pinturas esta listo para su puesta en servicio. No existe un método de campo normado (la norma ASTM D1640 provee un procedimiento de laboratorio) por lo que normalmente se siguen las instrucciones del fabricante de pinturas. Sin embargo, como

las condiciones ambientales influyen en el curado del recubrimiento, se dispone de una prueba no normada que consiste en frotar la superficie de la capa de pintura con lija N° 120 (textura fina). Cuando el recubrimiento ha curado adecuadamente, se producirá un polvo fino, en cambio si la lija se tupe o se desprende parte del recubrimiento con la apariencia de un resto gomoso, se asegura que el recubrimiento no ha culminado su etapa de curado.

## **II.6 Problemas, fallas y soluciones recomendadas en la aplicación de pinturas.**

Las fallas prematuras de los sistemas de pintado pueden ocurrir como se mencionó por una mala preparación de superficie ó por una deficiente preparación, aplicación o curado del recubrimiento. Identificar oportunamente las fallas relacionadas a la aplicación de pintura nos ayuda a tomar la decisión para modificar las condiciones de operación y de esta manera poner un remedio al problema. En el caso que el problema se identifique luego que el recubrimiento haya curado, nos llevará a tomar la decisión de remover el recubrimiento en caso que el daño exponga al sustrato metálico o reparar con la aplicación de otra capa de pintura en el caso que la falla sea superficial. A continuación se presentan las fallas más comunes<sup>9</sup> que se presentan antes, durante y luego de la aplicación de las pinturas.

### **a. Fallas antes de la aplicación**

*a.1 Pintura con separación de fases-* Se caracteriza por la separación parcial de sólidos integrantes o formadores de película de la solución. Puede deberse a la adición de un diluyente equivocado, en cuyo caso y si la precipitación es leve, se recomienda añadir lentamente el diluyente correcto con agitación constante. Pero si la separación es extensa, se recomienda descartar el producto.

---

<sup>9</sup> Hess, Manfred; Defectos de las capas de pinturas; Editorial Blume, Barcelona 1973



**b. Fallas durante la aplicación**

**b.1 *Chorreamiento de pintura.***- Ocurre por el deslizamiento de la pintura en forma de franjas o goteras. Es causado por añadir demasiado diluyente o por aplicar una capa de espesor exagerado. Se recomienda agregar la cantidad de diluyente recomendada por el fabricante de pintura y controlar la cantidad de pintura por mano respectivamente. El chorreamiento desaparece si se retoca inmediatamente con brocha la zona donde aparece el defecto.

**b.2 *Falta de nivelamiento.***- Se presentan colinas y valles en la pintura aplicada sobre el sustrato. Se debe a una dilución insuficiente de la pintura, en cuyo caso se debe añadir el diluyente necesario. También ocurre si la pistola de aplicación se encuentra demasiado cerca de la superficie que se recubre. En el caso de usar pistolas atomización con aire, debe verificarse el empleo de la presión de atomización correcta. Se recomienda reparar rápidamente con brocha la zona afectada.

**b.3 *Presencia de ojos de pescado.***- Caracterizados por la presencia de puntos donde el sustrato no es cubierto por la pintura, pero sí por una capa transparente o semi-transparente. Ocurre cuando la superficie se encuentra contaminada con grasa, aceite, jabón o agua. Se recomienda reparar desde la superficie metálica.

**b.4 *Sobrerociado.***- Se presenta cuando el rociado de pintura llega a la superficie demasiado seco, en forma de puntos ásperos. Sucede por aplicar la pintura a alta temperatura ambiente, lo que origina una evaporación rápida de solventes y diluyentes o en el caso de usar pistolas de atomización por aire, por el empleo de una presión de atomización demasiado alta. Se recomienda modificar las condiciones de operación y reparar superficialmente por lijado y aplicación de una capa de pintura.

**c. Fallas identificadas posteriormente a la aplicación**

**c.1 Agrietamiento.-** El recubrimiento seco grietas angostas y cortas, que exponen el sustrato. Se debe a una flexibilidad limitada de la pintura, emplear capas gruesas de pintura o cuando el recubrimiento cura a altas temperaturas. Para reparar, se recomienda eliminar mecánicamente la pintura y aplicar una capa nueva.

**c.2 Ampollado.-** Se forman burbujas grandes o pequeñas en la superficie recubierta, las mismas que pueden estallar. Se debe a que la humedad o un exceso de diluyente queda atrapado por la película, y cuando se vaporiza, su presión hincha la película formada. También se presenta cuando capas inferiores de pintura no han secado completamente. Se recomienda retirar el recubrimiento afectado y repintar.

**c.3 Arrugamiento superficial.-** Sucede cuando la capa superficial presenta arrugas y una consistencia blanda, debido a que seca con mayor rapidez que las capas inferiores ya sea por condiciones de alta temperatura o por aplicar recubrimientos demasiados gruesos. Se aconseja lijar la capa dañada y aplicar la pintura en capas de bajo espesor.

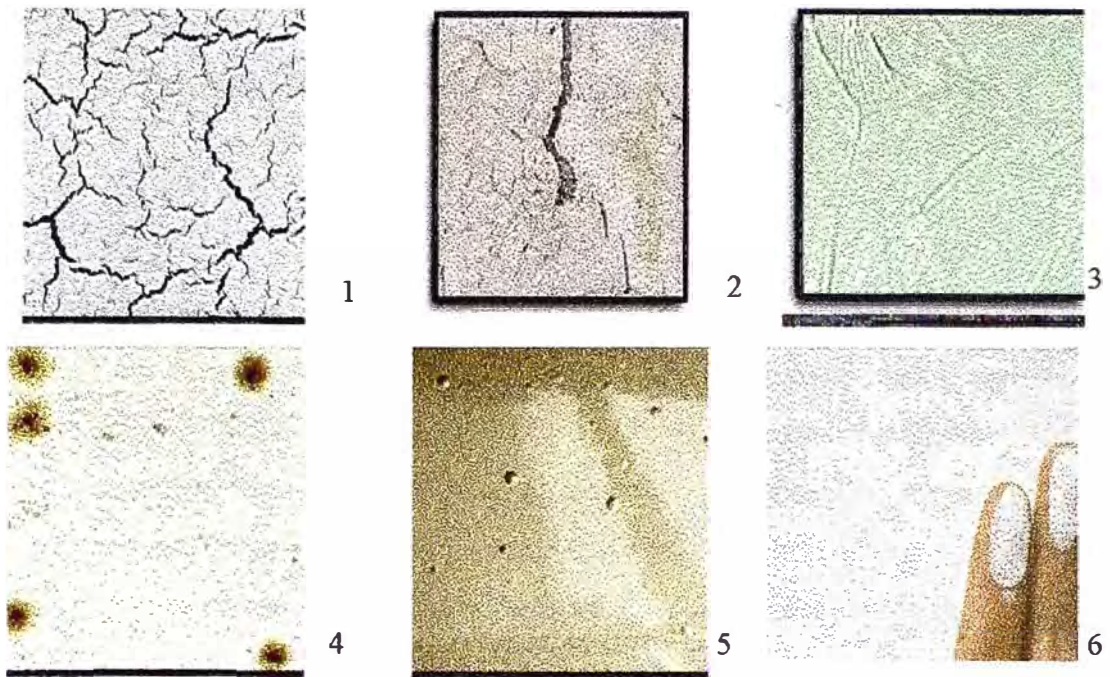
**c.4 Mala adherencia.-** Ocasionada por una mala adhesión entre capas o al sustrato, debido a una mala preparación de superficie, el uso de recubrimientos incompatibles, contaminación del sustrato o por recubrir entre capas habiendo dejado curar un tiempo demasiado excesivo.

**c.5 Bruma o niebla.-** El acabado del recubrimiento presenta una superficie mate (sin brillo) y con apariencia lechosa. Desmerecen la presencia del acabado, sobre todo si es la capa final. Ocurre frecuentemente con pinturas del tipo epoxi-aminas, en las que la condensación o presencia de alta humedad interfieren con la evaporación de los solventes. Se recomienda frotar la superficie afectada con el diluyente de la pintura o aplicar una mano de pintura para eliminar el defecto.

**c.6 Huecos de alfiler.-** La superficie del recubrimiento se presenta como si hubiese hincado con la punta de un alfiler, dejando pequeños agujeros que muchas veces llegan al sustrato metálico. Aunque muchas veces se observan a simple vista, es preferible ubicarlos con el detector de porosidades (Holliday Detector). Se presentan cuando se recubre sobre una superficie demasiado caliente, lo que origina la evaporación burbujeante de los solvente, los que dejan la capa de recubrimiento formando los agujeros pequeños. Se debe evitar pintar sobre superficies calientes. La reparación se hace lijando superficialmente y aplicando una capa de recubrimiento.

**c.7 Caleo o tizado.-** Es un defecto común en los recubrimientos epóxicos que consiste en el desgaste de la capa superficial, la que se reduce a un fino polvillo como resultado de la exposición del recubrimiento al medio ambiente, sobre todo por abrasión y exposición a la luz solar. Aumenta con el añejamiento de la pintura. Para reducir este problema se aconseja recubrir los recubrimientos epóxicos exteriores con un recubrimiento resistente a la intemperie, tal como los de base poliuretánica diseñados para tal fin.

A continuación se presentan fotos descriptivas de alguno de los defectos mencionados.



**Figura 9.-** Defectos de las capas de pintura

1. Agrietamiento
2. Desprendimiento por mala adherencia
3. Arrugamiento
4. Recubrimiento con Pinholes
- 5 Ampollamiento
6. Caleo o tizado

### **III. Supervisión del Pintado del Tanque de Almacenamiento de Crudo de Petróleo 5D-1 en la estación N° 5 del Oleoducto Nor-Peruano**

#### **III.1 Antecedentes**

Como parte del programa de mantenimiento de las estaciones de bombeo y transporte de petróleo a través del oleoducto nor-peruano, durante los años 1995-1999 se hizo el trabajo de inspección, mantenimiento y pintado de sus tanques de almacenamiento de petróleo. Los trabajos en los tanques ubicados en las 11 estaciones que forman parte de todo el oleoducto se pusieron a licitación, la cuál buscaba cubrir:

1. El trabajo de pintado y mantenimiento general de los tanques. A cargo de una empresa contratista, la misma que debía trabajar con una empresa fabricante de pintura, a la vez que se hacían responsables del trabajo de preparación de superficie y pintado del interior y exterior del tanque de acuerdo a las bases de la licitación. Al final de la obra, el contratista y el fabricante de pintura debían extender una carta de garantía por el desempeño del sistema de pintado que cubriera un lapso de 5 años con un nivel de deterioro del sistema comprendido hasta el 5% de la superficie pintada. Aparte de ello, el contratista se ocupaba de otros trabajos de mantenimiento, tales como ejecución de obras civiles, reparación o cambio de planchas deterioradas del tanque, etc.

2. La supervisión de las obras de mantenimiento de cada tanque. A cargo de una empresa especializada en trabajos de supervisión, la misma que tenía por fin hacer cumplir los términos de la licitación bajo los estándares de ingeniería especificados y hacer respetar el cronograma de trabajos para efectuar la entrega de obra en el plazo estipulado. El desempeño de su labor se reportaba periódicamente al dueño de obra, es decir PETROPERU.

En los términos de la licitación se especificó la presencia de un representante de la compañía de pintura, con cargo de supervisor de pinturas

el mismo que debía hacerse cargo de la supervisión del trabajo de preparación de superficie y pintado del tanque, reportando el avance por medio de informes semanales a PETROPERU.

### **III.2 Localización de la obra**

El tanque 5D1 forma parte de los 6 tanques de almacenamiento de petróleo existentes en la Estación de bombeo N° 5 del Oleoducto Nor-Peruano, el que se encuentra ubicada en la localidad de Sarameriza en el departamento de Loreto, provincia del Alto Amazonas. La estación N° 5 recibe la producción de los lotes de explotación de petróleo 8/8X y 1 A-B. Es a su vez el punto de inicio del Tramo II del oleoducto con destino final al terminal de Bayóvar, en la costa piurana. Su acceso es por vía aérea al contar con un helipuerto ó por vía marítima, al estar ubicada a 15 kilómetros del Rio Marañon. Geográficamente, se encuentra ubicada en la transición entre la selva alta y selva baja, presentando un clima cálido con precipitaciones intensas pero cortas en la mayor parte del año.

### **III.3 Condición de la superficie del tanque 5D1 antes del mantenimiento**

#### **Superficie Exterior**

El tanque 5D1 se encontraba pintado interior y exteriormente. El sistema de pintado aplicado anteriormente al exterior del tanque, es decir techo y cilindro externo consistía en:

Arenado al metal blanco.

1 Capa base de azarcón alquídico a 50  $\mu\text{m}$  (2 mils) de espesor seco

1 Capa intermedia de azarcón alquídico a 50  $\mu\text{m}$  (2 mils) de espesor seco

1 Capa final de esmalte alquídico a 50  $\mu\text{m}$  (2 mils) de espesor en seco

Espesor total del sistema de pinturas: 150  $\mu\text{m}$  (6 mils) de espesor en seco

Método de aplicación : Sistema Airless

Fecha de último mantenimiento de pintura: Febrero de 1987

La superficie exterior se encontraba con el recubrimiento deteriorado en casi su tercera parte, con desgaste de la capa de acabado en zonas

puntuales y exposición de sustrato oxidado en áreas pequeñas pero diseminadas en el techo y cilindro externo del tanque, lo mismo que en estructuras tales como escalera de acceso al techo, canastillas y líneas contra incendio. Se le asignó el grado de oxidación N° 2 de acuerdo al estándar SSPS VIS-2 (ver tabla N° 2). El Departamento de mantenimiento de PetroPerú decidió reemplazar el sistema de pintura.

### **Superficie Interior**

En el interior del tanque, la superficie recubierta estaba compuesta por el fondo del tanque y por un anillo de la superficie cilíndrica interior de 0.5 metros, medido desde el fondo del tanque. El resto de la superficie se encontraba sin recubrimiento El sistema de pintado aplicado era:

Arenado al metal blanco

1 Capa de Epoxi Coal Tar marrón a 200  $\mu\text{m}$  (8 mils) de espesor en seco

1 Capa de Epoxi Coal Tar negro a 200  $\mu\text{m}$  (8 mils) de espesor en seco

Espesor total: 400  $\mu\text{m}$  (16 mils) en seco

Fecha del mantenimiento: Diciembre de 1986

La inspección del interior del tanque a cargo de la empresa supervisora contratada determinó remover el recubrimiento anterior y el cambio de algunas planchas que formaban parte del fondo del tanque debido a su nivel de desgaste por corrosión.

### **III.4 Sistema de Pintado recomendado para el mantenimiento**

El departamento de Ingeniería y mantenimiento de Petroperú especificó los siguientes sistemas de pintado para el recubrimiento del tanque

#### **Exterior del tanque**

El área estaba integrada por el techo, la superficie cilíndrica externa, escaleras y demás accesorios metálicos tales como las canastillas contra incendios, tuberías de agua contra incendio, tuberías de entrada y salida de petróleo, tuberías de alivio. El objeto de su recubrimiento es dar protección a

la superficie ante los agentes climáticos, como lluvia y erosión en un ambiente que es clasificado como medio ambiente normal, de baja agresividad.

- Arenado a metal blanco según norma SSPC-5-63.
- 1 Capa de pintura de base repintable del tipo epoxi-amina a 100  $\mu\text{m}$  (4 mils) de espesor en seco. La denominación de repintable es debido a su propiedad de ser recubierto en un periodo prolongado de tiempo (de 6 a 12 meses) sin requerir reactivar la superficie con arenado simple o por frotamiento con solventes como sería el caso de las pinturas tradicionales.
- 1 Capa de acabado de Esmalte epoxi-amina de alto contenido de sólidos (70%) a 100  $\mu\text{m}$  (4 mils) de espesor en seco.
- Espesor total del sistema de pinturas: 200  $\mu\text{m}$  (8 mils) en seco
- Recubrimiento con pistola de atomización Airless

Este sistema provee de protección por efecto inhibidor, dado por los pigmentos de la capa base y por efecto barrera y de resistencia iónica proporcionado por la naturaleza y espesor del sistema integral.

#### **Interior del tanque.**

La superficie a ser recubierta consistía en el fondo interno del tanque y un anillo lateral de la superficie cilíndrica exterior de 0.5 m de alto medido desde el fondo del tanque. La función del recubrimiento es proteger la superficie al ataque corrosivo del agua, oxígeno y sal presente en la fase acuosa que se deposita en el fondo del tanque, el que se clasifica como medio ambiente severo.

- Arenado a metal blanco según norma SSPC-5-63
- 01 capa base de Epoxi Coal tar poliamida marrón de alto contenido de sólidos(73%) a 200  $\mu\text{m}$  (8 mils) de espesor en seco
- 01 capa de acabado de epoxi coal tar poliamida negro de alto contenido de sólidos (73%) a 200  $\mu\text{m}$  (8 mils) de espesor en seco
- Espesor total del sistema: 400  $\mu\text{m}$  (16 mils) de espesor en seco
- Sistema de aplicación por pistola airless



El sistema aplicado protege al sustrato por una combinación del efecto de capa barrera y el de resistencia iónica.

Para tener una idea de la magnitud del trabajo se presentan a continuación el consolidado de áreas a recubrir en el mantenimiento del tanque 5D1.

### Características del tanque

**Tanque 5D1.** Presenta techo fijo con configuración ligeramente conoidal

**Forma:** Cilíndrica. **Altura estimada:** 14.4 m **Diámetro interno:** 40 m.

**Tabla N° 5 Consolidado de áreas a recubrir en el tanque 5D1**

Descripción	Color de Acabado	Area (m <sup>2</sup> )
Cilindro Exterior	Gris S-14	2265.5
Techo Exterior	Gris S-14	1764.3
Fondo Interno y 1er anillo	Negro	1636.0
Tuberías y válvulas	Gris S-14	150.4
Cámara de espuma y tubería contra incendio	Amarillo	40.82
Escalera, Canastillas contra incendio, pasadizo de plataforma, pasamanos de techo	Negro S-13	383.8
Agitador de crudo y tuberías conduit	Azul eléctrico	13.3

### III.5 Trabajos previos al pintado del tanque

El tanque 5D1 fue puesto fuera de servicio para su mantenimiento. Se programó un tiempo de 5 meses para su entrega de vuelta a servicio.

Vaciado el contenido de petróleo del tanque se procedió a:

1. Destapar los accesos al interior del tanque (conocidos como Manholes), A continuación se procedió a instalar un equipo de recirculación de aire fresco.

2. Se instaló el equipo de iluminación adecuado, consistente en 4 luminarias de 500 watts.
3. Efectuar la limpieza del fondo del tanque y primer anillo interno. Para ello fue necesario retirar manualmente la borra (contenido sólido del petróleo que se deposita en el fondo del tanque) y lavar la superficie con detergente industrial hasta retirar todo residuo oleoso.
4. Inspeccionar el fondo del tanque para su evaluación y el reemplazo de planchas en mal estado

### **III.6 Desarrollo de la supervisión del trabajo de pintado**

A continuación se expone el desarrollo del trabajo de supervisión en orden cronológico. Para cumplir con el desarrollo de la supervisión del pintado se disponía del siguiente equipo de inspección:

- Medidor de Película húmeda GARDCO
- Medidor de espesor de película seca ELCOMETER digital
- Juego de Patrones para calibrar el medidor de espesor de película
- Detector de discontinuidad y de poros (Holliday detector)
- Medidor de humedad relativa marca Bacharach modelo S-310
- Estándares visuales de arenado SSPC-Vis2
- Comparador de perfil de rugosidad Keane Tator con linterna y luna de aumento.
- Juego de lápices Stabilo de dureza de 6B a 6H
- Cuchilla y cinta make tape
- Termómetro de superficie modelo P-100 Gardco

#### **III.6.1 Supervisión de la preparación de superficie**

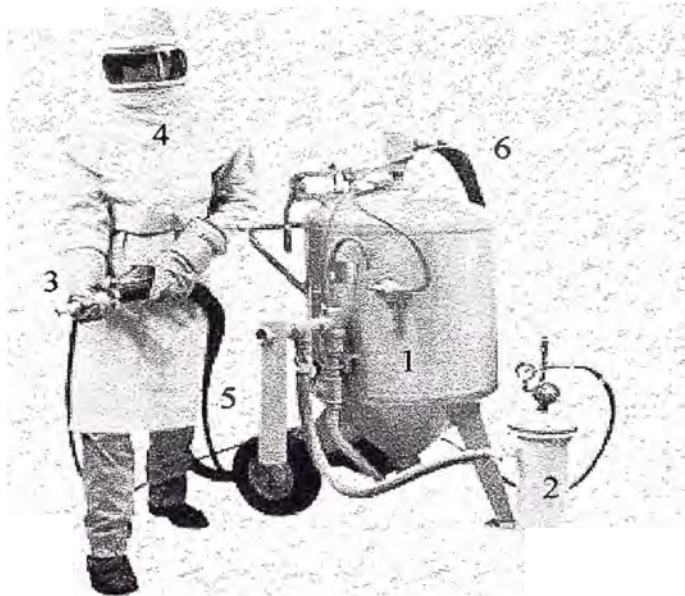
##### **A. Supervisión del equipo de Preparación de superficie**

En esta etapa, se empezó por supervisar el estado e idoneidad del equipo y material necesario para efectuar la labor de preparación de superficie..

El contratista dispuso del siguiente equipo que cumplía con los requisitos para el trabajo de preparación de superficie:

***Equipo para Arenado***

- 01 Compresor Clemco con presión de salida máxima de 15 Kg/cm<sup>2</sup> (210 psi)
- 01 Compresor Ingesoll Rand modelo XP 750 con presión de salida máxima de 14 Kg/cm<sup>2</sup> (200 psi).
- 04 Tolvas de acumulación de arena de 0.25 m<sup>3</sup> de capacidad con filtros para condensación de humedad y separación de aceite, junto con accesorios y mangueras para ingreso de aire del compresor.
- Boquillas tipo venturi para arenado de 9.5 mm (3/8”) de diámetro interno.
- Mangueras de alta resistencia a la abrasión para la proyección del chorro de arena.
- Mangueras de línea de aire para los arenadores. El equipo de arenado puede notarse en la figura 10.
- 02 Balsos de 6 m. de longitud para trabajos en altura. Consiste en una plataforma móvil sujeta por soportes al techo del tanque y que permite deslizarse verticalmente en el exterior del tanque para efectuar las labores de arenado, pintado y supervisión, tal como se muestra en la figura 11.
- Esmeriladoras, cepillos, lijas para acero, amoladores



**Figura 10.-** Equipo de Arenado

1. Tolva para arena
2. Filtro separador de Humedad
3. Boquilla de arenado
4. Capucha y mandil para arenador
5. Manguera de arenado
6. Línea de aire a Presión



**Figura 11.-** Balso para trabajos en la parte alta del tanque

### ***Material para arenado.***

Arena tomada de una cantera local situada en las orillas del río Marañón en Saramiriza. Esta arena se caracterizaba por ser fina, de manera que al cernirse por las malla N° 20 y 40 mesh de la serie Tyler (abertura nominal de malla entre 841 y 420  $\mu\text{m}$ ), pasaba prácticamente el 100%. Fue lavada con agua potable para retirar todo material soluble extraño y fue posteriormente secada en hornos artesanales. La ubicación de la obra y la dificultad para el transporte obligaron a tener que trabajar con este tipo de arena

Los controles efectuados sobre la arena lavada y secada fueron:

### ***Detección de presencia de sulfatos y cloruros***

Los análisis de presencia de cloruros y sulfatos se realizó en los laboratorios de PetroPerú, dando su conformidad de uso.

### ***Presencia de grasas y aceites.***

La supervisión efectuó el análisis de campo de presencia de grasas y aceite, disponiendo una muestra representativa de arena en un vaso de vidrio. Luego se procedió a añadir agua destilada, agitando el sistema y dejándolo reposar. No se encontró la presencia de una fase grasosa o aceitosa sobre la fase acuosa, descartando la presencia de aceites o grasas.

### ***Acidez de la arena***

Se hizo con la ayuda de papel medidor de acidez (PH) con rango de trabajo entre los PH de 0 a 14. Para ello se mezclaban en un vaso de vidrio una muestra representativa de arena y agua destilada, se agitaba el conjunto y se dejaba reposar, midiendo el PH en la fase acuosa. Se encontró un PH de 7, por lo que la arena se encontraba apta para su uso

**B. Supervisión del tratamiento de superficie por arenado.**

En esta etapa la supervisión ejecutó las siguientes acciones:

- Control de la presión del aire suministrado por el compresor hacia las tolvas de arena, la mismo que se fijó en  $9 \text{ Kg/cm}^2$  (125 psi). El suministro de aire fue de  $0.1 \text{ m}^3/\text{seg}$  (200 pcm)
- Se verificaba el purgado de agua condensada en el filtro separador agua de la línea de aire que salía del compresor y se dirigía a las tolvas de acumulación de arena. Esto es de suma importancia para evitar la deposición de humedad sobre la superficie arenada. El purgado se efectuaba cada 30 minutos.
- Revisión de la calidad del trabajo del arenador, indicando mantener la boquilla de arenado con una inclinación entre  $45^\circ$  y  $60^\circ$  a una distancia de 0.5 m. respecto a la superficie que se arena para remover la pintura y el óxido, Asimismo se exigía la eliminación de rebabas de soldadura con ayuda de esmeriles.
- Se medía la humedad relativa tres veces cada hora con el medidor de humedad Bacharach en el techo (parte exterior) del tanque, lo mismo que la temperatura de superficie metálica colocando el termómetro de superficie sobre la superficie tratada a metal blanco, para así controlar las condiciones que pudieran generar la condensación de la humedad del medio ambiente sobre la superficie metálica.
- Con aire a presión (100 psi aproximadamente) se procedía a limpiar la superficie metálica arenada, para eliminar restos de arena, polvo o pintura adheridos a la superficie.
- Se procedió a comparar el trabajo de arenado con el grado de limpieza requerido, es decir arenado a metal blanco según la norma SSPC-5-63. El perfil de rugosidad dejado por la arena sobre la superficie metálica se encontraba entre los 12 a 25 micras (0.5 a 1.5 mils).

- Para el exterior del tanque, debido a que entre el inicio del arenado y su término transcurrían 6 horas, las áreas arenadas en el inicio de la jornada eran susceptibles de presentar veteos ligeramente marrones (inicios de oxidación), por tanto era necesario repasar con el arenado tales sectores para poder cumplir con la exigencia de arenado a metal blanco.
- En el arenado el exterior del tanque, que estaba protegido por un sistema alquídico a 150  $\mu\text{m}$  (6 mils) de espesor, se registraron los siguientes rendimientos promedios para áreas planas:  
 Rendimiento del abrasivo: (18  $\text{m}^2$  de superficie a metal blanco)/( $\text{m}^3$  arena)  
 Rendimiento por hora-hombre: (16  $\text{m}^2$  a metal blanco)/(hombre-hora)
- En el arenado del interior del tanque, recubierto por un sistema de dos capas de Epoxi Coal Tar poliamida a 200  $\mu\text{m}$  (16 mils) de espesor se registraron los siguientes promedios:  
 Rendimiento de abrasivo: (12,2  $\text{m}^2$  de superficie a metal blanco)/( $\text{m}^3$  arena)  
 Rendimiento Hora-hombre: (7,4  $\text{m}^2$  a metal blanco)/(hora-hombre).
- Luego del arenado en el interior del tanque, se esperaba la deposición del polvo producido por el arenado, lo que demoraba de 2 a 3 horas en promedio, por lo que el tiempo asignado al arenado en el interior del tanque era de 4 horas. Luego de retirar la arena que cubría el área tratada con el abrasivo se procedía con su inspección.
- Finalmente se verificaba que no existiera la presencia de humedad condensada o aceite sobre la superficie a recubrir.

Cumplidos los pasos anteriores, se pasaba a la etapa de preparación y aplicación de pintura., transcurriendo entre el inicio del arenado y la aplicación de pintura cerca de 7 horas.

### **III.6.2 Supervisión de la preparación y aplicación de pinturas en el interior- exterior del tanque 5D1**

#### **A. Supervisión del equipo y material de pintado**

Se constató la conveniencia y operatividad del equipo y material proveído por el contratista para el pintado del tanque, el cual constaba de :

##### **Equipo para pintado**

- 01 equipo de aplicación Airless marca Graco, Modelo Monark con razón de compresión 23:1 accionado por aire a presión y pistola con boquillas de tipo 419 y 421.
- 01 equipo de aplicación convencional de rociado por aire con pistola DeVilbiss de alta presión para manejar hasta 5 Kg/cm<sup>2</sup> (70 psi) con recipiente de alimentación de pintura cerrado con agitador manual.
- Brochas de cerdas de nylon de 1.27 a 5 cm. (½” a 2”).
- Previo a su empleo, la supervisión constataba la operatividad del equipo y su limpieza, procediendo a desarmarlo para tal fin.

##### **Material para Pintado**

###### ***Exterior del tanque***

- Para la capa Base: Primer tipo epoxi-amina de color rojo con 65% de sólidos repintable a 12 meses, de dos componente constituido por la parte A, que contiene la parte epóxica junto al pigmento y la parte B constituida por la parte amina, que sirve de agente endurecedor. La relación de mezcla de ambos componentes era de 1:1 en volumen.
- Acabado de Esmalte Epóxi Mastic Gris S-14. de dos componentes, de alto espesor con un contenido de sólidos de 70%. Parte A: Componente epóxico pigmentado. Parte B: Componente amina. La relación de mezcla era 1:1 en volumen.
- Diluyente Cetónico



### ***Interior del tanque***

- Epoxi Coal tar poliamida de alto espesor, con contenido de sólidos del 73%, en colores blanco y negro. La parte A: constituida por la parte epóxica y el pigmento. La parte B constituida por poliamidas. La relación de mezcla en volumen es 4 partes de componente A por una parte de B.
- Diluyente epóxico aromático.

### **B. Supervisión de la preparación de pintura**

Lo pasos efectuados por la supervisión en esta etapa fueron:

- Antes de la preparación de pintura se estimaba el área a recubrir, para controlar la cantidad de pintura a preparar.
- Se verificaba que las condiciones ambientales fueran las óptimas, midiendo la humedad relativa, temperatura de superficie, temperatura ambiente y observando la posibilidad de lluvias o vientos fuertes. La pintura sólo se preparaba en el caso de disponerse de condiciones favorables para su aplicación.
- Durante la preparación de pintura se verificaba el empleo del tipo de recubrimiento y diluyente que se requería y se controlaba la mezcla de los componentes en los volúmenes requeridos para cada tipo de pintura..
- La cantidad de diluyente empleado era del 10% del volumen de mezcla en el caso de aplicar cualquiera de los recubrimientos con pistola airless, mientras que si se aplicaba con pistola convencional se añadía hasta el 20% en el caso de los recubrimientos epóxicos del cilindro y techo exteriores del tanque Esto se hacía de acuerdo a las recomendaciones del fabricante de pinturas.
- La pintura preparada se dejaba reposar el tiempo de inducción recomendado por el fabricante. Así, este era de 30 minutos para las pinturas epóxicas y en el caso del epoxi coal tar poliamida era de 10 minutos.

- Se aseguraba de acuerdo al tipo de recubrimiento y superficie a cubrir, que se emplearan los accesorios adecuados para los equipos de pintado. En el caso de la aplicación sobre superficies planas extensas, convenía usar el equipo airless por su mayor ancho de abanico, mientras que en estructuras de tamaño pequeño, tales como escaleras, pasamanos, canastillas, tuberías, se prefería el uso del equipo convencional, por su facilidad para regular el tamaño del abanico de proyección de pintura y reducir las pérdidas.
- Finalmente, se filtraba la pintura para retirar cualquier partícula sólida, y se la disponía en el recipiente de alimentación, el mismo que debía de estar limpio.

### **C. Supervisión en la aplicación de Pintura**

En los tanques cilíndricos es conveniente arenar y pintar principiando por el cilindro exterior, en vista que las maniobras para desplazar el balso que va sujeto al techo afectarían cualquier recubrimiento aplicado en el mismo. A su vez y por igual consideración, el sector del cilindro que contiene a la escalera es el último en arenarse y pintarse. Recubierto el cilindro, se prosigue con el techo, para luego trabajar con el interior y fondo del tanque. Esto fue expuesto por la supervisión al contratista para optimizar el trabajo.

- La supervisión para el pintado empieza por monitorear las variables ambientales, de manera que la temperatura de superficie se encuentre al menos 3 °C por encima punto de rocío. Esta se calculaba con los datos de humedad relativa y temperatura ambiente. Como se recuerda, esto es importante para evitar la condensación de humedad ambiental sobre la superficie del tanque.

- Durante la aplicación se controlaba el espesor de película de pintura en húmedo, pues de ello depende el espesor en seco. Para ello se emplea el calibrador en húmedo inmediatamente después que el recubrimiento se deposita en el sustrato. El espesor en húmedo a controlar depende del contenido de sólidos (%S) del recubrimiento, del grado de dilución aplicado (%D) y del espesor en seco fijado (Es). Como ejemplo, determinamos el espesor en húmedo (Eh) que se debería controlar para la aplicación del Epoxi Coal Tar poliamida:

Datos: Epoxi Coal Tar poliamida

Porcentaje de sólidos (%S) = 73%

Porcentaje de dilución (%D) = 10% en volumen de mezcla preparada

Espesor en seco por capa (Es) = 8 mils

Espesor en Húmedo (Eh) =  $Es \cdot (100\% + \%D) / (\%S)$

Reemplazando datos se obtiene:

$Eh = 8 \text{ mils} \cdot (100\% + 10\%) / (73\%) = 12 \text{ mils en húmedo.}$

Este espesor en húmedo es el que se controló para el epoxi coal tar poliamida aplicado en el interior del tanque.

- Se supervisó la adecuada técnica de aplicación, asegurando un barrido paralelo a la superficie en la aplicación de pintura con la pistola airless, pero manteniendo ésta en forma perpendicular a la superficie, nunca en abanico para evitar sobre rociado. En caso de chorreaduras detectadas al momento de la aplicación, se efectuaba el pase de una brocha humedecida en diluyente hasta su eliminación total.
- Los filos, esquinas y en general sectores de difícil acceso a los equipos de proyección de pintado se recubrían previamente con brocha y luego con el paso del equipo airless o de rociado con aire. De esta manera se aseguraba el recubrimiento adecuado de tales sectores.

- En el recubrimiento del interior del tanque con 2 capas de epoxi coal tar poliamida, se tuvo en cuenta el tiempo de repintado entre capas, el mismo que se hizo de un día para otro (dentro de las 24 horas de aplicada la primera capa), de acuerdo a las instrucciones del fabricante, el mismo que sugería recubrir la primera capa luego de 12 horas de aplicado como mínimo y 48 horas como máximo. Esto es de suma importancia para someter este tipo de recubrimiento a condiciones de inmersión, pues de cubrirlo antes o después del tiempo señalado, se corre el riesgo de mala adherencia entre capas, de acuerdo a reportes y experiencias.
- Para el pintado del cilindro exterior del tanque, se procedió arenando la superficie a metal blanco y recubriéndola con la capa de pintura base, de primer epoxico repintable. Luego que todo el cilindro se cubrió con capa base (15 días de labor), se determinó el espesor en seco y se procedió a recubrir la capa base con la segunda capa de acabado. El mismo procedimiento fue aplicado en el techo exterior del cilindro.

### **III.6.3 Inspección post-aplicación del sistema de pinturas**

Esta etapa de la supervisión se efectuó entre capa y capa. Para llevarla a cabo se debía asegurar el curado de cada capa de pintura aplicada, por lo que se dejaba transcurrir el tiempo de curado estimado por el fabricante de pintura para cada uno de los recubrimientos. Las pruebas llevadas a cabo fueron:

- a. **Evaluación del curado.** Como se mencionó, esta prueba no dispone de un procedimiento de campo estandarizado, por lo que se recurrió a la prueba auxiliar, la que consiste en frotar el recubrimiento con lija N° 120. En todos los casos se obtuvo un fino polvillo, indicativo que el mismo había curado.

b. **Medición del espesor en seco.**- Se aplicó el estándar SSPC-PA2 de la Steel Structures Painting Council, el mismo que provee un procedimiento para asegurar que se mide de manera consistente sobre áreas extensas<sup>10</sup>.

1. De acuerdo al estándar, para medir espesores de película en áreas de tamaño menor a  $27\text{m}^2$ , el procedimiento describe que por cada  $9\text{m}^2$  de área que se somete a medición se debe escoger 5 puntos lo mejor distribuidos entre sí. En los alrededores de cada punto elegido se toman 3 medidas de espesor cercanas entre sí, las que se promedian; de manera que tendremos 5 promedios en el área, los que se promedian entre sí obteniéndose de esta manera el espesor promedio del área. Debe tenerse en cuenta que el promedio de cada uno de los 5 puntos elegidos debe ser mayor o igual al 80% del espesor recomendado, en caso contrario se hace necesario compensar el espesor con una capa adicional de pintura en las inmediaciones del punto defectuoso en espesor. Lo mismo se aplica en el caso que el espesor promedio del área se encuentre por debajo del espesor recomendado.
2. Para áreas mayores a  $27\text{m}^2$  pero menores a  $90\text{m}^2$ , la norma establece se deben elegir al azar 3 sectores de  $9\text{m}^2$  y repetir el procedimiento anterior.
3. En el caso de áreas mayores a  $90\text{m}^2$ , se elige al azar un área de muestra de  $9\text{m}^2$  por cada  $90\text{m}^2$ . El espesor en seco del área de muestra representa el espesor de los  $90\text{m}^2$ .

Para nuestro caso, para la medición del espesor del recubrimiento de la primera y segunda capa en el exterior del tanque se empleó el tercer procedimiento, en vista que se disponía de extensas áreas a medir al dejar transcurrir el tiempo

---

<sup>10</sup> Smith, Lloyd; Measuring Dry Film Thickness; SSPC Applicator Training Bulletin, Volumen 4, N° 8. 1993.

de curado necesario, mientras que para el interior del cilindro, el espesor de la primera capa de epoxi coal tar poliamida se medía por el procedimiento 2, puesto que debía ser recubierto de un día para otro y las áreas cubiertas eran menores a  $90\text{m}^2$ . Para medir el espesor de la segunda capa de epoxi coal tar poliamida, se dispuso de un área mayor a  $90\text{m}^2$  en vista que se dejaba curar 7 días, por lo que se aplicó el procedimiento 3.

En la tabla N° 6 se presentan tabulados los espesores por tipo de superficie cubierta en el tanque 5D1

- c. Prueba de adherencia del recubrimiento.-** Esta prueba se realizó para cada capa de pintura, debiendo destacarse que es de suma importancia para la buena adhesión de la capa base, pues de ella depende la adherencia de todo el sistema de pinturas. La prueba se hizo de acuerdo al Método A del Estándar ASTM D3359-83: Medición de la adhesión por la prueba de la cinta. Este método consiste en hacer dos cortes sobre el recubrimiento que se intersecten en forma de "X" y de 1,5 pulgadas cada uno, con un ángulo de intersección entre  $45^\circ$  y  $30^\circ$  asegurando que se alcance el sustrato metálico. A continuación se adhiere un trozo de 3 pulgadas de cinta Make tape (de 1 pulgada de ancho) al corte efectuado de manera que esté centrado en la parte central del corte. Se deja la cinta adherida por 90 segundos y se la retira rápidamente de un solo tiro desde su parte posterior. El grado de adherencia se compara respecto a la escala mostrada en la tabla 7, observando la presencia de recubrimiento que es removido por la cinta Make tape.

La prueba de adherencia se efectuó en todos los recubrimientos del interior y exterior del tanque, entre la capa base-sustrato y con el sistema de pintura aplicado, encontrándose los grados expuestos en la tabla 8. Las pruebas se efectuaron por

triplicado en 3 zonas escogidas al azar por cada tipo de estructura (Cilindro, techo e interior).

- d. **Prueba de continuidad del recubrimiento.-** Esta prueba se efectúa con la finalidad de detectar agujeros en la capa de pintura aplicada en el interior del tanque y cuya presencia es inconveniente sobre todo cuando los agujeros llegan al sustrato metálico, pues sirven de canal de ingreso de los agentes corrosivos sobre todo en condiciones de inmersión. La superficie interna del tanque recubierta con Epoxi Coal tar poliamida fue inspeccionada al 100%, en vista que era la zona propensa a un ataque por estar sometida a inmersión y en contacto con agua salada. La superficie exterior del tanque fue inspeccionada sólo en zonas accesibles al supervisor, es decir en la unión entre techo y cilindro y en la parte inferior del tanque. Se empleó un equipo detector de discontinuidad y porosidades (Holliday detector) de bajo voltaje, adecuado al espesor del recubrimiento. Al detectarse un punto de discontinuidad, este se marcaba para aplicarle una capa adicional del epoxi coal tar con brocha, teniéndose especial cuidado en los cordones formados por soldaduras, las que son zonas susceptibles a presentar discontinuidad por su configuración irregular. Debido a que se requería aplicar la capa adicional de epoxi coal tar a las zonas con presencia de discontinuidad, esta detección se efectuó al segundo día de aplicada la capa de acabado. La prueba se hizo según norma ASTM D 5162.
- e. **Prueba de dureza al lápiz de los recubrimientos.** Cada recubrimiento final aplicado fue sometido a esta prueba con la ayuda del juego de lápices, para lo cual sus puntas se tornaban romas al frotarlas perpendicularmente sobre lija N° 400. Cada lápiz se disponía firmemente sobre el recubrimiento con la punta

**Tabla N° 6.** Espesor de pintura por tipo de superficie.

Descripción	Color de Pintura	Espesor (mils)	Rendimiento (m <sup>2</sup> /gln)		% pérdida	Area (m <sup>2</sup> )
			Práctico	Teórico		
Cilindro Ext.	Primer Rojo	4.6	15.6	21.1	26.1%	2265.5
	+ Gris S-14	8.7	19.3	25.4	24.2%	
Techo Ext.	Primer rojo	4.4	15.4	22.0	30.0%	1764.3
	+ Gris S-14	8.6	18.7	24.8	24.6%	
Fondo Interno	Marrón	8.8	9.0	12.4	27.4%	1636.0
Y 1er anillo	+ Negro	17.8	8.7	12.1	28.1%	(*)

(\*)El alto porcentaje de pérdida en el interior del tanque se explica por recubrir adecuadamente las imperfecciones sobre la superficie metálica dejados por la corrosión que son conocidas como “cangrejas” y que se distribuían en el primer anillo interno en zonas puntuales.

**Tabla N° 7.** Grado de adhesión de recubrimientos por la prueba de la cinta.

ASTM D 3359-83 Método A

Grado de Adherencia	Descripción
5 A	No existe peladura o remoción del recubrimiento. Excelente Adherencia
4 A	Trazas de peladura del recubrimiento a lo largo de los cortes. Buena Adherencia
3 A	Tiras de recubrimiento removido a lo largo de los cortes hasta de 1/16” de largo. Regular adherencia.
2 A	Tiras de recubrimiento que se remueven a lo largo de los cortes hasta de 1/2” de longitud. Adherencia regular
1 A	Remoción del recubrimiento en una parte considerable del área cubierta por la cinta donde se hizo el corte en X. (mala adherencia)
0 A	Remoción del recubrimiento mas allá del área donde se hizo el corte en X. (Pésima adherencia)



**Tabla 8.** Resultados de la prueba de Adherencia de las capas de Pintura por tipo de estructura.

Tipo de Estructura	Grado de adherencia entre capa base y metal			Grado de adherencia de capa base y capa de acabado con el metal		
	Cilindro Ext.	5 A	4 A	5 A	5 A	4 A
Techo Ext.	5 A	5 A	4 A	5 A	4 A	5 A
Fondo Inter...	-	-	-	4 A	4 A	0 A(*)

(\*) Esta mala adherencia se registró en un área de aproximadamente 2m<sup>2</sup> en el anillo interior. Se debió retirar el recubrimiento de Coal tar efectuando una limpieza a metal blanco y recubrirlo nuevamente. Se volvió a efectuar la prueba de adherencia dando un valor de 4A

**Tabla N° 9.** Dureza al lápiz sobre los recubrimientos aplicados.

Según ASTM D3363-80

Tipo estructura con recubrimiento final	Dureza (A 7 días de aplicado)	
	Cilindro externo/Esmalte Epóxico	4H
Techo exterior/Esmalte epóxico	5H	4H
Fondo y 1er. anillo interno/Coal tar	4H	4H

De acuerdo a los resultados obtenidos, estos se encuentran en la zona de alta dureza

**Interior del tanque: Fondo y primer anillo**

- Debido al fino tamaño de la arena empleada para el tratamiento de limpieza a metal blanco, esta tardaba entre 2 a 3 horas en asentarse una vez concluido el trabajo de arenado. Ello a pesar de emplear 2 extractores de aire. Esto retardaba el trabajo de pintado con la capa base, sin embargo al retirarse la arena, se encontraba que la superficie limpia a metal blanco se encontraba en buen estado, libre de inicios de oxidación, dado que la arena sirvió de medio aislante entre el metal y el medio ambiente.
- Un punto inicialmente desfavorable fue la temperatura de superficie a metal blanco del fondo del tanque, la que se mantenía la mayor parte del tiempo a una temperatura cercana a tan solo 2 °C del punto de rocío, con el evidente riesgo a condensar humedad. Para solucionar este caso, se pidió al contratista el uso de 4 luminarias de 1000 watts dirigidas hacia la superficie a pintar, adicionales a las 4 luminarias de 500 watts existentes para calentar la superficie. Esto hizo ascender la temperatura de superficie en casi 1.5 ° C, aumentando con ello una diferencia respecto al punto de rocío en 3.5 °C por encima del mismo.
- En un sector del anillo interno de 2 m<sup>2</sup> aproximadamente se tuvo que remover las 2 capas de coal tar aplicado por tener una pésima adhesión al sustrato metálico. La razón se encontró en que dicho sector del anillo se encontraba a alta temperatura por ser una zona en donde al momento del pintado su parte exterior se encontraba expuesta al sol, sobrecalentando la superficie.

### **III.6.4 Problemas encontrados en la aplicación del sistema de pinturas**

Estos se mencionan de acuerdo a su ocurrencia en el desarrollo del trabajo de arenado o pintado en cada tipo de área recubierta.

#### **Cilindro exterior**

- Debido a la naturaleza del medio en el que se realizó el trabajo, en algunas ocasiones, en medio del trabajo de arenado las condiciones ambientales variaban en contra, de manera que se presentaban condiciones de humedad alta o lluvias, las que deterioraban el área tratada a metal blanco. En tal caso, se esperaba que mejoren las condiciones ambientales para proseguir el trabajo, repasando de nuevo con chorro de arena las superficies afectadas.
- Durante el recubrimiento del cilindro exterior, tanto con la capa base como con la capa de acabado se presentó la adherencia de insectos de diverso tamaño sobre los recubrimientos recientemente aplicados, ocurrencia que sucedía en mayor proporción sobre todo en la tarde. Inicialmente se comenzó a retirarlos manualmente, recubriendo con una capa la zona afectada, pero ello afectó estéticamente al acabado, lo que fue observado por el departamento de mantenimiento de Petro-Perú, por lo que se tomó la decisión de pintar el acabado en la mañana y no retirar los insectos. Cabe señalar que en trabajos similares efectuados en otras estaciones del oleoducto, no ocurrió tal hecho en la magnitud presentada en el pintado del tanque 5D1. Esto ocurrió por dos causas: la atracción de los insectos por el olor del solvente de los recubrimientos epóxicos, compuesto por cetonas (MEK y MIBK) y por la particular fauna que presenta la zona en donde se encuentra la estación, la transición entre selva alta y selva baja.

## **IV. Conclusiones y Recomendaciones**

### **Conclusiones**

- La labor de supervisión de pintado brinda al dueño de obra el medio para el cumplimiento de las especificaciones y requerimientos técnicos necesarios en la labor del pintado del tanque, los que al cumplirse le aseguran la calidad del trabajo efectuado, su ajuste al plan de mantenimiento establecido y la entrega de la obra en el tiempo establecido para su puesta en servicio.
- Para la empresa proveedora de pinturas, la labor de supervisión permite extender la carta de garantía por el eficiente desempeño de su sistema de pinturas tomando como base los reportes de supervisión de su representante y los resultados de las pruebas sobre el recubrimiento aplicado y curado.
- En el caso del contratista, la supervisión sirve de medio para asegurar la calidad de su trabajo al ser evaluado permanentemente en el campo y para interpretar los requerimientos que se necesitan en el tratamiento de la superficie a recubrir, el manejo, aplicación de pintura y los resultados de las pruebas posteriores a la aplicación.
- Se concluye que para la supervisión del pintado exterior del tanque, se debe tomar en cuenta la particularidad de la zona de trabajo, como las variables climatológicas y de fauna, estudiando en lo posible los patrones de comportamiento de los mismos con la finalidad de adecuar el trabajo de ejecución de la obra a condiciones óptimas de realización.

### **Recomendaciones**

- De la interacción entre la supervisión y los contratistas a cargo de la ejecución de los trabajos de pintado, se ha detectado la necesidad de cubrir un déficit en la divulgación de los fundamentos de protección anticorrosiva, sistemas de pintado, su aplicación, características, desempeño y cómo depende éste último del tratamiento de superficie, tanto a nivel de quienes dirigen la obra como de los que se encargan propiamente del trabajo. Se considera que este problema es una oportunidad para que tanto universidades como empresas fabricantes de

pintura puedan establecer una alianza que permita mejorar la calificación de quienes laboran en el campo del mantenimiento industrial al tiempo que permita intercambiar experiencias de tipo práctico sobre los sistemas aplicados en nuestro medio, los que por su variedad deben ser casos que enriquecerían los conocimientos de profesionales, estudiantes y académicos.

## V. Bibliografía

1. Steel Structure Practice Council; Coating and Lining Inspection Manual; SSPC Publications, EE.UU. 1997.
2. Sherwin Williams Peruana S.A.; Boletines Técnicos de Pinturas  
Nº 2. Pinturas de Mantenimiento Industrial.- Mecanismo de protección anticorrosiva de un sistema de Pintado. Lima, Abril de 1991  
Nº 3 : Pinturas de Mantenimiento Industrial.- Preparación de superficies. Lima, Mayo 1991.  
Nº 4 y 5; Pinturas de mantenimiento Industrial.- Aplicación de Pinturas, Lima Junio de 1991.  
Nº 7, 8 y 9; Pinturas de Mantenimiento Industrial.- Inspección de aplicación de recubrimientos. Lima, 1992-1993
3. Brevoort G., McLampy M.; Updated Protective Coating Cost, Products and Service Life; Coatings & Linings; Febrero 1997.
4. Barnhart, R.. How Coatings Protect Steel; SSPC Applicator Training Bulletin. 1997 Vol. 2 p.13
5. Smith, Lloyd; Measuring Dry Film Thickness; SSPC Applicator Training Bulletin, Volumen 4, Nº 8. 1993.
6. Informes Técnicos Nº 1-10 Presentados a PetroPerú Estación Nº 5: Supervisión del pintado del tanque 5D1
7. Payne, Henry F.; Tecnología de Pinturas; Editorial Blume. Barcelona 1973
8. Parker, Dean; Tecnología de los Recubrimientos de Superficie; Enciclopedia de la Química Industrial, Tomo VII. Editorial Reverté. Madrid, 1978.
9. Hess, Manfred; Defectos de las capas de pinturas; Editorial Blume, Barcelona 1973

## **APÉNDICE**

- I.- Clasificación de pinturas: Ventajas y Limitaciones
- II.- Guide to Visual Standard N° 2 /SSPC
- III.- ASTM D 4414-84: Measurement of Wet Film Thickness by notch gages
- IV.- SSPC-PA2: Measuring Dry Film Thickness
- V.- ASTM D 3359-83: Measuring Adhesion by tape Test
- VI.- ASTM D 3363-74: Film Hardness by pencil Test

## I.- Clasificación de Pinturas : Ventajas y Limitaciones

Tipo de Pintura	Ventajas	Limitaciones
Alquídicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humecta bien la superficie</li> <li>• Buena retención de brillo y color</li> <li>• Económico</li> <li>• Buena adherencia y facilidad de aplicación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja resistencia química</li> <li>• Poca resistencia a inmersión en agua</li> <li>• Secan lentamente por oxidación</li> <li>• Presentan bajo espesor por capa</li> </ul>
Caucho Clorado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente resistencia a la abrasión e inmersión en agua</li> <li>• Secado y repintado rápido</li> <li>• Impermeable al vapor de agua</li> <li>• No permite la adherencia de hongos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca resistencia a solventes orgánicos, grasas y aceites</li> <li>• Presentan desgaste por exposición al brillo solar</li> <li>• Son de bajo espesor por capa</li> </ul>
Epoxi Amina	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistente a los álcalis y ácidos diluidos y medianamente concentrados</li> <li>• Buena resistencia química</li> <li>• Resistente al contacto con solventes orgánicos</li> <li>• Permiten la aplicación de alto espesor por capa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pierden el brillo con el tiempo</li> <li>• Decoloración y desgaste superficial en el tiempo</li> <li>• Son de dos componentes y requieren cuidado en la relación de mezcla.</li> <li>• Vida útil limitada para la aplicación luego del mezclado</li> </ul>
Epoxi Poliamidas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente resistencia a la abrasión</li> <li>• Son flexibles</li> <li>• Resisten inmersión en agua salada, dulce</li> <li>• Adecuado para el interior de tanques de agua potable</li> <li>• Resiste solventes orgánicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tienen menor resistencia química que las epoxi aminas</li> <li>• Decoloran y pierden brillo en el tiempo</li> <li>• Son de dos componentes y requieren cuidado en la relación de mezcla</li> <li>• Vida útil limitada para la aplicación luego del mezclado</li> </ul>
Epoxi Coal tar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente para inmersión en agua de mar, agua dulce o petróleo</li> <li>• Resistente a solventes orgánicos.</li> <li>• Alto espesor por capa aplicada</li> <li>• Forman películas duras y flexibles</li> <li>• Recomendado para recubrir superficies bajo tierra</li> <li>• Excelente adhesión sobre metal, concreto o madera</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requieren aplicar a metal blanco para inmersión.</li> <li>• Requiere cuidado en el tiempo para su repintado si se usa para inmersión.</li> <li>• Limitación en el color. Solo se presentan en marrón o negro.</li> <li>• Son de dos componentes, por lo que requieren cuidado en la proporción de mezcla</li> </ul>
Epoxi fenólicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente resistencia general a químicos y solventes</li> <li>• Excelente resistencia a la abrasión</li> <li>• Resiste hasta 220°C de temperatura seca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala retención de brillo y color</li> <li>• Requiere limpieza exhaustiva de sustrato</li> <li>• Producto de dos componentes con tiempo de aplicación limitada al mezclarse.</li> </ul>
Epoxi Ester	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistencia a solventes de buena a moderada</li> <li>• Forma película dura pero flexible</li> <li>• Son fáciles de aplicar y no requieren preparación de superficie exhaustiva</li> <li>• Buena resistencia al paso de la humedad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pobre resistencia química, ligeramente superior a las alquídicas</li> <li>• Se tornan amarillas y desgastan por exposición al sol</li> <li>• Pierden brillo y decoloran en el tiempo.</li> </ul>
Ricas en Zinc Orgánicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provee protección catódica</li> <li>• Resistente a la abrasión</li> <li>• Resiste hasta 260°C de calor en seco</li> <li>• Menos costoso que las ricas en zinc inorgánicas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se aplica sobre metales exclusivamente</li> <li>• Requiere limpieza de alto grado para asegurar adherencia.</li> <li>• Limitada resistencia a medios ácidos o alcalinos</li> </ul>
Ricas en Zinc Inorgánicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Provee protección catódica</li> <li>• Excelente resistencia a hidrocarburos y solventes</li> <li>• Resiste hasta 400 °C en seco</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere control de su espesor al aplicarlo</li> <li>• Baja resistencia a medios ácidos o alcalinos</li> <li>• Son de mayor costo que las ricas en zinc orgánicas</li> </ul>
Poliuretánicas Catalizadas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistente a productos químicos, álcalis y ácidos de concentración moderada</li> <li>• Alta impermeabilidad al agua</li> <li>• Excelente retención de brillo y color</li> <li>• Resistente a la abrasión y exposición solar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma películas de bajo espesor, por lo que integra parte de un sistema de pinturas</li> <li>• Alto costo</li> <li>• Producto de dos componentes, de limitado tiempo de aplicación cuando se mezclan</li> </ul>
Vinílicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son de secado y repintado rápido</li> <li>• Presentan flexibilidad y retención de brillo</li> <li>• Resistente a ácidos y bases en concentraciones diluidas y moderadas</li> <li>• Excelente impermeabilidad al agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere limpieza exhaustiva para lograr buena adhesión a sustrato metálico</li> <li>• Poca resistencia a solventes orgánicos</li> <li>• Presentan bajo espesor por capa aplicada</li> <li>• Requiere aplicación con pistola rociadora</li> </ul>



# Steel Structures Painting Council

## GUIDE TO VISUAL STANDARD NO. 2

### Guide to Standard Method of Evaluating Degree of Rusting on Painted Steel Surfaces

The pictorial standard, SSPC-Vis 2, described below was prepared by the American Society for Testing and Materials with input from the Steel Structures Painting Council and has been jointly approved by both organizations. Copies of the pictorial standard can be obtained from either of these associations.

TABLE 1  
DESCRIPTION OF RUST GRADE

#### 1. Scope

1.1 This guide *only describes* the pictorial standard and does not constitute the standard. It is to be used for comparative purposes and is not intended to have a direct relationship to a decision regarding painting requirements.

#### 2. Description

2.1 The pictorial rusting standard consists of a series of color photographs that represent various amounts of visible rusting on painted steel surfaces.

2.2 The standard illustrates four levels of rusting on painted steel surfaces that range from 0.03% to 10% rust. These levels correspond to rust grades of 9, 8, 6, and 4.

2.3 The rust grading scale ranges from 10 (no rusting or less than 0.01% rusted) to 0 (100% rusted). This numerical rust grade scale is an exponential function of the amount of rust and is described in Table 1. Note that initial slight rusting has the largest effect on lowering the rust grade.

2.4 The pictorial representations of Figure 1 show examples of area percentages which may be helpful in rust grading painted steel surfaces.

#### 3. Procedures

3.1 Surface staining by rust, accumulated dirt, or dirt containing iron or iron compounds should not be confused with the actual rusting involved.

3.2 In evaluating surfaces, consideration should be given to the color of the finish coating, since failures will be more apparent on a finish that shows color contrast with rust such as used in the photographic standards, than on a similar color, such as an iron oxide colored finish.

3.3 Coating failure is likely to vary over a given area. Therefore, discretion should be used when selecting a single grade that is to be representative of a large area or structure.

Rust Grades	Description	Photographic Standard
10	no rusting or less than 0.01% of surface rusted	unnecessary
9	minute rusting, less than 0.03% of surface rusted	No. 9
8	few isolated rust spots, less than 0.1% of surface rusted	No. 8
7	less than 0.3% of surface rusted	none
6	extensive spots but less than 1% of surface rusted	No. 6
5	rusting to the extent of 3% of surface rusted	none
4	rusting to the extent of 10% of surface rusted	No. 4
3	approximately one-sixth of the surface rusted	none
2	approximately one-third of the surface rusted	none
	approximately one-half of the surface rusted	none
0	approximately 100% of the surface rusted	unnecessary

3.4 The photographic reference standards are not required when estimating the level of rusting since the rust grade scale is based upon the percent of the area rusted. Any method of assessing area rusted (including Figure 1) may be used to determine the rust grade.

3.5 This standard may be projected to include blistering beneath the paint by including the blistered area as if it were rust.

#### 4. Notes\*

4.1 While every precaution is taken to insure that all information furnished in SSPC guides is as accurate, complete, and useful as possible, SSPC cannot assume responsibility or incur any obligation resulting from the use of any materials, paints, or methods specified therein, or of the guide itself.

\*Notes are not a requirement of this specification.

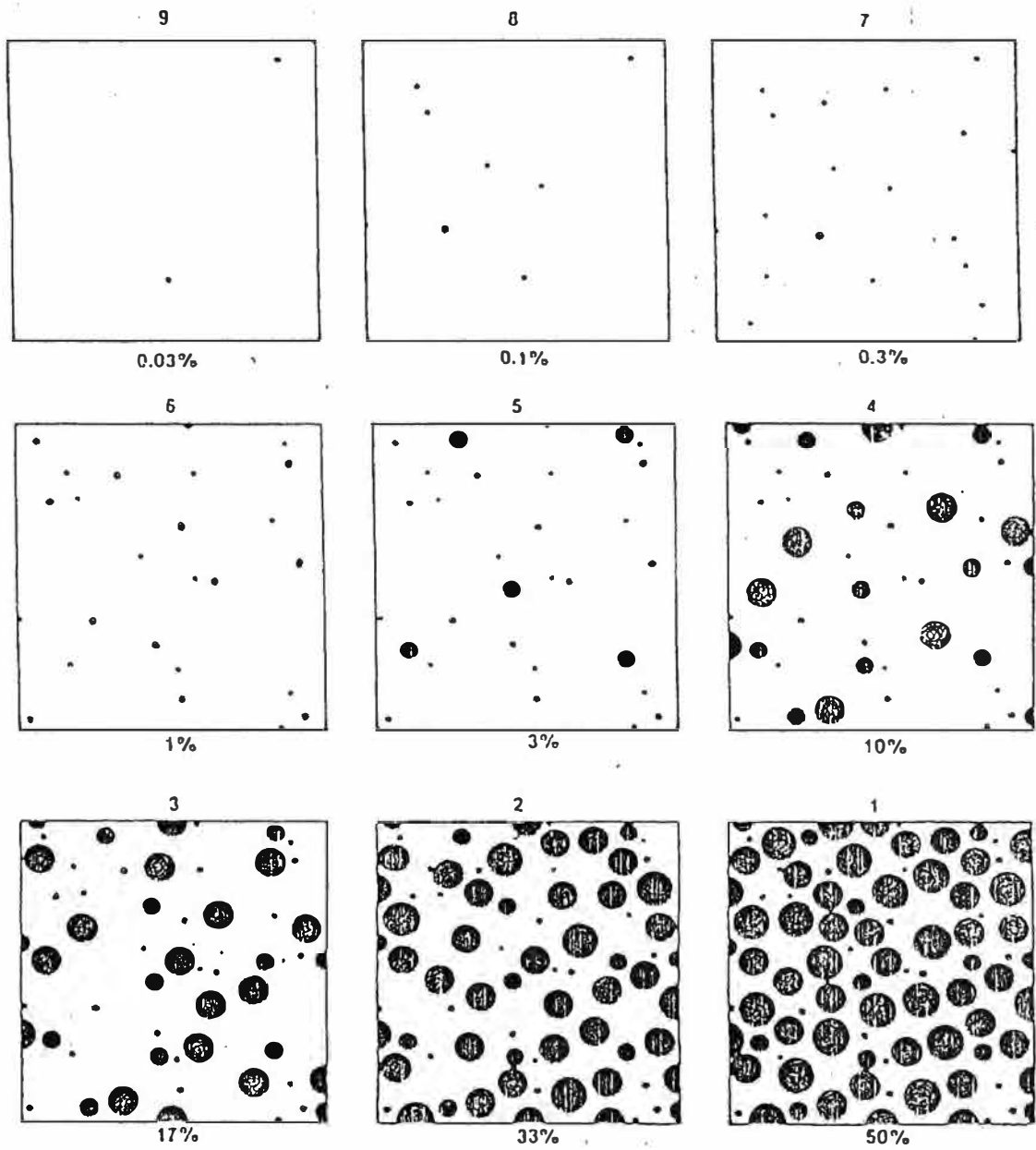
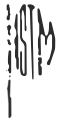


FIGURE 1

Diagrams Representing Rust Grades and the Corresponding Area Percentages



# Standard Practice for MEASUREMENT OF WET FILM THICKNESS BY NOTCH GAGES<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 4414; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. An asterisk (\*) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

## 1. Scope

1.1 This practice describes the use of thin rigid metal notched gages, also called step or comb gages, in the measurement of wet film thickness of organic coatings, such as paint, varnish and lacquer.

1.2 Notched gage measurements are neither accurate nor sensitive, but they are useful in determining approximate wet film thickness of coatings on articles where size(s) and shape(s) prohibit the use of the more precise methods described in Methods D 1212.

1.3 This practice is divided into the following procedures:

1.3.1 *Procedure A*—A square or rectangular metal gage with notched sides is used to measure wet film thicknesses ranging from 0.5 to 10 mils (13 to 2000  $\mu\text{m}$ ). Such a gage is applicable to coatings on flat substrates and to coatings on articles of various sizes and complex shapes where it is possible to get the end tabs of the gage to rest in the same plane on the substrate.

1.3.2 *Procedure B*—A circular thin rigid metal notched gage is used to measure wet film thicknesses ranging from 1 to 100 mils (25 to 2500  $\mu\text{m}$ ). Such a gage is applicable to coatings on flat substrates and to coatings on objects of various sizes and complex shapes.

1.4 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

## 2. Applicable Document

- 2.1 *ASTM Standard:*  
D 1212 Methods for Measurement of Wet

## Film Thickness of Organic Coatings<sup>2</sup>

### 3. Summary of Practice

3.1 The material is applied to the articles to be coated and the wet film thickness measured with a notched gage.

3.2 *Procedure A*—A square or rectangular thin rigid metal gage with notched sides, having tabs of varying lengths, is pushed perpendicularly into the film. After removal from the film, the gage is examined and the film thickness is determined to lie between the clearance of the shortest tab wet by the film and the clearance of the next shorter tab not wetted by the film.

3.3 *Procedure B*—A circular thin rigid metal gage having spaced notches of varying depths around its periphery is rolled perpendicularly across the film. After removal from the film, the gage is examined and the film thickness is determined as being between the clearance of the deepest face wetted and the clearance of the next deepest notch face not wetted by the film.

### 4. Significance and Use

4.1 Wet film thickness measurements of coatings applied on articles can be very helpful in controlling the thickness of the final dry coating, although in some specifications the wet film thickness is specified. Most protective and high performance coatings are applied to meet a requirement or specification for dry film thickness for each coat or for the completed coating system, or for both.

4.2 There is a direct relationship between dry

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee D-1 on Paint and Related Coatings and Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D01.23 on Physical Properties of Applied Paint Films.

Current edition approved Oct. 26, 1984. Published January 1985.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 06.01.

film thickness and wet film thickness. The wet film/dry film ratio is determined by the volume of volatiles in the coating as applied, including permitted thinning. With some flat coatings the dry film thickness is higher than that calculated from the wet film thickness. Consequently, the results from the notch gage are not to be used to verify the nonvolatile content of a coating.

4.3 Measurement of wet film thickness at the time of application is most appropriate as it permits correction and adjustment of the film by the applicator at the time of application. Correction of the film after it has dried or chemically cured requires costly extra labor time, may lead to contamination of the film, and may introduce problems of adhesion and integrity of the coating system.

4.4 The procedures using notched gages do not provide as accurate or sensitive measurements of wet film thickness as do the Interchemical and Pfund gages described in Methods D 1212. Notch gages may, however, be used on nonuniform surfaces, like concrete block, that are too rough to use the Interchemical and Pfund gages. Also notched gages can be very useful in the shop and field for determining the approximate thickness of wet films over commercial articles where size(s) and shape(s) are not suitable for measurements by other types of gages. Examples of such items are ellipses, thin edges, and corners.

4.5 An operator experienced in the use of a notched gage can monitor the coating application well enough to ensure the minimum required film thickness will be obtained.

4.6 Application losses, such as overspray, loss on transfer, and coating residue in application equipment, are a significant unmeasurable part of the coating used on a job and are not accounted for by measurement of wet film thickness.

#### PROCEDURE A

##### 5. Apparatus

5.1 *Notched Gage*, square or rectangular, thin rigid metal plate, with notched sides (see Fig. 1), made from steel or aluminum. These gages are commercially available from various coating equipment and instrument suppliers (Note 1). Nonmetallic gages shall not be used.

NOTE 1—Aluminum or aluminum alloy gages are more easily distorted and may exhibit greater wear than

steel gages. Gages made of plastic or determined to be not suitable.

5.1.1 Each notched side shall consist of a row of tabs (between notches) varying in length, located in a line between two end tabs and longest in the row.

5.1.2 As an example, the tabs on one side of a gage may differ in length:

5.1.2.1 By 0.5 mil (13  $\mu\text{m}$ ) between 1 mil (0 to 150  $\mu\text{m}$ ),

5.1.2.2 By 1 mil (25  $\mu\text{m}$ ) between 1 and 2 mils (150 to 250  $\mu\text{m}$ ),

5.1.2.3 By 2 mils (50  $\mu\text{m}$ ) between 2 and 3 mils (250 to 750  $\mu\text{m}$ ), and

5.1.2.4 By 5 mils (125  $\mu\text{m}$ ) over 30 mils (750  $\mu\text{m}$ ).

##### 6. Procedure

6.1 Apply the coating material to a representative substrate and test with the gage immediately. The gage must be used immediately following application of the coating. Some coatings cure quickly and spray application increases the cure rate. The resulting rapid reduction in wet film thickness can cause misleading readings.

6.2 Locate an area sufficiently large to accommodate both end tabs of the gage to rest on the surface in the same plane.

6.3 Push the gage perpendicularly into the film so that the two end tabs rest evenly on the substrate at the same time.

6.4 Or, set one end tab firmly on the substrate and lower the gage until the other end tab is firmly in contact with the substrate.

6.5 Remove the gage from the film and examine the tabs. The film thickness is determined as being between the clearance of the tabs that were wetted and the clearance of the next tabs that were not wetted by the film.

6.6 Clean the gage immediately after each reading by wiping it on a dry or slightly dampened cloth so that subsequent readings are not affected. Do not clean with metal.

6.7 Repeat the procedure in 6.3 for at least three locations on the surface. The number of readings required to obtain an estimate of the film thickness varies with the shape and size of the article being coated, the operator's experience, and whether any of the following problems are

6.7.1 Some coatings may not wet the surface due to some metal gages. However, if

It may show where contact was made. When reading the gage, look at both the gage and the film itself for verification of the reading.

6.7.2 The gage may slip on the surface. Ignore such readings.

6.7.3 The surface may be coarse and false readings produced. The spot where the gage is used must be as uniform as possible and questionable readings ignored.

6.8 Determine the mean and range of the readings.

**Report**

9.1 Report the following:

9.1.1 The mean and range of the readings taken and the number of readings.

9.1.2 The smallest graduation of the gage used.

**PROCEDURE B**

**Apparatus**

*Circular Notched Gage*, thin aluminum disk with notches of various depths spaced around its periphery (see Fig. 2). Each notch has a flat face. A 1/8-in. (10-mm) hole is in the center of the disk.

Examples of the scale increments and graduations provided by the notches are:

- 1) 1.0-mil increments between 1 to 4 mils (25 to 100 μm),
- 2) 2-mil increments between 6 and 60 mils (150 to 1500 μm), and
- 3) 4-mil increments between 60 and 80 mils (1500 μm to 2000 μm).

**Procedure**

10.1 Apply the coating material to a rigid substrate and test with the gage immediately.

10.2 Locate an area sufficiently large to permit the gage to roll. A minimum length of about 1 1/2 in. (38 mm) is required.

10.3 Choose the range on the gage thickness scale that corresponds to the expected range of film thickness.

10.4 Immediately place the selected gage segment

perpendicularly on the wet film and in firm contact with the substrate. Roll the gage across the film, holding the disk with a thumb and index finger in the center hole.

NOTE 2—If it is difficult to roll the disk over the area selected, rock the gage over the scale segment selected.

9.5 Remove the gage from the film and inspect the notch faces. The wet film thickness is determined as being between the clearance of the deepest notch face wetted and the clearance of the next deeper notch face not wetted by the film.

9.6 Clean the gage immediately after each reading by wiping on a dry or solvent-dampened cloth so that subsequent readings are not affected. Do not clean with metal scrapers.

9.7 Repeat procedures in 9.3 through 9.7 for at least three locations on the film. The number of readings required to obtain a good estimate of the film thickness varies with the shape and size of the article being coated, with the operator's experience, and whether one or more of the problems outlined in 6.7.1, 6.7.2, or 6.7.3 are encountered.

9.8 Determine the mean and range of the readings.

**10. Report**

10.1 Report the following:

10.1.1 The mean and range of the readings taken and the number of readings.

10.1.2 The smallest graduation of the gage used.

**11. Precision and Bias**

11.1 The precision and bias of Procedure A or B for measuring wet film thickness with notch gages are very dependent on methods of film application, time that the measurement is taken after film application, mechanical condition of the notch gages, and the step range of the gages.

11.2 Generally, the agreement between notch gages is good because they are insensitive to small differences in film thickness, that is the step intervals of the gages are relatively large.

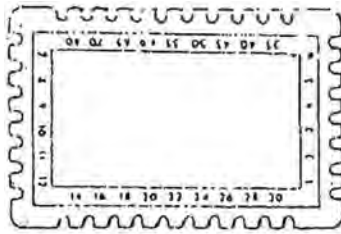


FIG. 1 Rectangular Notched Gage

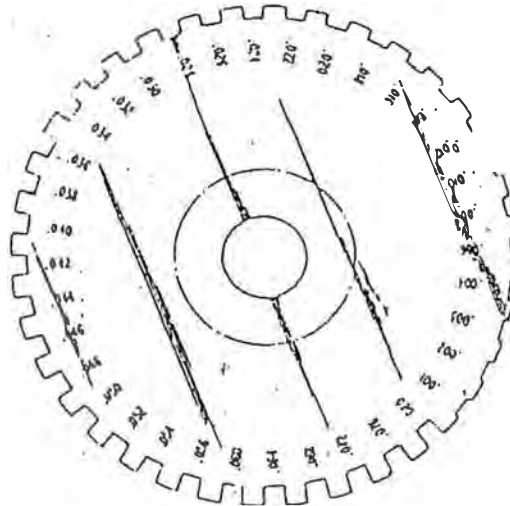


FIG. 2 Circular Notched Gage

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.*

## Measuring Dry Film Thickness

Specifications normally require that you control the dry film thickness of a coating within a range, such as 2-4 mils (50-100 microns). Coatings suppliers also suggest application within a dry film thickness range for each specific product they sell. There are 2 main reasons why you must control dry film thickness. First, the lower end of the range gives the minimum thickness at which the coating can be expected to fulfill its function. Second, the upper end of the range limits thickness, which prevents coatings from being applied so thickly that they contribute to coating failure.

### Thickness and Function

A coating needs to have a minimum thickness to achieve its function. It must be remembered that the dry film thickness of a primer is the thickness above the anchor profile height. Primers must also have a minimum thickness for other reasons, depending upon their type, such as providing sufficient barrier properties to limit passage of corrosion-causing liquids, providing enough inhibitive pigment to stifle the corrosion process, or providing enough sacrificial pigment (zinc) to cause the zinc to corrode rather than the steel.

Mid-coats and topcoats also need to have a minimum thickness

to achieve their functions. Sufficiently thick mid-coats provide barriers to passage of corrosion-causing materials to protect the integrity of primers. Topcoats resist chemical attack at their surface; sometimes, they need to resist abrasion and mechanical damage; they provide an additional barrier layer, and they must be thick enough to hide the layers beneath them and to provide a pleasing appearance.

Studies of coating performance have shown that insufficiently thick layers will not do their job. As a result, the coating system will break down prematurely, and the substrate, inadequately protected, will corrode.

When you apply a coating at a thickness in excess of the thickness specified, the coating can fail, primarily due to loss of film integrity and adhesion problems. Depending on their type, coatings can check, crack, or flake when they are too thick; with these types of failures, coatings fall off or allow moisture to penetrate the coating at defects and reach the substrate. The mud cracking of inorganic zinc-rich coatings when they are applied too thickly is a good example.

Too thick a coating layer may also affect the cure. For coatings that cure by air oxidation, such as oil-based paints, surface cure will occur if the layer is applied too

thickly. Oxygen will not be able to get through this skin, and the coating below it will stay soft. Too thick a coating can also cause solvents to be trapped within the coating layer. This will result in a cheesy film, blistering, or other defects. With all coatings, more is not better. Film thickness must be controlled.

### Wet Film Thickness

During application, you should check wet film thickness from time to time to make sure you are putting enough paint on the surface. But you must be careful to calculate the amount of wet film needed to achieve a dry film within the specified range. Dry film thickness equals wet film thickness times the percent volume solids of the coating. Volume solids is given in the Suppliers Material Data Sheet. A 50 percent volume solids coating needs to be 4 to 8 mils (100 to 200 microns) wet to achieve a dry film thickness of 2 to 4 mils (50 to 100 microns).

If you thin a coating before application, you reduce its volume solids, so you need to take into account the thinning in the equation to determine wet film thickness requirements.

Read the July 1991 Applicator Training Bulletin to learn how to compute volume solids after thinning.

## Instruments for Measuring Dry Film Thickness

There are both destructive and non-destructive methods of measuring dry film thickness, and a number of instrument types can be used for each method. For destructive thickness testing, you can use a Tooke gage, a depth micrometer, or a standard micrometer. But destructive methods damage the coating film and need to be repaired. Therefore, non-destructive methods are preferred. For non-destructive methods, which are more common, you can use magnetic gages if you are measuring a coating over steel; or you can use eddy current gages if you are measuring coatings over non-ferrous metals.

Both magnetic and eddy current gages have to be calibrated before use. Calibration methods are described in SSPC-PA 2, Measurement of Dry Film Thickness with Magnetic Gages.

For a description of how to operate magnetic gages, both pull-off gages and fixed probe gages, as well as eddy current gages, consult Chapter 6, "Inspection," of Volume 1, *Good Painting Practice of the Steel Structures Painting Manual*.

## Dry Film Thickness Measurement Procedures

To assure that coating thickness conforms to specification requirements over a large surface area, you need to take multiple readings, but you do not need to measure every square inch, which would be too time-consuming to be practical.

SSPC-PA 2 describes a procedure for assuring that you check consistently over large areas. For every 100 sq ft (9 sq m) of area checked, you make 5 spot measurements. For each spot, you take 3 readings next to one another.

If you are measuring an area of 300 sq ft (27 sq m) or less, ac-

### Example for Computing Thickness as per SSPC-PA 2

Suppose this structure is 300 sq ft (27 sq m) in area. Mentally divide the surface into 3 equal parts, each being about 100 sq ft (9 sq m).

Part A	100 sq ft (9 sq m)
Part B	100 sq ft (9 sq m)
Part C	100 sq ft (9 sq m)

First, measure paint thickness on part A. This involves 15 readings of the thickness gage (Fig. 1). Assume the specification is 2.5 mils to 4.5 mils (62.5 microns to 112.5 microns). The average thickness for area A is then the average of the 5 spot measurements made on area A, namely 2.6 mils (65 microns).

Spot 1	2.5 mils (62.5 microns)
Spot 2	3.0 mils (75 microns)
Spot 3	2.1 mils (52.5 microns)
Spot 4	3.0 mils (75 microns)
Spot 5	2.3 mils (57.5 microns)
Average	2.6 (65 microns)

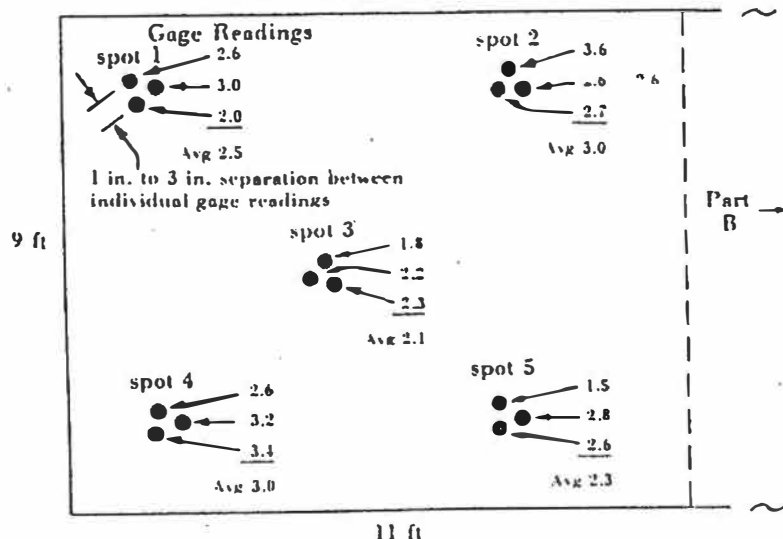
The average, 2.6 mils (65 microns), falls within the specified range of 2.5 mils to 4.5 mils (62.5 microns to 112.5 microns) and thus satisfies the specification. However, it must be decided if the lowest spot measurement, 2.1 mils (52.5 microns), is within 80 percent of the minimum specified thickness. Eighty percent of 2.5 mils (62.5 microns) is 2.0 mils ( $0.80 \times 2.5 \text{ mils} = 2.0 \text{ mils}$ ) ( $0.80 \times 62.5 \text{ microns} = 50 \text{ microns}$ ). Although 2.1 mils (52.5 microns) is below the specified minimum, it is still within 80 percent of it, so the specification is satisfied.

There are individual gage readings of 1.5 mils (37.5 microns) at spot 5 and 1.8 mils (45 microns) at spot 3, both of which are clearly less than 2.0 mils (50 microns). This is allowed because only the average of the 3 readings (i.e., the spot measurement) must be greater than or equal to 2.0 mils (50 microns).

Since the structure used in this example is about 300 sq ft (27 sq m), the procedure used to measure the film thickness of part A must be applied to both part B and part C. The measured thickness of part B must fall within the 2.5-mil to 4.5-mil (62.5-micron to 112.5-micron) specified range, as must the thickness of part C.

To monitor the thickness of this entire 300-square-foot (27-square-meter) structure, you must take 45 individual gage readings, from which 15 spot measurements are calculated. The 5 spot measurements from each 100-square-foot (9-square-meter) part of the structure are used to calculate the thickness on that part.

Part "A" of Structure  
(area approx. 100 sq ft)





According to PA 2, you should take spot readings in each 100 sq ft (9 sq m) area. For an area greater than 300 sq ft (27 sq m) but not more than 1,000 sq ft (90 sq m) you should pick at random three, 100-square-foot (nine-square-meter) areas to check. For areas greater than 1,000 sq ft (90 sq m), one, 100-square-foot (nine-square-meter) area should be measured in each 1,000 sq ft (90 sq m).

If insufficient thickness is found in a randomly selected 100-square-foot (nine-square-meter) area, then all 100-square-foot (nine-square-meter) areas are required to be measured.

While PA 2 refers to the size of a structure, it is better to use the requirements based on the amount of steel painted daily. This will prevent problems if there was a bad day with film thickness outside the required range, yet on all the other days, the work is fine. For critical work, more measurements may be required than stated in PA 2.

Adequacy of thickness is determined first by averaging the 3 readings for each spot, and by then averaging the 5 spot readings. Each spot average must be at least 80 percent of the minimum film thickness requirements, although an individual reading can be less than 80 percent of the requirement. The average achieved from the 5 spot averages must meet the minimum specified thickness.

These readings must be corrected for the effect of the anchor profile on the individual gage readings. If you are using a magnetic pull-off gage that was calibrated on standard shims, take the average of a representative number of readings on the bare, blasted surface. Note that this average number is not the anchor profile height but is the response of the gage to the roughness of the surface. This number must be subtracted from the 3 readings per spot before the comparison to the

requirements in PA 2 can be made.

An example with an illustration is given in the box on the previous page. It is reprinted from a Maintenance Tip by Raymond E.F. Weaver, *JPCL*, May 1987, pp. 14-15.

### Conclusion

Normally, an inspector verifies on behalf of the owner that dry film thickness meets specification requirements. But you and your company also need to monitor dry film thickness so that you can have feedback about the quality of your work and make adjustments as necessary. ATB.



## Standard Methods for MEASURING ADHESION BY TAPE TEST<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 3359; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

These methods have been approved for use by agencies of the Department of Defense and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.

### 1. Scope

1.1 These methods cover procedures for assessing the adhesion of coating films to metallic substrates by applying and removing pressure-sensitive tape over cuts made in the film.

1.2 Method A is primarily intended for use at job sites while Method B is more suitable for use in the laboratory. Also, Method B is not considered suitable for films thicker than 5 mils (125  $\mu\text{m}$ ).

1.3 These methods are used to establish whether the adhesion of a coating to a substrate is at a generally adequate level. They do not distinguish between higher levels of adhesion for which more sophisticated methods of measurement are required.

1.4 In multicoat systems adhesion failure may occur between coats so that the adhesion of the coating system to the substrate is not determined.

### 2. Applicable Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

D 609 Methods for Preparation of Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Lacquer, and Related Products<sup>2</sup>

D 823 Methods of Producing Films of Uniform Thickness of Paint, Varnish, Lacquer, and Related Products on Test Panels<sup>2</sup>

D 1730 Recommended Practices for Preparation of Aluminum and Aluminum-Alloy Surfaces for Painting<sup>2</sup>

D 2092 Practices for Preparation of Zinc-Coated Steel Surfaces for Painting<sup>2</sup>

D 3330 Test Method for Peel Adhesion of Pressure-Sensitive Tape of 180° Angle<sup>3</sup>

### 3. Summary of Methods

3.1 *Method A*—An X-cut is made in the film

to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the cut and then removed, and adhesion is assessed qualitatively on the 0 to 5 scale.

3.2 *Method B*—A lattice pattern with either six or eleven cuts in each direction is made in the film to the substrate, pressure-sensitive tape is applied over the lattice and then removed, and adhesion is evaluated by comparison with descriptions and illustrations.

### METHOD A—X-CUT TAPE TEST

#### 4. Apparatus and Materials

4.1 *Cutting Tool*—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting devices. It is of particular importance that the cutting edges be in good condition.

4.2 *Cutting Guide*—Steel or other hard metal straightedge to ensure straight cuts.

4.3 *Tape*—One-inch (25-mm) wide semitransparent pressure-sensitive tape with an adhesion strength of  $40 \pm 2.5$  oz/in. ( $44.6 \pm 2.8$  g/mm) width when tested in accordance with Test Method D 3330. The adhesion shall not change by more than  $\pm 6.5\%$  of its mean value within 12 months. The backing of the tape may consist of fiber-reinforced cellulose acetate,<sup>4</sup> unplasti-

<sup>1</sup> These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-1 on Paint and Related Coatings and Materials and are the direct responsibility of Subcommittee D01.23 on Physical Properties of Applied Paint Films.

Current edition approved March 25, 1983. Published July 1983. Originally published as D 3359 - 74. Last previous edition D 3359 - 78.

<sup>2</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 06.01.

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.09.

<sup>4</sup> Permacel 99 manufactured by Permacel, New Brunswick, NJ 08903, is reported to be suitable for the purpose. The manufacturer of the tape used in the interlaboratory study<sup>3</sup> has advised that as of September 1981 the properties of this tape are being changed. Users of its should, therefore, check whether current material gives comparable results to previous supplies.

11.10 Repeat the test in two other locations on each test panel.

12. Report

12.1 Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred, that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.

12.2 Report the substrate employed, the type of coating and the method of cure.

13. Precision

13.1 On the basis of two interlaboratory tests of this method in one of which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering a wide range of adhesion and in the other operators

in six laboratories made three measurements on two panels each of four different coatings applied over two other coatings, the pooled standard deviations for within- and between-laboratories were found to be 0.37 and 0.7. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

13.1.1 *Repeatability*—Provided adhesion uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than one rating unit for two measurements.

13.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of duplicates or triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than two rating units.

Classification of Adhesion Test Results

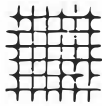
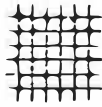

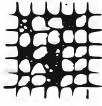
Classification	Surface of cross-cut area from which flaking has occurred. (Example for six parallel cuts)
5B	None
4B	
3B	
2B	
1B	
0B	Greater than 65%

FIG. 1 Classification of Adhesion Test Results

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.

cized poly(vinyl chloride), or polyester film.

4.4 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

4.5 *Illumination*—A light source is helpful in determining whether the cuts have been made through the film to the substrate.

## 5. Test Specimens

5.1 When this method is used in the field, the specimen is the coated structure or article on which the adhesion is to be evaluated.

5.2 For laboratory use apply the materials to be tested to panels of the composition and surface conditions on which it is desired to determine the adhesion.

NOTE 1—Applicable test panel description and surface preparation methods are given in: Method D 609, Recommended Practice D 1730, and Practice D 2092.

NOTE 2—Coatings should be applied in accordance with Methods D 823, or as agreed upon between the purchaser and the seller.

NOTE 3—If desired or specified, the coated test panels may be subjected to a preliminary exposure such as water immersion, salt spray, or high humidity before conducting the tape test. The conditions and time of exposure will be governed by ultimate coating use or shall be agreed upon between the purchaser and seller.

## 6. Procedure

6.1 Select an area free of blemishes and minor surface imperfections. For tests in the field, ensure that the surface is clean and dry. Extremes in temperature or relative humidity may affect the adhesion of the tape or the coating.

6.2 Make two cuts in the film each about 1.5 in. (40 mm) long that intersect near their middle with a smaller angle of between 30 and 45°. When making the incisions, use the straightedge and cut through the coating to the substrate in one steady motion.

6.3 Inspect the incisions for reflection of light from the metal substrate to establish that the coating film has been penetrated. If the substrate has not been reached make another X in a different location. Do not attempt to deepen a previous cut as this may affect adhesion along the incision.

6.4 Remove two complete laps of the pressure-sensitive tape from the roll and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 3 in. (75 mm) long.

6.5 Place the center of the tape at the intersection of the cuts with the tape running in the same direction as the smaller angles. Smooth the tape into place by finger in the area of the incisions

and then rub firmly with the eraser on the end of a pencil. The color under the transparent tape is a useful indication of when good contact has been made.

6.6 Within  $90 \pm 30$  s of application, remove the tape by seizing the free end and pulling rapidly (not jerked) back upon itself at an angle of 180° as possible.

6.7 Inspect the X-cut area for removal of coating from the substrate or previous coating. Rate the adhesion in accordance with the following scale:

- 5A No peeling or removal
- 4A Trace peeling or removal along incisions
- 3A Jagged removal along incisions up to  $\frac{1}{16}$  in. (1.6 mm) on either side
- 2A Jagged removal along most of incisions up to  $\frac{1}{4}$  in. (6.3 mm) on either side
- 1A Removal from most of the area of the X under the tape
- 0A Removal beyond the area of the X

6.8 Repeat the test in two other locations on each test panel. For large structures make sufficient tests to ensure that the adhesion evaluation is representative of the whole surface.

6.9 After making several cuts examine the cutting edge and, if necessary, remove any flake spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone before using again. Discard cutting tools that develop nicks or other defects that tear the film.

## 7. Report

7.1 Report the number of tests, their mean and range, and for coating systems, where the failure occurred that is, between first coat and substrate, between first and second coat, etc.

7.2 For field tests report the structure or article tested, the location and the environmental conditions at the time of testing.

7.3 For test panels report the substrate employed, the type of coating, the method of cure, and the environmental conditions at the time of testing.

## 8. Precision

8.1 In an interlaboratory study<sup>1</sup> of this method in which operators in six laboratories made one adhesion measurement on three panels each of three coatings covering a wide range of adhesion, the within-laboratories standard deviation was found to be 0.33 and the between-

<sup>1</sup> The report on which this precision statement is based has been filed at ASTM Headquarters, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103, as RR: D01-1004.

laboratories 0.44. Based on these standard deviations, the following criteria should be used for judging the acceptability of results at the 95 % confidence level:

8.1.1 *Repeatability*—Provided adhesion is uniform over a large surface, results obtained by the same operator should be considered suspect if they differ by more than 1 rating unit for two measurements.

8.1.2 *Reproducibility*—Two results, each the mean of triplicates, obtained by different operators should be considered suspect if they differ by more than 1.5 rating units.

## METHOD B—CROSS-CUT TAPE TEST

### 9. Apparatus and Materials

9.1 *Cutting Tool*—Sharp razor blade, scalpel, knife or other cutting device having a cutting edge angle between 15 and 30° that will make either a single cut or several cuts at once. It is of particular importance that the cutting edge be in good condition.

9.2 *Cutting Guide*—If cuts are made manually (as opposed to a mechanical apparatus) a steel or other hard metal straightedge or template shall ensure straight cuts.

9.3 *Rule*—Tempered steel rule graduated in 0.5 mm for measuring individual cuts.

9.4 *Tape*, as described in 4.3.

9.5 *Rubber Eraser*, on the end of a pencil.

9.6 *Illumination*, as described in 4.5.

9.7 *Magnifying Glass*—An illuminated magnifier to be used while making individual cuts and examining the test area.

### 10. Test Specimens

10.1 As described in Section 5.

### 11. Procedure

11.1 Where required or when agreed upon, subject the specimens to a preliminary test before conducting the tape test (see Note 3). After drying or testing, select an area free of blemishes and minor surface imperfections.

11.2 Place the panel on a firm base and under the illuminated magnifier make parallel cuts as follows:

11.2.1 For coatings having a dry film thickness up to and including 2.0 mils (50  $\mu$ m) space the cuts 1 mm apart and make eleven cuts unless otherwise agreed upon.

11.2.2 For coatings having a dry film thick-

ness between 2.0 mils (50  $\mu$ m) and 5 mils (125  $\mu$ m), space the cuts 2 mm apart and make six cuts. For films thicker than 5 mils use Method A.

11.2.3 Make all cuts about  $\frac{1}{4}$  in. (20 mm) long. Cut through the film to the substrate in one steady motion using just sufficient pressure on the cutting tool to have the cutting edge reach the substrate. When making successive single cuts with the aid of a guide, place the guide on the uncut area.

11.3 After making the required cuts brush the film lightly with a soft brush or tissue to remove any detached flakes or ribbons of coatings.

11.4 Examine the cutting edge and, if necessary, remove any flat spots or wire-edge by abrading lightly on a fine oil stone. Make the additional number of cuts at 90° to and centered on the original cuts.

11.5 Brush the area as before and inspect the incisions for reflection of light from the substrate. If the metal has not been reached make another grid in a different location.

11.6 Remove two complete laps of tape and discard. Remove an additional length at a steady (that is, not jerked) rate and cut a piece about 3 in. (75 mm) long.

11.7 Place the center of the tape over the grid and in the area of the grid smooth into place by a finger. To ensure good contact with the film rub the tape firmly with the eraser on the end of a pencil. The color under the tape is a useful indication of when good contact has been made.

11.8 Within  $90 \pm 30$  s of application, remove the tape by seizing the free end and rapidly (not jerked) pulling it off at as close to an angle of 180° as possible.

11.9 Inspect the grid area for removal of coating from the substrate or from a previous coating using the illuminated magnifier. Rate the adhesion in accordance with the following scale illustrated in Fig. 1:

- 5B The edges of the cuts are completely smooth; none of the squares of the lattice is detached.
- 4B Small flakes of the coating are detached at intersections; less than 5 % of the area is affected.
- 3B Small flakes of the coating are detached along edges and at intersections of cuts. The area affected is 5 to 15 % of the lattice.
- 2B The coating has flaked along the edges and on parts of the squares. The area affected is 15 to 35 % of the lattice.
- 1B The coating has flaked along the edges of cuts in large ribbons and whole squares have detached. The area affected is 35 to 65 % of the lattice.
- 0B Flaking and detachment worse than Grade 1.



## Standard Test Method for FILM HARDNESS BY PENCIL TEST<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 3363; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

<sup>1</sup> NOTE—Section 2 was editorially added and subsequent sections renumbered in June 1980.

### 1. Scope

1.1 This method covers a procedure for rapid, inexpensive determination of the film hardness of an organic coating on a substrate in terms of drawing leads or pencil leads of known hardness.

### 2. Significance

2.1 This method is especially useful in development work and in production control testing in a single laboratory. It should be recognized that the results obtained may vary between different operators and laboratories. Every effort should be made to standardize the hardness of the lead used and the technique followed. If used as a basis for purchase agreement, this method will achieve maximum accuracy if a given set of referee pencils be agreed upon between the purchaser and the seller.

### 3. Summary of Method

3.1 A coated panel is placed on a firm horizontal surface. The pencil is held firmly against the film at a 45° angle (point away from the operator) and pushed away from the operator in a 1/4-in. (6.5-mm) stroke. The process is started with the hardest pencil and continued down the scale of hardness to either of two points: one, the pencil that will not cut into or gouge the film (pencil hardness), or two, the pencil that will not scratch the film (scratch hardness).

### 4. Apparatus

4.1 A set of calibrated drawing leads (preferred) or equivalent calibrated wood pencils meeting the following scale of hardness:<sup>2</sup>

6B-5B-4B-3B-2B-B-HB-F-1H-2H-3H-4H-5H-6H  
Softer Harder

The difference between two adjacent leads shall be considered one unit of hardness.

4.2 *Mechanical Lead Holder*, for drawing leads if used.<sup>3</sup>

4.3 *Mechanical Sharpener*, draftsman-type, is helpful for trimming wood pencils if used.<sup>4</sup>

4.4 *Abrasive Paper*, grit No. 400.

### 5. Test Specimens and Conditions

5.1 Apply the surface coating by appropriate means to a smooth rigid substrate and cure properly, or use representative panels cut from coated stock. The panels used, the curing conditions, and the age of the coating prior to the test shall be within the limits agreed upon between the purchaser and the seller.

5.2 The film thickness of the coating shall be as specified or as agreed upon between the purchaser and the seller.

5.3 Conduct the test at 77 ± 3.5°F (25 ± 2°C) and 50 ± 5% relative humidity.

### 6. Procedure

6.1 For wood pencils, remove approximately

<sup>1</sup> This method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-1 on Paint and Related Coatings and Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D01.53 on Factory-Precoated Strip Metal.

Current edition approved Oct. 25, 1974. Published November 1974.

<sup>2</sup> Pencils from many manufacturers have been and may be used in pencil hardness testing but it was apparent to the test group (D01.53.02) that the leads supplied by two manufacturers were more uniform, and reproducible results could be obtained from batch to batch of leads. These are: (a) Eberhard Faber—Microtomic and (b) Eagle Turquoise—T 2375.

<sup>3</sup> Turquoise No. 10 is the preferred holder, however, any holder adequately constructed to eliminate lead slippage may be used.

<sup>4</sup> Apsco Products, Inc., Dexter Super 10 Draftsman type A10D Cutter Assembly, or equivalent, has been found suitable.



$\frac{3}{16}$  in. to  $\frac{1}{4}$  in. (5 to 6 mm) wood from the point of each pencil using a draftsman-type mechanical sharpener, being careful to leave an undisturbed, unmarked, smooth cylinder of lead. Holding the pencil or lead holder (when using drawing leads) at an angle of  $90^\circ$  to the abrasive paper, rub the lead against the paper maintaining an exact angle of  $90^\circ$  to the abrasive paper until a flat, smooth and circular cross section is obtained, free of chips or nicks in the edge of the cross section. The desired edge may be attained by cementing the abrasive paper to a flat motor driven disk. By supporting the pencil at  $90^\circ$  to the rotating disk a uniform flat lead end may be obtained more reproducibly.<sup>5</sup>

6.2 Place the coated panel on a level, firm, horizontal surface. Starting with the hardest lead, hold the pencil or lead holder firmly with the lead against the film at a  $45^\circ$  angle (point away from the operator) and push away from the operator. Exert sufficient uniform pressure downward and forward either to cut or scratch the film or to crumble the edge of the lead. It is suggested that the length of the stroke be  $\frac{1}{4}$  in. (6.5 mm).

6.3 Repeat the process down the hardness scale until a pencil is found that will not cut through the film to the substrate (either metal or a previous coat) for a distance of at least  $\frac{1}{8}$  in. (3 mm) (see 7.1.1).

NOTE 1—The operator must watch closely for cutting into or scratching the film. Some finishes contain compounds that may tend to lubricate the film. Checks should be made by close visual inspection and by fingernail feel.

NOTE 2—In conducting the test, if the sharp edge of the lead is slightly chipped or crumbled, the lead must be resharpened.

6.4 Continue the process until a pencil is found that will neither cut through nor scratch the surface of the film. Any defacement of the film other than a cut (gouge) is considered a scratch. Record each end point (if applicable) for gouge and scratch hardness (see 7.1).

NOTE 3—With some films, the two end points will be identical.

6.5 Make a minimum of two determinations for gouge hardness (6.3) and scratch hardness (6.4) for each pencil or lead.

## 7. Report

7.1 Report two end points as follows:

7.1.1 *Gouge Hardness*—The hardest pencil that will leave the film uncut for a stroke length of at least  $\frac{1}{8}$  in. (3 mm).

7.1.2 *Scratch Hardness*—The hardest pencil that will not rupture or scratch the film.

7.2 Report the make and grade of lead or pencil used.

7.3 Report any deviation from standard conditions, including roughness in the finish.

## 8. Precision

8.1 In an interlaboratory test of this method with three different films on panels, ten laboratories and operators and repeated by switching leads and panels between laboratories, the within-laboratories standard deviation was found to be 0.52 and the between-laboratories standard deviation was found to be 0.61. Based on these standard deviations the following criteria should be used for judging the acceptability of results at a 95 % confidence level:

8.1.1 *Repeatability*—Two results obtained by two operators within a laboratory using the same pencils and panels should be considered suspect if they differ by more than one pencil unit on the scale described in 4.1.

8.1.2 *Operator Reproducibility*—Two results, each the mean of at least two determinations, obtained by operators in different laboratories using the same pencils and panels or different pencils with the same panels should be considered suspect if they differ by more than one pencil unit on the scale described in 4.1.

<sup>5</sup> A suitable device for this purpose is available from Gardner Laboratories, Inc., P. O. Box 5728, Bethesda, Md.

*The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103.*