

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERIA DE PETROLEO,  
GAS NATURAL Y PETROQUIMICA**



**PINTURAS INDUSTRIALES Y SU USO COMO PROTECCIÓN CONTRA LA  
CORROSIÓN**

**TITULACIÓN POR ACTUALIZACIÓN DE CONOCIMIENTOS PARA OPTAR EL  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO PETROQUIMICO**

**ELABORADO POR:**  
Martín Cesar Loro Ramírez

**PROMOCIÓN 1993 - 0**

**LIMA - PERÚ**

**2007**

# PINTURAS INDUSTRIALES Y SU USO COMO PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN

## Capítulo 1: Sumario

## Capítulo 2: Introducción

## Capítulo 3. Tecnología de Pinturas

- 3.1. Definición de pintura
- 3.2 Clasificación.
- 3.3 Componentes de los recubrimientos y sus funciones
  - 3.3.1 Aglutinante (Resina).
  - 3.3.2 El solvente.
  - 3.3.3 El pigmento
  - 3.3.4. Los Aditivos
- 3.4. Fabricación de una pintura
  - 3.4.1 Pesado de las Materias Primas
  - 3.4.2. Empastado (base de molienda – premezcla):
  - 3.4.3. Dispersión o molienda: el tamaño de partícula, el nivel de desarrollo del color y el poder de teñido.
    - 3.4.3.1. Medios de dispersión
  - 3.4.4 Completado:
  - 3.4.5. Matizado:
  - 3.4.6. Ajustes:
- 3.5. Importancia del análisis del tamaño de partícula al estado de pintura.
- 3.6 Principios de Dispersión de Pigmentos
- 3.7. Opacidad y Poder Cubriente
- 3.8. Controles a las Pinturas
- 3.9. Características físicas de las pinturas
  - 3.9.1. Densidad y Peso específico. Su importancia
- 3.10. Concentración de pigmento en volumen
- 3.11. Concentración de Pigmento en Volumen (PVC) versus Factor de Empaque del pigmento ( $\Phi$ ).
- 3.12. Modificaciones de la PVC producidas durante la formación de la película y el período de curado

## Capítulo 4. Introducción a la Corrosión

- 4.1. Corrosión de los metales
- 4.2. Definición
- 4.3. Mecanismos básicos de la corrosión
  - 4.3.1. Ataque químico directo.
  - 4.3.2. Ataque Electroquímico
- 4.4. Factores que influyen en la corrosión
- 4.5. Consideraciones de diseño
- 4.6. Tipos de Corrosión
  - 4.6.1 Uniforme o General.
  - 4.6.2 Localizada
  - 4.6.3. Galvánica (Bimetálica)

- 4.7. La Corrosión en la Industria y sus Procesos.
- 4.8. Control de la corrosión
  - 4.8.1. Protección Catódica
  - 4.8.2. Protección Anódica.
  - 4.8.3. Selección de materiales.
  - 4.8.4. Factores Económicos.
  - 4.8.5. Recubrimientos
  - 4.8.6. Diseño.
  - 4.8.7. Alteración por el entorno.

## **Capítulo 5. Principales Recubrimientos – Características y Limitaciones**

- 5.1. Protección por Recubrimientos - Mecanismos.
  - 5.1.1. Protección Tipo Barrera.
  - 5.1.2. Protección Mediante Pigmentos inhibidores.
    - 5.1.2.3. Protección Galvánica (catódica).
    - 5.1.2.4. Sistemas de Recubrimientos de Protección Total
    - 5.1.2.5. Imprimantes Especiales.
- 5.2. Propiedades Deseadas en la película protectora
- 5.3. Mecanismos de la Formación de la Película de Recubrimiento
  - 5.3.1. La Formación de la Película y la Solubilidad del recubrimiento.
  - 5.3.2. Mecanismos de Formación de la Película.
    - 5.3.2.1. Recubrimientos No Convertibles.
    - 5.3.2.2. Recubrimientos Convertibles.
- 5.4. Comparaciones entre Tipos Genéricos de Recubrimientos
  - 5.4.1. Lacas Termoplásticas
  - 5.4.2. Recubrimientos Bituminosos
  - 5.4.3. Recubrimientos de Emulsión al agua (Làtex)
  - 5.4.4. Alquídicos
  - 5.4.5. Recubrimientos Epóxicos
  - 5.4.6. Recubrimientos Coal Tar Epóxi
  - 5.4.7. Recubrimientos de Poliuretano
  - 5.4.8. Recubrimientos de Poliúreas
  - 5.4.9. Recubrimientos de Siloxanos
  - 5.4.10. Recubrimientos de Poliéster y Vinil éster
  - 5.4.11. Recubrimientos Fenólicos y Fenol-epóxicos
  - 5.4.12. Pretratamiento Wash primer
  - 5.4.13. Recubrimientos Inorgánicos Ricos en Zinc.
  - 5.4.14. Recubrimientos en Polvo
  - 5.4.15. Recubrimientos Metálicos por Aspersión
  - 5.4.16. Nuevas tendencias en el recubrimiento
- 5.5. Selección de Sistemas de Recubrimientos

## **Capítulo 6. Observaciones y Conclusiones**

## **Capítulo 7. Bibliografía**

## Capítulo 1: Sumario

Pintura, es un compuesto químico que al aplicarlo sobre una superficie forma una película seca, con la función de proteger y embellecer.

La norma ASTM D 16-84, la define como: composición líquida pigmentada que se convierte en una película sólida y opaca después de su aplicación en capa fina.

Los principales componentes de un recubrimiento protector son: el aglutinante ó resina, el pigmento, el solvente y los aditivos. Ya que el aglutinante es el más importante en la determinación de las propiedades de la película protectora, los recubrimientos son generalmente identificados de acuerdo con él.

Para obtener una pintura, el pigmento seco en polvo debe ser dispersado en una solución de resina o vehículo. En este proceso se rompen los aglomerados hasta llegar al tamaño de las partículas primarias, mediante el "mojado" de las mismas con el vehículo y la incorporación de gran cantidad de energía mecánica utilizando equipos especiales como dispersores y molinos. El vehículo estabiliza el pigmento evitando que se formen nuevamente los aglomerados.

Una vez dispersado el pigmento, la base de molienda se completa y diluye con más vehículo y solvente y los aditivos necesarios para conferir las propiedades deseadas y completar la fórmula final. Una vez controladas las propiedades y obtenida la aprobación respectiva por parte de control de calidad, la pintura estará lista para ser filtrada y envasada.

Para una buena calidad en el desarrollo de una pintura se realizan varios controles, los más importantes son: % de sólidos, densidad, viscosidad, fineza, secado, repintado, "no sagging" (chorreamiento), tiempo de vida útil, brillo.

La corrosión de los metales es un proceso natural por el cual, estos, tienden a alcanzar un estado más estable. Existen muchas formas de corrosión, así como muchos métodos para poder controlarla. Un programa exitoso de control de la corrosión utiliza tantos métodos disponibles como sea necesario y práctico.

Los recubrimientos protegen de la corrosión al acero proporcionando: (1) una barrera contra los electrolitos, (2) una inhibición química a las reacciones corrosivas o (3) protección galvánica (catódica). Sin considerar el mecanismo protector en particular, la película protectora debe adherirse bien y poseer otras propiedades necesarias.

Los tres mecanismos principales de curado del recubrimiento son la oxidación de aceites secantes, la evaporación de un solvente o del agua, y las reacciones químicas. Los recubrimientos que no son modificados durante el curado son llamados no-convertibles; los que sufren una reacción química se llaman convertibles.

Existen muchos distintos sistemas para la protección de superficies de acero contra la corrosión. La selección apropiada de un sistema para una estructura en particular debe estar basada tanto en el ambiente que se enfrentará como el tipo del servicio que se llevará a cabo. El sistema de recubrimiento proveerá la

protección deseada sólo si es aplicada correctamente a una superficie suficientemente preparada.

Con las muchas limitaciones puestas sobre las formulaciones para recubrimientos, los productos modernos de alto rendimiento deben ser escogidos cuidadosamente y aplicados a superficies apropiadamente preparadas, para obtener la máxima eficiencia.

## Capítulo 2: Introducción

La tecnología en la formulación, fabricación y desempeño de recubrimientos protectores tipo pintura ha tenido un desarrollo muy significativo en los últimos años, ofreciendo a los usuarios de la industria opciones muy atractivas de protección anticorrosiva para sus activos, que le permiten recurrir a sistemas de diferente índole que efectivamente protegen al metal por periodos muy prolongados de tiempo y además imparten una imagen estética mucho más agradable que los recubrimientos convencionales.

La accesibilidad de materias primas más sofisticadas han sido de los elementos prácticos más valiosos para la formulación, ofreciendo alternativas muy ventajosas que permiten darle a los productos terminados características extraordinarias tanto su comportamiento, manejo y funcionalidad.

El elemento clave es sin lugar a dudas el desarrollo de novedosas resinas modificadas que imparten propiedades específicas al recubrimiento y le dan sus características propias de resistencia y apariencia. No debemos pasar por alto el trabajo especializado de los formuladores quienes deben de poner en juego tanto los recursos que les ofrecen los proveedores de materias primas novedosas como sus conocimientos, ingenio e imaginación para lograr el equilibrio de propiedades para conseguir la formulación más adecuada que respondan a las necesidades de la industria.

Desde tiempos muy remotos el ser humano ha estado buscando comodidades para su existencia, para esto se ha basado en su sabiduría e intuición, muchas de esas comodidades las ha logrado gracias al uso de los metales, que hoy en día forman parte de su entorno e inclusive ha establecido una dependencia a tal punto que su desarrollo sería imposible, sin el uso de metales.

Todos los días estamos en contacto con el uso de los metales como por ejemplo en los grifos del agua, en los utensilios de la cocina, etc. Inclusive nuestra casa así como todos los demás edificios, tienen una estructura de acero la cual actúa como un esqueleto que conforma, soporta y da resistencia a la construcción. Para el traslado a nuestro trabajo, lo hacemos usualmente en un medio de transporte fabricado en su gran totalidad de metal: autobús, autos, etc.

La industria en casi toda su instalación productiva está constituida de diversos metales, La Industria de Petróleo y Gas es un ejemplo de esto, grandes hornos, columnas de procesos operando a presiones y temperaturas diversas, tuberías que transportan diversos líquidos, tanques de almacenamiento, bombas, etc. El aumento en la industrialización en nuestro país que se presenta en los últimos años trae también un aumento en los problemas de corrosión.

Es por esto que se requiere que los metales sea estables y que duren muchos años. Pero, sabemos que las cosas no son así. Los metales se degradan con el tiempo y por lo tanto, dejan de ser funcionales, perdiendo sus propiedades decorativas o mecánicas. Algunos simplemente se disuelven en su totalidad.

Siempre se está tratando de evitar que los metales vuelvan a su estado original (es decir, de metal combinado con algunos otros elementos activos tales como el oxígeno, azufre y cloro). Además, los metales, bajo ciertas condiciones, pueden formar grietas y romperse catastrófica y súbitamente al estar sujetos simultáneamente a un medio agresivo y a un esfuerzo mecánico moderado (corrosión bajo tensión). También pueden ser atacados muy localizadamente en forma de pequeños agujeros profundos que avanzan rápidamente, llegando a perforar gruesas secciones de estructuras metálicas, haciendo a éstas deficientes en sus propiedades mecánicas e inutilizándolas por completo (corrosión por picaduras).

Los metales también pueden sufrir de fatiga con la consecuente pérdida de resistencia cuando son sometidos a esfuerzos periódicos (corrosión, fatiga) o fragilizarse súbitamente y ser inoperativos. Es entonces precisamente cuando todos los conocimientos que se tienen de la lucha contra la corrosión deben ser aplicados para que un metal o aleación perdure más años en servicio, sin transformarse rápidamente en formas combinadas (óxidos, sulfuros, etc.) o en sistemas degradados localizadamente que no cumplan con los requisitos exigidos a los metales o aleaciones originales, tales como resistencia, dureza, lustre, apariencia, etc.

Es muy importante indicar que la estabilidad de los metales está determinada por lo que sucede en la interfase entre el metal y el medio agresivo y que, en muchos casos, la resistencia interna de un metal está influenciada a largo plazo por los sucesos que ocurren en esta interfase. La mayor parte de las degradaciones que un metal sufren en su apariencia o en su resistencia mecánica comienza en su superficie.

El presente trabajo presenta la protección contra la corrosión de estructuras de acero por sistemas de pinturas.

## Capítulo 3. Tecnología de Pinturas

### 3.1. Definición de pintura

ASTM D 16-84: Composición Líquida pigmentada que se convierte en una película sólida y opaca después de su aplicación en capa fina.

Es un compuesto químico que al aplicarlo sobre una superficie forma una película seca, con la función de proteger y embellecer

Las pinturas (revestimientos orgánicos) para recubrimiento de estructuras son mezclas constituidas, en general, por pigmentos, vehículos e inhibidores anticorrosivos que al secarse (a través del proceso de curado o secado) , forman una película sólida impermeable que se emplea en sistemas de recubrimiento para proteger superficies metálicas contra agentes corrosivos, además de proporcionar una apariencia determinada. Estas pinturas puede ser de uno, dos componentes o tres componentes, las de un componente se presentan en forma líquida y se aplican por aspersion; las de dos o tres componentes pueden estar constituidas por dos líquidos o por un componente líquido y otro sólido que se aplican por aspersion a alta presión.

### 3.2 Clasificación

Las pinturas pueden clasificarse de muy diversas maneras, atendiendo a varios factores:

1. Según el medio ambiente en que se emplean serán
  - a) para interiores
  - b) para exteriores.
2. Según el grado de brillo en:
  - a) mate,
  - b) semimate,
  - c) brillante.
3. Según las condiciones de secado en:
  - a) secado al aire o sea aquellas que pueden secar en un lapso razonable a una temperatura de 25°;
  - b) secado forzado, las cuales pueden secar completamente a una temperatura máxima de 100°, y
  - c) horneado, las cuales secan a más de 100°C.
4. Según el medio de aplicación:
  - a) con brocha,
  - b) con aerógrafo
  - c) por inmersión, etc.

5. Según el uso general a que se destinan en:
  - a) industriales,
  - b) para usos domésticos,
  - c) para usos misceláneos.
6. Según la manera en la cual endurecen:
  - a) secado por oxidación,
  - b) secado por termo polimerización,
  - c) secado por evaporación,
  - d) secado por agente curador, etc.
7. Según el uso específico a que se destinan en.
  - a) marinas,
  - b) para maquinaria,
  - c) para pisos,
  - d) para implementos agrícolas,
  - e) para aparatos domésticos blancos
8. Las pinturas para recubrimiento de estructuras metálicas, de acuerdo con su uso, se clasifican en primarios y acabados.
  - a) Primario o base. Es una pintura específicamente formulada con agentes inhibidores de la corrosión, es la primera de dos o más capas de un sistema del recubrimiento, que se utiliza para protección anticorrosiva de superficies metálicas, sobre las que se aplican directamente. Ha de proporcionar máxima resistencia al ataque de los agentes atmosféricos y tener buena adherencia con la superficie base o sustrato, además de ser compatible con el acabado.
  - b) Acabado. Es una pintura específicamente formulada con agentes inhibidores de la corrosión; es la última capa de un sistema de recubrimiento para protección anticorrosiva, la cual ha de proporcionar la máxima resistencia al ataque de los agentes atmosféricos, además de tener buena adherencia y ser compatible con la capa subyacente (primaria) o base (sustrato).



Figura 3.1. Usos de las pinturas

### 3.3 Componentes de los recubrimientos y sus funciones

Los recubrimientos orgánicos poseen cuatro componentes básicos:

- Aglutinante (Resina),
- Pigmento
- Solvente
- Aditivos.

No todos los recubrimientos contienen los cuatro componentes. Hay recubrimientos libres de pigmento y de solvente (100% sólidos), pero nunca los hay libres de aglutinante.

Algunas veces los recubrimientos son separados en dos componentes, al combinar el solvente y el aglutinante disueltos en lo que se llama el vehículo o componente líquido. El solvente es llamado vehículo volátil y el aglutinante, vehículo no volátil. El pigmento insoluble es la porción más pesada y sólida que tiende a asentarse en el fondo del recipiente.

Dado que sólo el solvente del recubrimiento se consume durante el curado, el aglutinante y el pigmento remanentes son llamados a veces los sólidos (del recubrimiento). Estos afectan directamente el espesor de la película de recubrimiento.

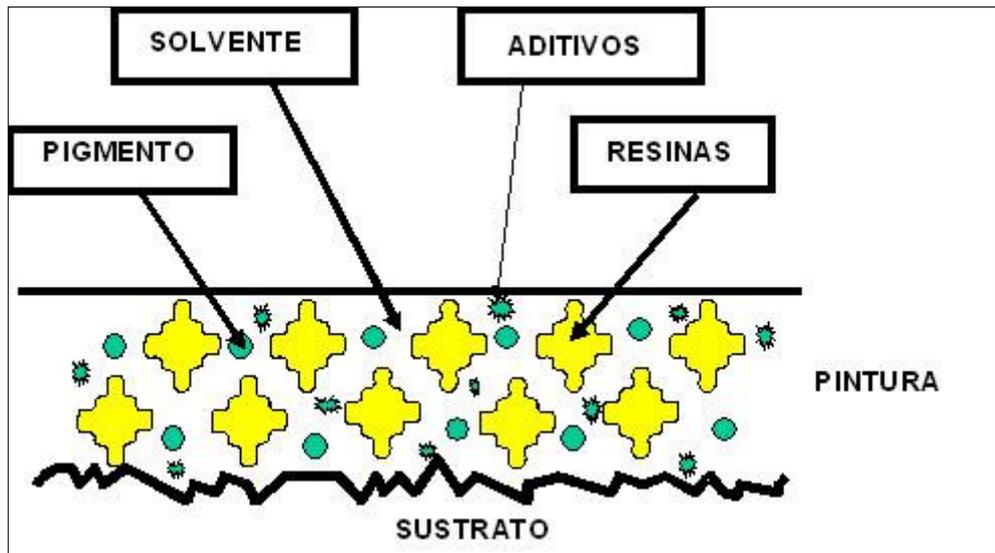


Figura 3.2. Componentes de las pinturas

**3.3.1 Aglutinante (Resina).** El aglutinante a menudo llamado resina, es el componente formador de la película en los recubrimientos. Es por lo general un polímero sólido de alto peso molecular (una gran molécula con unidades repetitivas) en la película curada. Ejemplos de resinas comunes son el alquídicos, acrílicos, vinílicos, celulósicos, epóxis, poliuretánicos, silicónicos.

El aglutinante humedece las partículas de pigmento y las aglutina unas con otras y a estas con el sustrato. El aglutinante es el responsable de la mayoría de las propiedades del recubrimiento. Así, los tipos genéricos de recubrimiento son generalmente clasificados según sus aglutinantes.

Las propiedades más importantes aportadas por el aglutinante son:

- Mecanismo y tiempo de curado
- Desempeño en diferentes ambientes
- Desempeño en diferentes sustratos
- Compatibilidad con otros recubrimientos
- Flexibilidad y fortaleza
- Tolerancia climática
- Adherencia
- Facilidad de aplicación y mantenimiento.

**3.3.2 El solvente.** Los solventes orgánicos son utilizados para disolver materiales y reducir la viscosidad del recubrimiento, a fin de permitir una aplicación más sencilla. Ellos también controlan el secado de la película húmeda aplicada y la adhesión y durabilidad de la película ya seca. Los aglutinantes que son menos solubles requieren solventes más fuertes o una mayor cantidad de solvente para lograr disolverlos. Las mezclas de solventes generalmente se usan para controlar la evaporación y la formación de la película de protección y son a menudo recomendados por los fabricantes de recubrimientos para obtener una combinación de las propiedades arriba descritas.

Los solventes orgánicos más comunes incluyen en su formulación:

- Cetonas (es decir metil-etil-cetonas)
- Esteres
- Aromáticos (es decir tolueno, xileno)
- Hidrocarburos alifáticos (aguarrás mineral)

**3.3.3 El pigmento** El pigmento es la porción sólida más pesada del recubrimiento. Los pigmentos naturales (arcilla de caolín, silicato de magnesio, carbonato de calcio) tienden a ser más resistentes a la luz solar ultravioleta que los más resistentes pigmentos orgánicos artificiales. Los pigmentos pueden brindar las siguientes características.

- Poder cubriente
- Color
- Resistencia a la corrosión
- Propiedades de la pintura húmeda
- Resistencia climática y a la humedad
- Nivel de brillo
- Propiedades de reforzamiento.

**Poder Cubriente** La función principal del pigmento es proporcionar poder cubriente para ocultar al sustrato protegiendo al aglutinante orgánico del deterioro causado por la radiación ultravioleta del sol. El dióxido de titanio es un pigmento que tiene buen poder cubriente y es el más usado para brindar esta característica en los recubrimientos blancos o muy claros. Los pigmentos más oscuros son por sí mismos suficientemente opacos.

**El Color.** Los pigmentos pueden proporcionar una variedad de tonos de colores para una gran variedad de propósitos. Los pigmentos naturales minerales son usualmente los más estables cromáticamente frente a la luz solar que los pigmentos orgánicos sintéticos.

**Resistencia a la Corrosión.** Los pigmentos de plomo y de cromato fueron empleados muy ampliamente como pigmentos en recubrimientos inhibidores. Hoy son escasamente usados debido a consideraciones ambientales y de salud que se vuelven cruciales al momento de retirarlos durante labores de mantenimiento. Los pigmentos inhibidores de plomo y cromato muy intensamente usados en el pasado incluyen:

- Plomo rojo
- Plomo Blanco
- Cromato de Zinc
- Cromato de estroncio
- Silico-cromato básico de plomo

Los pigmentos alternativamente usados hoy son:

- Óxido de zinc
- Fosfato de plomo
- Molibdato de zinc
- Borosilicato de calcio
- Metaborato de bario

Los recubrimientos ricos en zinc brindan una protección catódica al acero.

**Propiedades de la Pintura Húmeda.** Los pigmentos secundarios o de relleno (talco, silicato, etc.) son empleados para controlar la viscosidad, la nivelación de la capa húmeda y el asentamiento. Estos pigmentos poco costosos brindan relativamente poco poder cubriente.

**Resistencia Climática y a la Humedad.** Además de proteger al aglutinante de acabado de los efectos destructivos de la luz solar, los pigmentos otorgan espesor a la barrera y fuerzan a la humedad que penetra a detenerse en aquella. Esto es especialmente cierto en pigmentos que tienden a superponerse unos sobre otros, como las tejas de un tejado (como el óxido de hierro micáceo). Estos pueden incrementar en gran medida la vía que los electrolitos deben atravesar para alcanzar el sustrato (protegiéndolo de su acción corrosiva).

**Nivel de Brillo.** La relación pigmento-resina, generalmente expresada en concentración de volumen del pigmento (PVC) puede variar ampliamente. Puede haber poco pigmento o no haberlo, o el PVC puede aproximarse a un valor denominado concentración crítica de volumen de pigmento (CPVC) : los recubrimientos que alcanzan el CPVC o que están ligeramente por debajo de él, usualmente poseen una menor impermeabilidad pero una mayor resistencia a los burbujes o a las ampollas. Sin embargo, si se excede el CPVC hay suficiente aglutinante como para humedecer las partículas de pigmento completamente y aglutinarlas al sustrato.

Manteniéndose otras cosas iguales, mientras menor sea el PVC (mientras mayor sea el contenido de aglutinante), mayor será el brillo. Así, las áreas ricas en resina de los recubrimientos de acabado suelen presentar “puntos calientes” (zonas más brillantes). Asimismo, manteniéndose otras cosas iguales, mientras más fina sea la dispersión del pigmento en el vehículo (antiguamente llamada la “finura del grano”), mayor será el brillo.

### 3.3.4. Los Aditivos

Sustancias químicas usadas en la composición de una pintura en cantidades relativamente pequeñas con el propósito de contribuir con un beneficio significativo a la facilidad de fabricación, estabilidad de la pintura en el envase, facilidad de aplicación, mejora la calidad o apariencia de la película aplicada. Las funciones principales de los aditivos son:

- Dispersantes: Facilitan la desaglomeración de las partículas del pigmento y evitan la re-aglomeración del pigmento a través de repulsión electrostática y/o impedimento estérico. Usualmente se gráfica una curva para determinar la cantidad óptima de dispersante en el sistema.
- Tensoactivos: Se usan en pequeñas cantidades en pinturas látex para ayudar en la humectación del pigmento y del sustrato. Tienden a la formación de espuma durante el proceso de producción y durante la aplicación
- Despumantes / Antiespumantes: Se usan en la mayoría de pinturas por la presencia de dispersantes y tensoactivos en el sistema que contribuyen a la generación de espuma. Estos productos funcionan a través de la reducción de la tensión superficial en la interfase líquido-aire
- Coalescentes: Se usan para ayudar en la formación de la película funcionando como un plastificante que facilita el movimiento y la deformación de las partículas del polímero promoviendo la unión de estas
- Biocidas: Previenen la formación de bacterias y de hongos durante el almacenamiento y una vez aplicada la pintura
- Espesantes: Se usan para obtener la viscosidad deseada de la pintura, controlar la separación y sedimentación
- Reológicos: que previenen el asentamiento, la formación de escamas u otros deterioros de la pintura húmeda durante su almacenamiento.
- Secadores para acelerar el proceso de curado de recubrimientos al óleo.
- Plastificantes para darle flexibilidad a la película curada.
- Anti moho que previenen la formación de moho en la película seca, etc.

Ejemplos de aditivos que pueden ser incorporados a la fase sólida o incluso aplicados o rociados a la película aun húmeda ya aplicada son:

- Agregados finos para proporcionar una superficie antideslizante
- Limaduras de vidrio para reflejar la luz

### **3.4. Fabricación de una pintura**

En este capítulo se examinan brevemente las operaciones de fabricación de las pinturas. La disposición de las plantas de pinturas y el manejo del equipo, y las técnicas de fabricación requeridas para la producción de pinturas,

En los últimos años se ha dado gran importancia a las fábricas de una sola planta para la fabricación de pinturas. La tendencia moderna en el proyecto de las plantas industriales está dirigida a la construcción de edificios de una sola planta por las siguientes razones: costos de construcción más bajo y supervisión adecuada, eliminación de aglomeración en los montacargas y mayor flexibilidad para los futuros cambios de la disposición de las plantas. Los edificios de varias plantas tienen la ventaja, sin embargo, de que las mezclas y las cargas de los molinos pueden hacerse en la tercera planta, la molienda en la segunda y la dilución en la primera, fluyendo los materiales hacia abajo por gravedad.

Para casi todas las operaciones se requiere buena ventilación y buena iluminación, preferentemente la luz diurna.

### **3.4.1 Pesado de las Materias Primas**

Se requiere muy poca mano de obra para recibir y almacenar disolventes, aceites y soluciones de resinas, y es muy sencillo trasladar estos líquidos a las plantas para el proceso de fabricación. La mayoría de las plantas están equipadas con bombas que llevan todos los líquidos desde los depósitos de almacenamiento a un colector central para medirlos o pesarlos. Los disolventes no son difíciles de medir, pero generalmente es más sencillo pesar la mayoría de los líquidos viscosos, tales como soluciones de resinas y barnices.

Los medidores y las balanzas modernas, combinados con muchos aparatos de control, tales como registros de cinta o lecturas de básculas automáticas impresos en tickets de las partidas, proporcionan gran eficiencia a la fábrica. Los operarios normalmente son más cuidadosos y exactos cuando miden los ingredientes de las formulaciones.

**3.4.2. Empastado (base de molienda – premezcla):** En esta primera etapa realiza un mezclado preliminar de los pigmentos con vehículo suficiente para lograr una buena humectación y obtener una pasta que tenga la consistencia necesaria y correcta para ser dispersada.

En esta etapa se utiliza un disco a alta velocidad (también llamado cowless)

**3.4.3. Dispersión o molienda:** La incorporación de los pigmentos a los recubrimientos de superficies requiere considerables conocimientos e inversiones costosas en equipos de dispersión. Cada nuevo pigmento y vehículo presenta un problema para hallar la mejor técnica de dispersión. Los diferentes molinos requieren relaciones completamente diferentes de pigmentos, sólidos de vehículos y volátiles, para la máxima eficiencia de dispersión.

Estas dispersiones de pigmentos se llaman también bases de molienda, pastas de pigmentos o, con frecuencia, únicamente bases o pastas. El contenido del pigmento es el mayor posible, conforme a la buena eficiencia de dispersión en cada tipo de molino empleado y a las características del sistema pigmento-vehículo que se considera. Por supuesto, un elevado contenido de pigmento permite mayor flexibilidad de formulación cuando se utilizan bases de molienda en los recubrimientos de superficies.

Algunos molinos tales como los de bolas, no necesitan premezclado del pigmento y del vehículo. Los ingredientes se cargan simplemente en el molino y éste se pone en marcha,

Desde el punto de vista de la ingeniería de las pinturas la molienda es un término mal usando, el término correcto debería ser dispersión o defloculación, ya que la partícula no se rompe sino se dispersa.

Las partículas de los pigmentos generalmente se encuentran aglomerados y esto se debe a varias razones como:

- Factores de proceso durante su fabricación
- Fuerzas de compactación durante el almacenamiento.

La parte inicial y de mayor costo en tiempo y mano de obra es la dispersión de los pigmentos. Para que el pigmento se disperse correctamente deben ocurrir los siguientes procesos:

- Mojado de toda la superficie del pigmento con vehículo.
- Desagregación de los aglomerados hasta el tamaño de partícula especificado.
- Estabilización de las partículas con el vehículo para prevenir que se reagrupen.

La siguiente figura nos ilustra esquemáticamente la dispersión de un pigmento

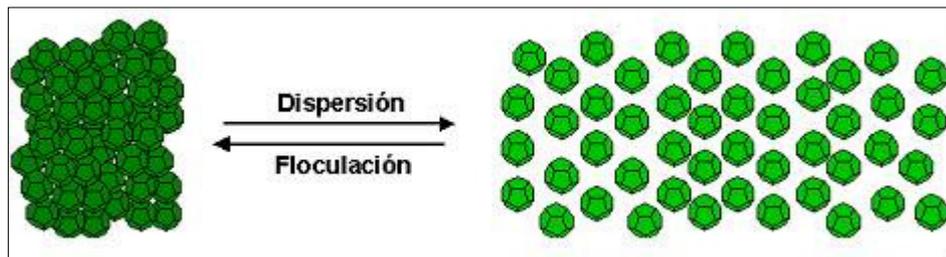


Figura 3.3. Dispersión de un pigmento

Para la dispersión o molienda de los pigmentos se emplean diferentes equipos, según conveniencia o disponibilidad: los dispersores cinéticos ("Cowles"), los molinos de esferas, ya sea verticales u horizontales, los molinos de bolas o los molinos de cilindros

El proceso de dispersión comienza con la carga del vehículo, el agregado de solventes y aditivos con el agitador girando a baja velocidad. A continuación se agregan sucesivamente los diferentes tipos de pigmento, empezando con los de más difícil mojado. A medida que se va espesando la masa, se aumenta la velocidad del dispersor para facilitar la incorporación de la totalidad de los pigmentos y cargas minerales.

La dispersión continúa por 15 a 20 minutos, y debido a la fricción interna la temperatura de la masa tiende a aumentar, lo cual en forma controlada, resulta beneficioso para el proceso.

Cumplida esta etapa inicial, la dispersión continúa en el equipo adecuado según cada caso individual, por ejemplo podrá utilizarse un molino de esferas, ya sea vertical u horizontal, hasta lograr completar la dispersión, lo que se verifica midiendo el tamaño de partícula, el nivel de desarrollo del color y el poder de teñido.

#### 3.4.3.1. Medios de dispersión

##### **Cowless**

Una Cowless consiste esencialmente en un disco aserrado con bordes alternados montado en un eje de alta rotación que está colocado verticalmente en un tanque cilíndrico.

Partiendo de esto el disco puede tener muchas modificaciones en cuanto a los bordes los cuales pueden tener varias formas, para

provocar diferentes efectos durante su rotación, e inclusive pueden ser de varios materiales, (acero, caucho, teflón, etc)  
Los discos se comercializan en varios tamaños, para diferentes unidades de producción o inclusive para maquinas de laboratorios, la siguiente figura ilustra la posición normal del disco dispersor en el tanque en relación al diámetro "D".

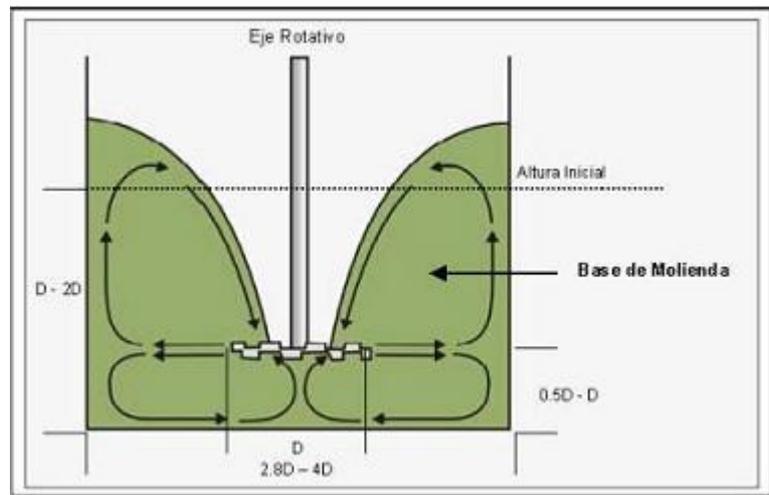


Figura 3.4. Dispersador de alta velocidad



Figura 3.5. Proceso de dispersión

## Molinos de rodillos o tricindrico

Los molinos de rodillos realizan una acción trituradora y cortadora en los aglomerados semipastosos. Los molinos que más se emplean en la industria de la pintura tienen tres y cinco rodillos montados sobre ejes horizontales. Los tres rodillos se montan en un plano horizontal, mientras que los molinos con cinco rodillos se montan angularmente, verticalmente, o en una combinación de rodillos de molienda horizontales o verticales. Estos rodillos se montan sobre un pesado armazón diseñado de tal manera que mediante engranajes cilíndricos o cónicos ajustados a mano se pueden, colocar los rodillos para un contacto holgado o estrecho. Cada rodillo gira con una velocidad diferente. El primer rodillo alimentador es el más lento y cada uno posterior se mueve más rápidamente, realizando una acción de corte o de fricción que rompe los aglomerados. Los molinos de tres rodillos someten las pastas a dos acciones de corte y los de 5 rodillos a 4 cortes. Por medio de una cuchilla ajustable que corre a lo largo del último rodillo la pasta dispersa es rascada y echada sobre una plancha de descarga.

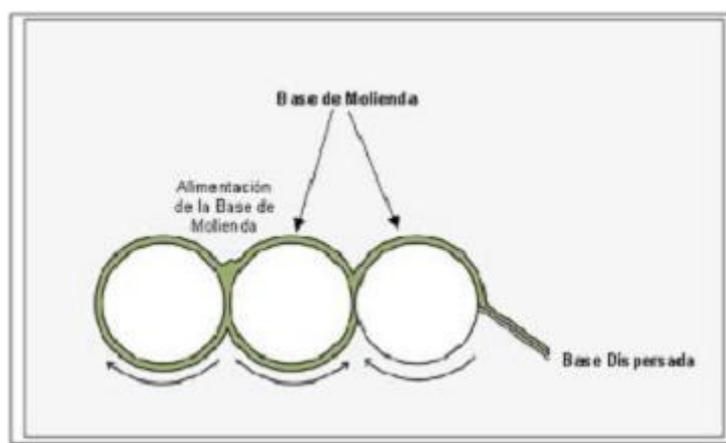


Figura 3.6 Molino Tri-cilíndrico

Los molinos de rodillos son más útiles para moler pequeñas partidas de pigmentos diferentes, ya que se pueden limpiar fácilmente al cambiar de un color a otro. Son también eficientes en operaciones de gran producción, con tal que no se requiera una dispersión extremadamente buena. La molienda en molinos de rodillos es bastante económica cuando se puede obtener una dispersión satisfactoria en una o dos pasadas sobre los rodillos. Sin embargo, cuando se requieren más de dos pasadas, es evidente que los costos de molienda aumentarán rápidamente. Los molinos de rodillos tienen además la desventaja de que quedan expuestas al aire grandes superficies de la pasta que se mezcla. Las pérdidas de volátiles son altas y el material está expuesto a recoger el polvo e hilos.



Figura 3.7. Molino Tri-cilindrico en operación

### Molinos de Perlas

Un proceso de dispersión en un molino de perlas consiste básicamente en bombear una mezcla homogénea de pigmento / vehículo (base de molienda) a través de una cámara cilíndrica (cámara de molienda) la cual contiene arena (perlas de una aleación de circonio y vidrio) sujeta a intensa agitación. Durante la permanencia en la cámara de molienda, la base de molienda asciende y pasa entre las partículas de perlas, y es sometida a una gran fuerza de cizallamiento produciéndose la dispersión, del pigmento, la base de molienda continua ascendiendo y luego pasa por un filtro donde se retienen las perlas y solo pasa la base de molienda.

Algunas veces (dependiendo del pigmento) es necesario pasar la base de molienda (a través de la cámara) más de una vez.

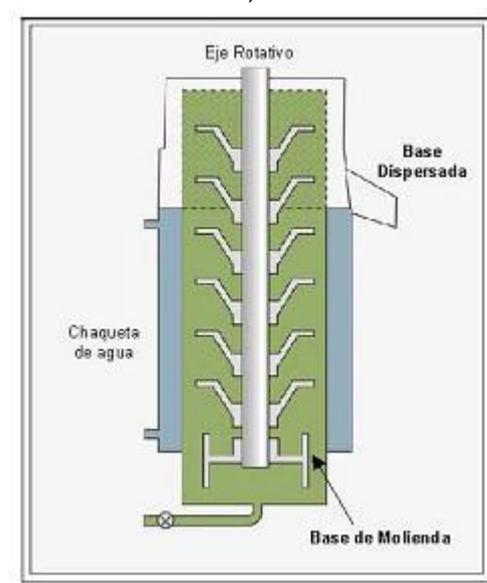


Figura 3.8. Molino de Perlas

## Molino de Bolas

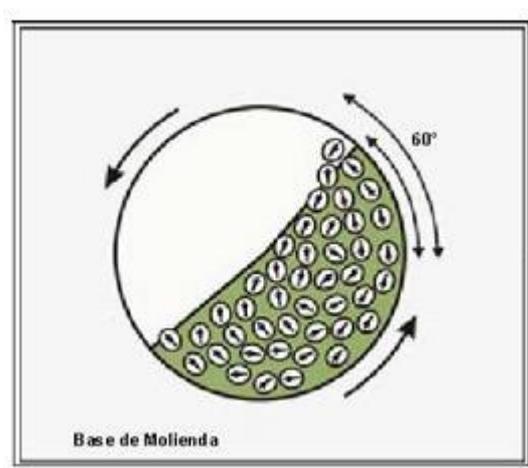


Figura 3.9. Molino de bolas

**3.4.4 Completado:** En esta etapa se lleva la base de molienda a una concentración más cercana al nivel que tendrá en la pintura terminada, estabilizándola y haciéndola más fácil de manejar, ya que por razones técnicas y económicas la dispersión de pigmento siempre se realiza a la mayor concentración posible. Para esta dilución se utilizan resina y solventes compatibles con la base de molienda y generalmente se incluyen aditivos que ayudan en la estabilización.

La base de molienda se transfiere a un tanque de dilución de capacidad adecuada, equipado con un agitador mecánico y un dispositivo de descarga. Con la pasta de molienda en agitación, se completa el agregado de los productos que componen la formulación, empezando con el vehículo, solventes y los aditivos líquidos. Generalmente se retiene una cierta proporción de los solventes a fin de realizar ajustes de consistencia en caso necesario

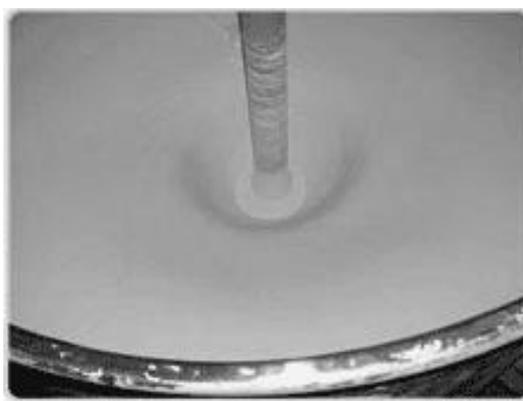


Figura 3.10. Proceso de completado

**3.4.5. Matizado:** Si el producto debe entonarse a un determinado patrón de color, se le agregan concentrados de pigmentos (pastas), empezando con los entonadores cuya necesidad es más obvia y reteniendo hasta el final los agregados pequeños que se manejan siempre con mucho cuidado, para no



pigmentos naturales y del método de obtención de los sintéticos. En ambos casos el valor final de distribución lo dan tratamientos posteriores (molido en seco o húmedo, micronizado, etc.).

No se trata de una verdadera molienda puesto que el pigmento viene con el tamaño de partícula requerido. Inicialmente hay en este proceso una humectación de la partícula (desplazamiento de aire, de gases o de agua y reemplazo por vehículo), luego una acción mecánica para desaglomerar, y finalmente ocurre la dispersión propiamente dicha, a fin de lograr que la separación adquiera carácter permanente.

En el caso de los barnices la etapa de dispersión de pigmentos no está presente.

### 3.6 Principios de Dispersión de Pigmentos

La dispersión de un pigmento en un ligante es una operación que requiere conocer las propiedades de ambos para elegir el método más adecuado y económico. El éxito de la operación depende del grado de humectabilidad del pigmento por el ligante .

Los pigmentos son sólidos (orgánicos o inorgánicos), finamente divididos, variando en ellos la forma de las partículas, la distribución de tamaño de las mismas y las fuerzas de cohesión que tienden a aglomerar dichas partículas en otras mayores.

Las partículas de pigmento tienen humedad (a) en su superficie. Dicha humedad debe ser reemplazada, durante la dispersión, por el vehículo (b), eliminando el aire y la humedad superficial (c). Se deben eliminar los agregados (d), a fin de que el pigmento quede adecuadamente dispersado u orientado en el seno de la pintura.

La propiedad que regula este remplazo se denomina "humectabilidad" o "mojabilidad" del pigmento, y varía mucho de uno a otro material. Se los puede clasificar, desde este punto de vista, en hidrófilos o hidrofílicos neutros e hidrófobos.

Los pigmentos hidrófilos se mojan más fácilmente por el agua que por los vehículos orgánicos. La mayor parte de los pigmentos inorgánicos se encuentran dentro de este tipo, mientras que los colorantes orgánicos son hidrófobos, por lo que se requiere el uso de aditivos con grupos polares que faciliten esta operación, especialmente teniendo en cuenta que también los vehículos varían mucho en su capacidad para "mojar" y dispersar los pigmentos.

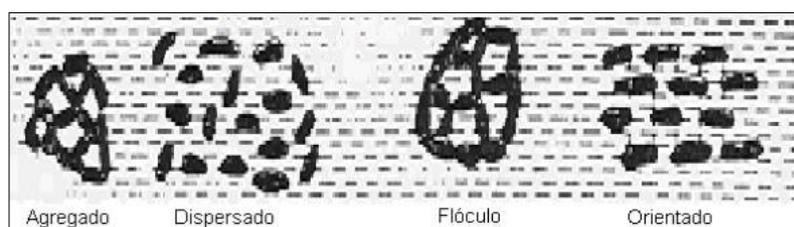


Figura 3.12. Dispersión de un pigmento

La tensión interfacial es la fuerza que retarda la "mojabilidad" de los pigmentos durante la molienda. Esa tensión interfacial se puede reducir mediante el uso de aditivos que actúan como agentes tensioactivos, surfactantes o humectantes, los que favorecen el contacto entre líquidos y sólidos por la orientación de sus grupos polares (el hidrófilo hacia el pigmento, el hidrocarbonado hacia el vehículo).

El efecto de la disminución de la tensión superficial permite al vehículo o ligante penetrar en los aglomerados de las partículas de pigmento cohesionadas, desalojar el aire, separar las partículas y rodear a cada una con el vehículo.

Algo similar ocurre respecto de las relaciones entre la pintura líquida y el sustrato. La relación entre la tensión superficial del líquido (pintura) y el sustrato, aspecto que influye en la facilidad de aplicación y en la obtención de una película bien adherida, se representa en la figura siguiente. En ella (a) indica ángulo de contacto  $0^\circ$ , es decir mojabilidad perfecta; la tensión interfacial es muy pequeña. En (b) se tiene un ángulo de contacto menor de  $90^\circ$ , lo que indica buena humectabilidad; si el ángulo es superior a  $90^\circ$  la humectabilidad es mala (c) y si es de  $180^\circ$  no hay humectabilidad.



Figura 3.13. Tensión superficial

La ruptura de aglomerados provoca la dispersión uniforme de las partículas de pigmento en el seno del vehículo. Si la operación está optimizada se puede llegar a disgregar los aglomerados al tamaño que tengan las partículas individuales del pigmento.

Durante la dispersión se produce en primer término una humectación de la partícula que desplaza el aire, gases, agua, etc. que puede tener la partícula, reemplazándolo por vehículo (ligante + solvente).

En una segunda fase, por acción mecánica se produce la desaglomeración y por último la separación permanente. Esta separación permanente se logra por:

- El uso de aditivos tixotrópicos orgánicos o inorgánicos.

- El empleo de aditivos dispersantes que modifican la carga eléctrica de los pigmentos, tornándola uniforme.

De acuerdo a la eficiencia de estos aditivos dada por su acertada elección, clasificación, buena dispersión y calidad de los pigmentos, se producen durante el estacionamiento en el envase alguna de las condiciones que se muestran en la figura siguiente.

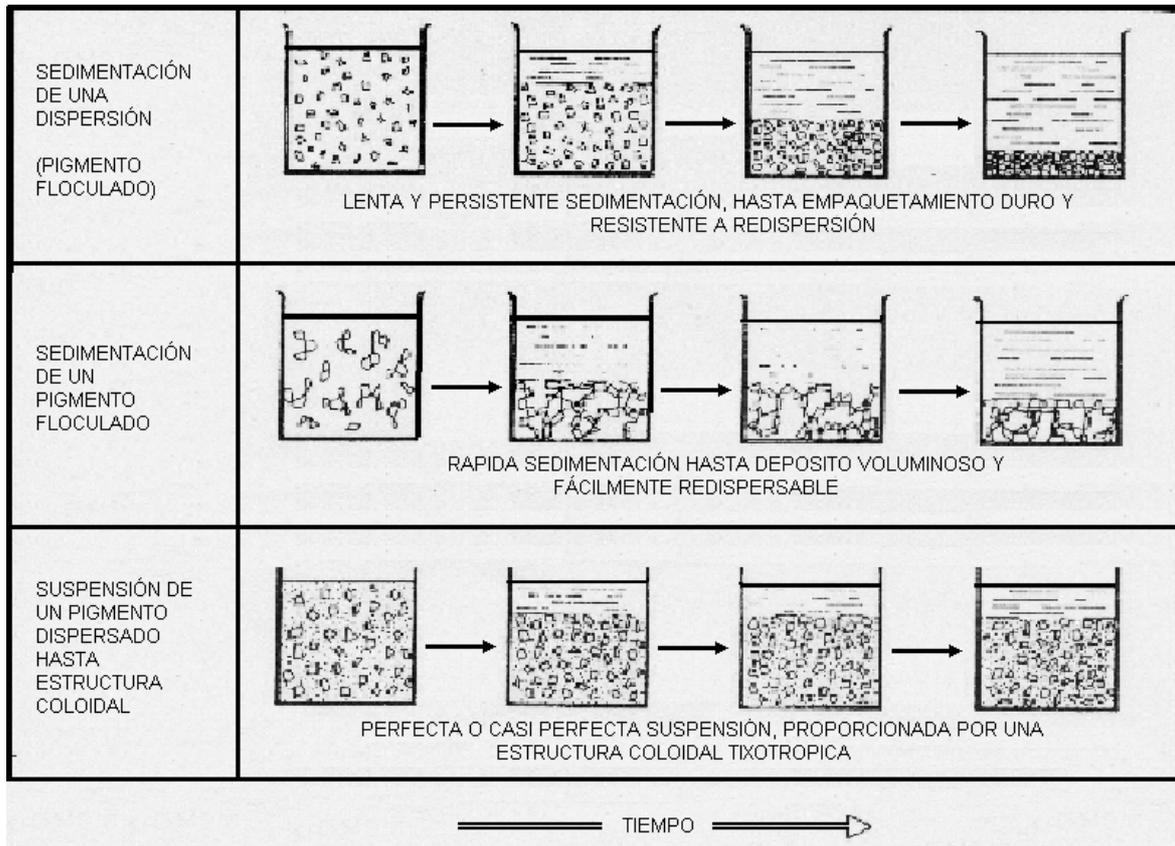


Figura 3.14. Sedimentación de un pigmento

El empleo de dichos aditivos (dispersantes y agentes tixotrópicos) que modifican la viscosidad y suspensión de los pigmentos, confiere estabilidad al producto terminado.

Un alto grado de dispersión influye de la siguiente manera en las propiedades de una pintura:

- Aumentan el brillo y la textura de la película.
- Aumenta el poder cubritivo (opacidad) de los pigmentos blancos y mejora la capacidad de teñido de los colores.
- Mejora la flotación de la partícula, disminuye la tendencia a la sedimentación y la tendencia al escurrimiento (sagging).
- Influye sobre la durabilidad de la película (por ejemplo en el caso de las películas antiincrustantes, una excesiva molienda del óxido cuproso produce resultados inferiores en cuanto a bioactividad, mientras que en una pintura anticorrosiva con diferentes pigmentos contribuye a mejorar su eficacia).

### 3.7. Opacidad y Poder Cubriente

La opacidad de una pintura es la capacidad de ocultación que tiene la película respecto de la superficie de base. Esto a su vez depende de las diferencias existentes entre el índice de refracción del pigmento y el mismo valor para el ligante.

Por ello los pigmentos pueden clasificarse en opacos, extendedores y cargas. Cada uno tiene una función específica en la película y, respecto de la opacidad, su influencia puede variar desde el poder de ocultación total hasta poder de ocultación nulo.

Los pigmentos varían ampliamente en tamaño y forma de partícula, mojabilidad o humectabilidad por los aceites y las resinas, reactividad química, efectos sobre la velocidad de secado de la película, absorción ultravioleta, etc. Por lo tanto su efecto sobre todas las propiedades de la película varían también considerablemente. La relación pigmento a ligante en volumen, varía ampliamente según el tipo de pigmento y el tipo de película que desea obtenerse (para interiores o exteriores, brillantes o mates, etc.).

Así en las pinturas brillantes, el pigmento reduce la permeabilidad a la humedad, si el contenido de pigmento se eleva (pinturas mate para interiores), la película se hace más permeable que la no pigmentada. Los pigmentos laminares, como la mica y el aluminio en polvo reducen la permeabilidad; los pigmentos voluminosos, como la diatomea silícea, tienden a producir una película porosa y permeable. Muchos pigmentos son nodulares; otros tienen forma acicular (de aguja). Estos últimos tienden a reforzar la estructura de la película.

Algunos pigmentos son organofílicos y por lo tanto fácilmente humectables por los aceites y las resinas, mientras que otros son organofóbicos, y su humectabilidad es dificultosa. Si el pigmento es mal humectado por el ligante, ésta será menos compacta, presentará puntos de ataque y será en consecuencia más permeable y menos resistente.

Muchos formadores de película contienen un pequeño porcentaje de ácidos grasos libres, y además otros ácidos pueden formarse como resultado de los procesos oxidativos que ocurren durante el secado. Algunos pigmentos son inertes con respecto a la acción de dichos ácidos, pero los pigmentos básicos, como el óxido de cinc, reaccionan con ella formando jabones metálicos. Los jabones de cinc dan películas duras, que aumentan la resistencia al agua.

Los pigmentos de índice de refracción elevado imparten opacidad a la película (pigmentos activos o cubrientes) mientras que los de índice de refracción más bajos dan películas transparentes. Cuanto más grande es la diferencia entre el índice de refracción de los pigmentos utilizados y la de la sustancia orgánica formadora de la película, mayor es la opacidad de la película.

En la figura siguiente se ha esquematizado la trayectoria de un rayo de luz que incide sobre una película transparente, no pigmentada (parte superior) que

recubre una base. Se observa que parte de la luz incidente se refleja especialmente, y parte es refractada.

Debido a que el índice de refracción de la película transparente es bajo ( $n = 1,55$ ) el rayo incidente será muy poco desviado, alcanzará la superficie de base y será reflejado por ésta, entrando dentro del campo visual del observador.

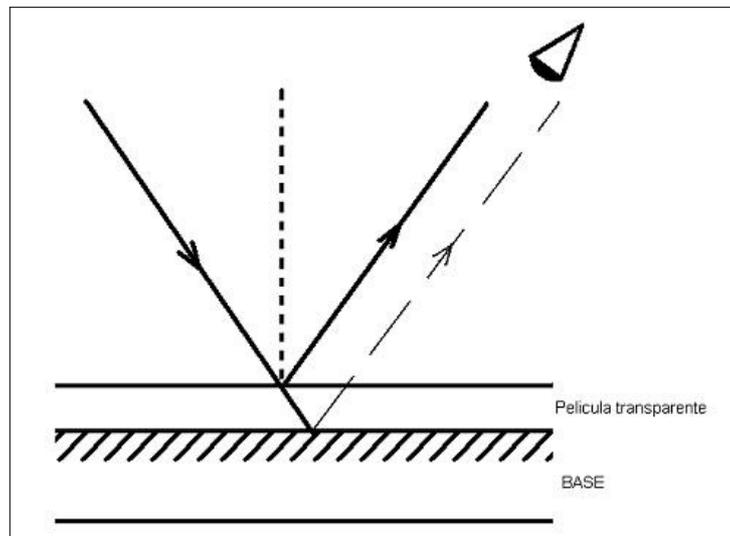


Figura 3.15. Trayectoria de un rayo de luz sobre una Película Transparente

Este percibirá las características de la base soporte. Un efecto similar se obtiene si la película contiene pigmentos extendedores cuyos índices de refracción ( $n = 1,5 - 1,6$ ) son similares a los del vehículo orgánico .

En la figura siguiente se esquematiza un rayo similar al anterior que incide sobre una película pigmentada con pigmentos opacos, cuyos índices de refracción son mucho mayores que los que corresponden al vehículo ( $n > 1,6$ ); en este caso el rayo refractado no alcanza la base soporte debido a múltiples reflexiones en la superficie del pigmento y sucesivas refracciones que hacen que la energía luminosa se extinga en el interior de la película. De esta manera el ojo del observador no podrá apreciar la base.

Desde el punto de vista de la resistencia al exterior, es importante destacar que el agente destructivo más importante es la radiación ultravioleta (UV), componente de la luz solar. La misma acelera la descomposición por oxidación de los aceites secantes, y degrada ciertos polímeros (por ejemplo la nitrocelulosa). Las películas no pigmentadas son muy sensibles a la acción UV.

La incorporación de pigmentos, tales como el óxido de cinc, que absorben dicha radiación, protege de la degradación al compuesto orgánico formador de la película.

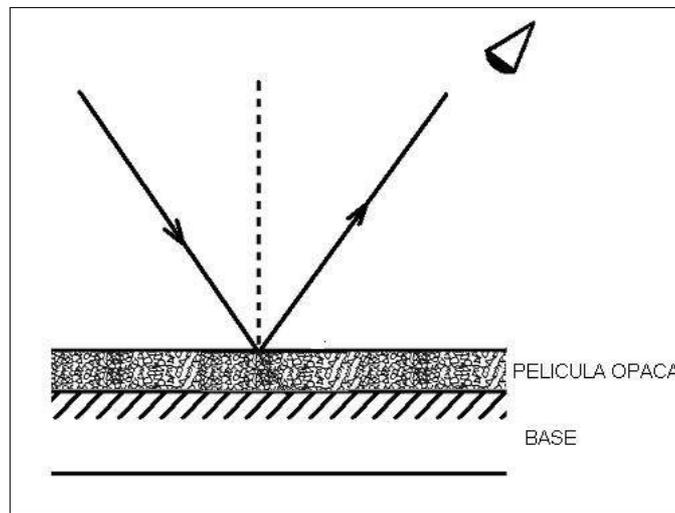


Figura 3.16. Trayectoria de un rayo de luz sobre una Película Opaca

### 3.8. Controles a las Pinturas

**% Sólidos:** Este método sirve para determinar el contenido de sólidos o material no volátil de un producto.

- ASTM D1644, Standard Test Methods Nonvolatile Content of Varnishes.
- ASTM D2369, Standard Test Methods for Volatile Content of Coating.

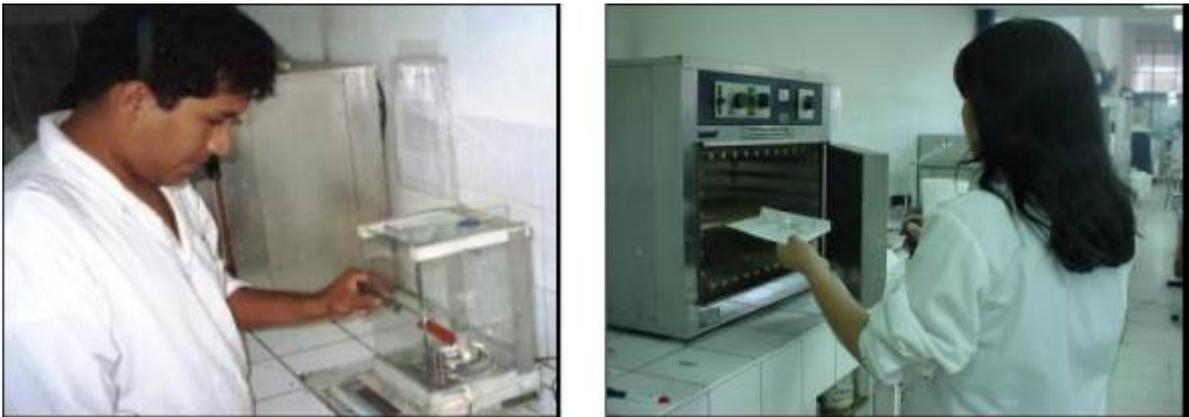


Figura 3.17. Obtención del % de sólidos de una pintura

**Densidad:** Este método describe el peso que ocupa un producto en un volumen determinado.

Equipo: Picnómetro

Unidades lb./gl

ASTM D1475 Standard Test Methods for Density of Paint, Varnish, Laquer and related products.



Figura 3.18. Obtención de la densidad de una pintura

**Viscosidad Brookfield:** Consiste en la medición del torque necesario para compensar la resistencia viscosa al movimiento inducido en un cilindro o disco rotario inmerso en el fluido cuya viscosidad se quiere determinar.

Equipo: RVT o LVD ASTM D 2196 Standard Test Methods for Rheological Properties of Non Newtonian Materials By Rotational ( Brookfield ) Viscosimeter.



Figura 3.19. Viscosímetro Brookfield

**Viscosidad Stormer:** Este método sirve para determinar la consistencia de las pinturas usando el viscosímetro stormer.

Equipo: VISCOSÍMETRO STORMER

ASTM D 562 Standard Test Methods for Consistency of Paints Using the Stormer Viscosimeter



Figura 3.20. Viscosímetro Stormer

**Viscosidad en copa Ford:** Este método consiste en medir el tiempo que demora en pasar un volumen determinado de muestra a través del orificio inferior de la Copa Ford.

Equipo: COPA FORD N° 4

ASTM D 1200 Viscosity of Paints, Varnishes, and Lacquers by Ford Viscosity Cup.



Figura 3.21. Copa Ford

**Fineza:** Consiste en medir el grado de dispersión de un producto al extender éste sobre las ranuras de la Regla de Fineza Hegman en forma uniforme.

Equipo: Regla de Fineza Hegman.

ASTM D1210 Standard Test Method for Fineness of Dispersion of Pigment - Vehicle Systems.



Figura 3.22. Medida de la fineza usando la regla Hegman

**Secado:** El presente método consiste en determinar los diferentes tipos de secado de pintura, barnices, lacas, resinas, etc al aire; aplicados al espesor correspondiente.

ASTM D1640, Test Methods for Drying, Curing or Film Formation of Organic Coating at Room Temperature

Existen tres tipos de secado:

**Secado al Tacto:** En forma paralela a la película se pasa suavemente la yema del dedo tocándola ligeramente y se considera secado al tacto cuando el dedo pasa libremente sin adherirse a la película.

**Secado al tacto libre:** Se ejerce moderada presión con la yema de los dedos sobre la película, se considera que tiene tacto libre cuando la condición pegajosa ya no existe, no se adhiere el dedo y la película se siente firme al tacto.

**Secado al Tacto Duro:** Cuando se ejerce presión máxima con el pulgar sobre la película y no se muestra estado de pegajosidad y la huella que queda en la película se desvanece lustrando el área.

**Repintado:** Una película se considera que pasa el repintado cuando una segunda mano de pintura o un recubrimiento superior puede ser aplicado sin que se desarrollen irregularidades en la película tales como levantamiento, pérdida de adhesión de la primera mano o arrugamiento de la película. Existe repintado máximo y mínimo.

**Chorreamiento (Sagging):** Este método sirve para determinar el espesor al cual la pintura aplicada, verticalmente no se descuelga (chorrea).

**Tiempo de vida útil:** Consiste en medir el tiempo en el que puede ser utilizado un producto terminado catalizado ( es decir aquellos productos de mas de 1 componente). Tomando como tiempo final cuando el producto ya no puede ser aplicado.

**Brillo:** Este método sirve para determinar el grado de refractancia de los diferentes recubrimientos de superficie.

EQUIPO: Medidor de brillo Sheen tri-microgloss

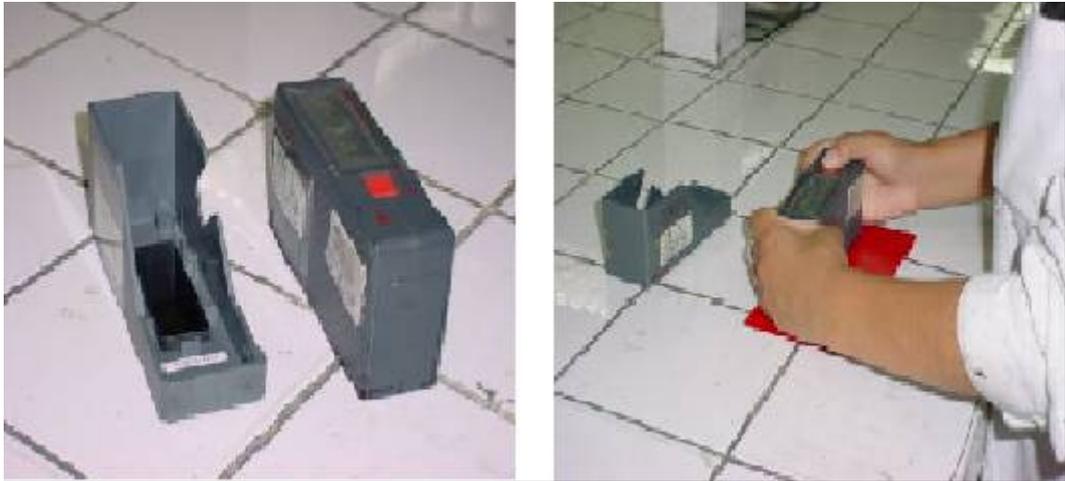


Figura 3.23. Medida del Brillo de una pintura

**Color:**

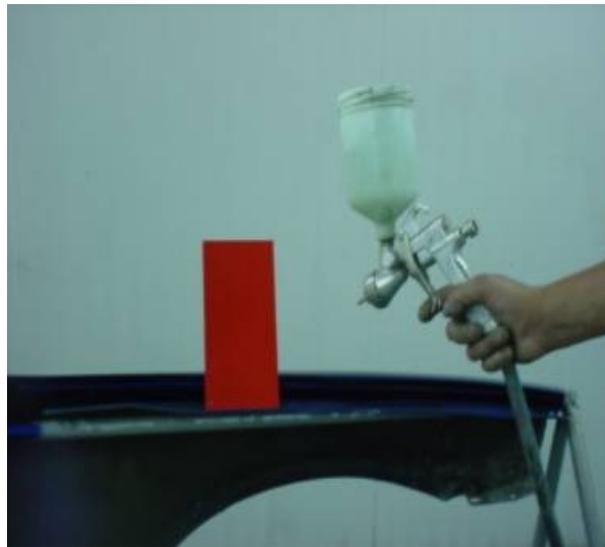


Figura 3.24. Aplicación de una pintura para la determinación del color

**Otros Controles y evaluaciones durante la formulación:**

**A) Adhesión por Cuchillas :** El método consiste en determinar el grado de adherencia de película seca de pintura sobre sustratos.

**Método 1:** (para espesores de película seca mayores o iguales a 5 mils)  
ASTM D3359, Standard Methods for Measuring Adhesion by X Cut Tape Test.

Hacer dos cortes en la superficie cada una de 40 mm que se intercepten formando un ángulo de entre 30° y 45° ejerciendo la misma presión a lo largo del corte con un movimiento constante

- 5A: 0% de área afectada. (100% adherencia).  
No remoción de la pintura
- 4A : Remoción de un trazo a lo largo de las intersecciones.
- 3A: Remoción de la película a lo largo de los cortes en 1.6 mm.
- 2A: Remoción de la película a lo largo de los cortes en 3.2 mm.
- 1A: Remoción de la mayoría del área del corte X.
- 0A: Remoción del área total y alrededores del área de X (corte).

**Método 2: ( para espesores de película seca menores a 5 mils )**

ASTM D3359, Standard Methods for Measuring Adhesion by Tape Test.

Consiste en realizar cortes con el equipo Cross Cut Tester y con la ayuda de una cuchilla sobre la superficie pintada a evaluar .

Realizar los cortes con la ayuda de una cuchilla ejerciendo suficiente presión sobre el sustrato.

Los cortes son realizados en forma cruzada ( ángulo de 90° ), después del cual se coloca una cinta adhesiva sobre los cortes.

Al final se jala la cinta rápidamente a un ángulo de 180 grados.



Figura 3.25. Medida de la adhesión (Adhesión por cuchillas)

- 5B : 0% de área afectada. (100% adherencia)
- 4B : 5% de área afectada.
- 3B : 5 a 15% de área afectada.
- 2B : 15 a 35% de área afectada.
- 1B : 35 a 65% de área afectada.
- 0B : Más de 65%. de área afectada.

**B) Adhesión Pull-Off:** ASTM D 4541-95, Sirve para determinar la fuerza necesaria para extraer un accesorio adherido a la película seca de pintura. Asegurarse que la película este seca y limpia. Lijar la zona de la película de pintura donde se colocaran los dollies y también una de las caras del dolly ( la que esta próxima a la parte cónica).

Tiempo de evaluación 24 horas.

Anotar la fuerza necesaria en lb/pulg<sup>2</sup>

Evaluar la cara despegada del dolly y la película de pintura para determinar donde ha sucedido la falla.



1. Figura 3.26. Medida de la adhesión (Adhesión pull-off)

La pieza de tracción se despega de la superficie de la pintura. La adhesión al sustrato es mayor que la adhesión adhesivo-pintura.

La falla se produce entre capas de pinturas sin afectar la adhesión al sustrato: se tiene una falla cohesiva.

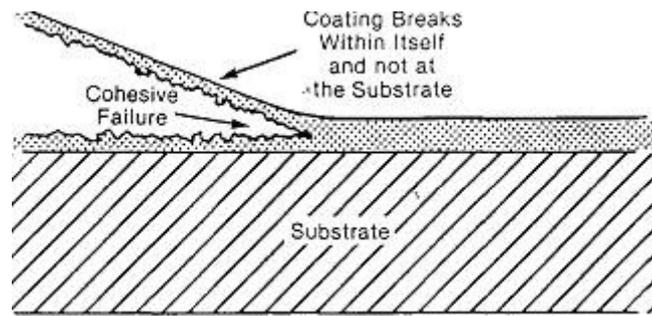


Figura 3.27. Falla entre capas

La falla se produce en la interface sustrato-pintura: la pintura se separa completamente de la base sin producir la rotura de esta; se tiene una falla de adhesión.

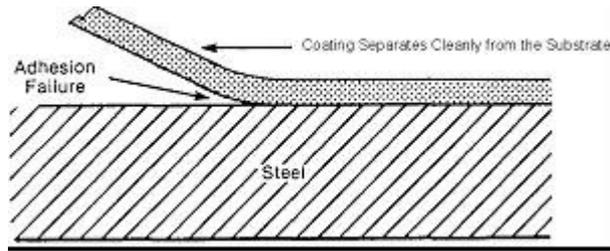


Figura 3.28. Falla sustrato - pintura

La pintura se separa completamente del sustrato, arrastrando parte o toda la superficie: falla de sustrato.

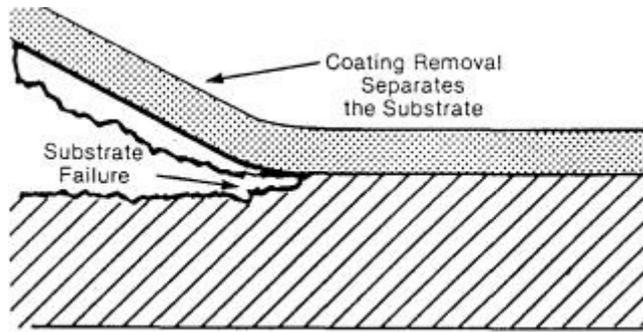


Figura 3.29. Falla de sustrato

**C ) Evaluación de Resistencia a la inmersión de Fluidos:** Sirve para determinar la resistencia de una pintura o de un sistema de pintado sujeto a inmersión en fluidos agresivos.

Dejar en inmersión el panel de prueba por 7 días (o de acuerdo a lo convenido con el cliente).

Luego de los 7 días evaluar si hay formación de ampollas, oxidación y el brillo final.

Evaluar la adhesión al corte o la adhesión Pull-Off tanto en la zona no inmersa como en la inmersa.

**D ) Resistencia a Niebla Salina:** Referencia: ASTM B117-94, Sirve para determinar la resistencia de un pintura o de un sistema de pintado sujeto a condiciones agresivas: alta humedad y salinidad.

La cámara de niebla salina debe operar a las siguientes condiciones:

Presión: 15 psi

Temperatura: 35

Solución salina: al 5% de Cloruro de Sodio

De acuerdo a la pintura o al sistema de pintado en evaluación, observar el comportamiento de la película regularmente (**por ejemplo 250, 500, 1000 o 2000 horas de exposición**).

Al final reevaluar si hay formación de corrosión o ampollamiento, ya sea en la línea de corte o en la superficie sin corte.

Anotar cualquier otra observación, por ejemplo: decoloración

**Camara de ensayos ciclicos de corrosion:**

- Expone las muestras de ensayo a una serie de entornos diferentes como Niebla Salina en un ciclo repetitivo.



Figura 3.30. Cámara de Corrosión cíclica



Figura 3.31. Muestras expuestas a la cámara de corrosión cíclica

**Camara de ensayo de envejecimiento acelerado:**

- Expone los materiales a ciclos alternos de luz y humedad a temperaturas elevadas y reguladas.



Figura 3.32. Cámara de envejecimiento acelerado



Figura 3.33. Muestras expuestas a la cámara De envejecimiento acelerado

**Tamaño de Partícula:**

- Caracterización en del tamaño de partícula de pigmentos y dispersiones de polimerosal agua.
- Analizar la repetibilidad de los polímeros al agua , de lote a lote, asi como las desviaciones que se puedan presentar.
- En el Control de calidad de cargas para pinturas y fineza de la molienda.



Figura 3.34. Medidor de tamaño de partícula

**E ) Resistencia a Agentes Químicos:** Sirve para determinar la resistencia de una pintura o de un esquema de pintado a salpicaduras de agentes químicos.

- Solución de NaOH al 30%
- Solución de HCl al 20%
- Solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 20%
- Solución de HNO<sub>3</sub> al 20%
- Cualquier otra solución de agente químico, que el cliente especifique.

**Evaluaciones:** Ampollamiento, Cambio de color, Pérdida de Brillo



Figura 3.35. Muestras expuestas a agentes químicos



Figura 3.36. Muestras expuestas a agentes químicos

**F ) Flexibilidad Mandril Cónico:** Referencia: ASTM D 522-93a  
Sirve para determinar la resistencia al craqueado (flexibilidad) de películas secas de pintura sobre sustratos de metal.



Figura 3.37. Mandril cónico

**G: Resistencia al Impacto:** Sirve para determinar la resistencia a la deformación por impacto de una película seca de pintura.

Una vez curada la película, colocar la plancha en el medidor de impacto con el lado pintado mirando hacia arriba (para evaluar resistencia al impacto directo) o con el lado pintado hacia abajo (resistencia al impacto reverso).

Evaluación: Observar si hay presencia de rotura de película, ayudándose con una lupa de aumento.

Si no la hay, aumentar la altura a la que se soltará la pesa.

Reportar las unidades en libras - pulgada en la que no se presenta roturas de película.



Figura 3.38. Medidor de Resistencia al impacto

### 3.9. Características físicas de las pinturas

#### 3.9.1. Densidad y Peso específico. Su importancia

Desde el punto de vista comercial, las materias primas son vendidas fijando su costo por unidad de material. Esto indica que dicha unidad debe poder estar representada por unidades físicas mensurables y exactas como peso y volumen.

En términos comerciales estas medidas y su medición exacta evitan pérdidas materiales tanto al comprador como al vendedor.

Esto es muy importante en la industria de la pintura, donde el usuario compra su material por volumen (litro o galón) mientras que el fabricante lo produce y envasa mezclando pesos (kilogramos) de los diferentes componentes y los envasa también por peso.

Las líneas de llenado operan con balanzas por lo que, para evitar pérdidas por ambas partes, es necesario conocer que peso corresponde a cada volumen constante. Esta interrelación se define como densidad y permite la conversión fácil de ambos términos.

Pero también este término es una expresión de la calidad constante con que el fabricante entrega su producto. Tal vez, esta sea una de las medidas más rápidas y exactas de la constancia de composición de un material.

Esta constituye un seguro indirecto de que algunos componentes que se colocan de concentración apreciable dentro de la composición (disolventes, polímeros y pigmentos activos), se están agregando en la proporción correcta o que no han sido cambiados por otros de menor calidad.

Si bien es cierto que, gracias a los adelantos actuales, hay equipos que están reemplazando esta medida por otras que proveen concentración de componentes, esta sigue siendo una buena herramienta en manos de pequeños y medianos fabricantes.

Otro aspecto es el concerniente a las regulaciones gubernamentales. La pintura es un producto heterogéneo. Su verdadero valor está en la cantidad de sólidos que es capaz de depositar por volumen utilizado.

La porción líquida constituye el vehículo de aplicación y formación de película, pero es un material de descarte contaminante. Produce problemas de disposición de residuos e impacta sobre la calidad del terreno, aire y agua.

Por ello, las regulaciones gubernamentales mundiales otorgan cada vez más importancia al concepto como sólidos por volumen y concentración de pigmento en volumen.

### 3.10. Concentración de pigmento en volumen

Las características de comportamiento de una pintura están reguladas por las relaciones volumétricas entre pigmento y ligante. Dicha relación determina propiedades tales como brillo, tiempo de secado, nivelado, viscosidad, etc. Esta relación se denomina concentración de pigmento en volumen (PVC, pigment volume concentration) y se expresa por la fórmula:

$$\text{PVC} = \frac{\text{volumen de pigmento}}{\text{volumen de pigmento} + \text{volumen de ligante}}$$

También puede expresarse como relación pigmento/ligante (P/L), en cuyo caso el volumen de pigmento es 1 y el del ligante se calcula por la relación:

$$PVC = \frac{\text{volumen de pigmento}}{\text{volumen de ligante}}$$

Eventualmente en las formulaciones, y por razones de facilidad de cálculo, P/L puede expresarse en peso, debiéndose hacer mención explícita de esto. Esta expresión se está dejando de usar.

Los valores expresados se calculan siempre sobre la base de los componentes no volátiles, que son los que permanecen en la película después del secado de la pintura.

Otro concepto importante es la concentración crítica de pigmento en volumen (CPVC, Critical Pigment Volume Concentration), definida por Asbeck y Van Loay y que es la concentración para la cual todos los huecos existentes entre las partículas de pigmento son llenados por ligante; es decir la demanda de ligante por parte del pigmento es exactamente satisfecha. Esta se denomina concentración crítica porque a partir de este punto se produce un cambio drástico en las propiedades de la película.

En el gráfico de la figura siguiente queda claramente evidenciado como disminuye el brillo y la tendencia al ampollado al aumentar la concentración de pigmento; por arriba de ciertos valores (entre 35 y 55% según los diferentes autores) aumenta la permeabilidad del "film" y en consecuencia la posibilidad de oxidación del sustrato. En el gráfico se representa en sus diferentes valores, el aspecto que tiene la película de pintura a medida que aumenta el volumen de pigmento. Esta propiedad es relativamente independiente de la naturaleza química del ligante y se cumple para todos los tipos de pinturas, aunque con valores numéricos diferentes para cada caso.

De acuerdo con lo representado en la figura lo que varía fundamentalmente es el grado de empaquetamiento del pigmento. Con concentraciones de pigmento por arriba de las mencionadas, pueden quedar partículas del mismo no revestidas con ligante.

Se produce un cambio gradual en las propiedades de la película a medida que aumenta la concentración del pigmento, hasta que se alcanza una concentración crítica a partir de la cual algunas propiedades se modifican en forma marcada.

Entre el valor  $PVC=0$  y  $PVC=CPVC$  se tienen 2 fases: cantidades crecientes de pigmento rodeadas por ligante.

Cuando  $PVC=CPVC$  también hay 2 fases: una cantidad definida de pigmento con ligante suficiente para llenar todos los huecos existentes entre ellos.

Por encima de este punto, aparecen 3 fases: pigmento, ligante en menor cantidad que la necesaria para llenar los huecos y aire. Hay entonces una relación evidente entre la PVC y el factor de empaque del pigmento ( $\Phi$ )

### **3.11. Concentración de Pigmento en Volumen (PVC) versus Factor de Empaque del pigmento ( $\Phi$ ).**

Ambos conceptos deben ser bien identificados para evitar confusiones ya que la PVC considera solamente el volumen de sólidos por volumen del sistema mientras que el valor de ( $\Phi$ ) incluye el aire intersticial. La concentración de

pigmento en volumen se define como la fracción en volumen de pigmento ( $V_p$ ) por unidad de volumen de sólidos (pigmento ( $V_p$ ) + ligante ( $V_l$ )) de una mezcla dada.

$$PVC = V_p / (V_p + V_l)$$

El factor de empaque es la fracción en volumen de pigmento ( $V_p$ ) por unidad de volumen de una mezcla pigmento + ligante + aire ( $V_p + V_l + V_a$ ). El volumen de aire corresponde al volumen intersticial de huecos.

$$\Phi = V_p / V_p + V_l + V_a$$

Si  $V_a = 0$ , entonces:

$$PVC = \Phi$$

Si por debajo de la CPVC los huecos están ausentes, resulta que:

$$PVC < CPVC$$

Por lo tanto:  $PVC = \Phi$

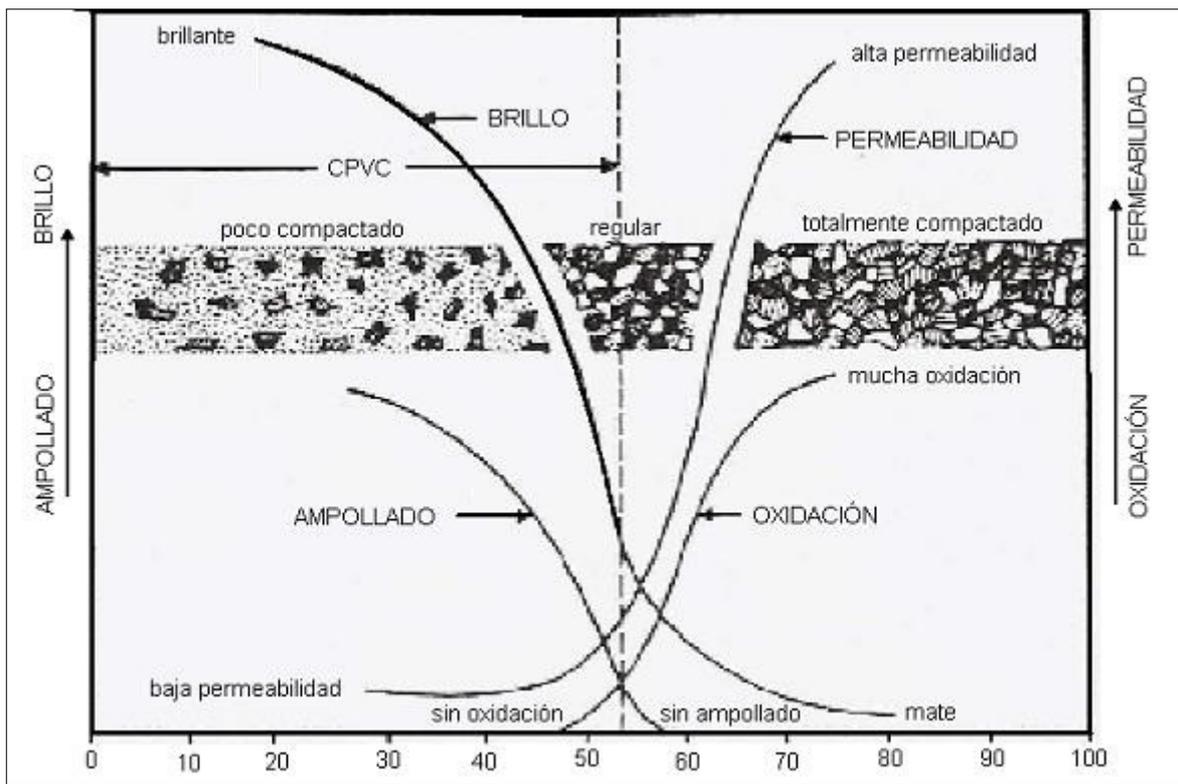


Figura 3.39. Curva PVC - CPVC

Por encima de la CPVC, los valores de PVC y  $F$  difieren. Para esta zona donde  $PVC > CPVC$ , el valor de  $F$  no se modifica, o lo hace muy poco, aún cuando la PVC siga creciendo hasta el punto final ( $PVC=1.0$ , 100% de pigmento).

El valor de la concentración crítica de pigmento en volumen define entonces aquel punto en el cuál la cantidad de ligante es justo la necesaria para llenar los huecos existentes entre las partículas de pigmento es decir, el punto donde el sistema alcanza el factor de empaque mayor de todos los posibles. Por encima y por debajo de dicho punto se producen modificaciones importantes en las propiedades de las películas de pintura.

También se producen modificaciones en la PVC que afectan en forma marcada propiedades esenciales de la película si la elaboración de la pintura se hace por métodos inadecuados que afecten la eficiencia de la dispersión

### **3.12. Modificaciones de la PVC producidas durante la formación de la película y el período de curado**

El secado de una película de pintura es el pasaje del estado líquido a la forma de película sólida. En principio, esto puede involucrar un simple proceso físico, como ocurre en aquellos casos en que se produce sólo por evaporación del disolvente, o un proceso combinado, donde en una primera etapa el secado es similar al del caso anterior para, una vez eliminada la mayor parte de los disolventes, dar lugar a reacciones químicas de diferente complejidad con elementos del medio ambiente o con productos que se incorporan directamente a la formulación.

Las mencionadas reacciones químicas pueden tener lugar a temperatura ambiente o bien necesitar de la presencia del calor o de un catalizador, siendo la función de estos factores modificar y/o aportar la energía necesaria para producir y dirigir la reacción.

## Capítulo 4. Introducción a la Corrosión

### 4.1. Corrosión de los metales

En sentido amplio, la corrosión puede definirse como “La destrucción de un metal por interacción química, electro-química o metalúrgica entre el medio y el material”. Generalmente es lenta, pero de carácter persistente. En algunos casos, los productos de la corrosión existen como una película delgada adherente que sólo mancha o empaña el metal y puede actuar como un retardador para ulterior acción corrosiva. En otros, los productos de la corrosión son de carácter voluminoso y poroso, sin ofrecer ninguna protección.

Uno de los problemas mas serios de la industria lo constituye la corrosión, que produce daños por miles de millones de dólares al año. Es un problema complejo acerca del cual se conoce mucho; sin embargo a pesar de la extensa investigación y experimentación, todavía hay mucho que aprender. En Algunos casos, como en el ataque químico directo, la corrosión es altamente obvia, pero en otros, como la corrosión intergranular, es menos obvia pero igualmente dañina. La principal causa de la corrosión es la inestabilidad de los metales en sus formas refinadas; los mismos tienden a volver a sus estados originales a través de los procesos de corrosión.



Figura 4.1. Corrosión en tanques

## 4.2. Definición

La corrosión es un ataque químico gradual a un metal; por su medio ambiente que da por resultado la conversión del metal en un óxido, una sal o algún otro compuesto. Los metales que han experimentado corrosión pierden su resistencia, su ductilidad y otras propiedades mecánicas y físicas convenientes. El ataque corrosivo se produce frecuentemente en combinación con otros mecanismos de fallas, tales como la fatiga, la erosión y el esfuerzo. Hay muchos tipos de medios corrosivos tales como el aire las atmósferas industriales, el suelo, los ácidos, las bases y las soluciones salinas. Con frecuencia, se produce una corrosión a elevadas temperaturas, en medios que, a bajas temperaturas, son por lo común inertes.



Figura 4.2. Espontaneidad del proceso de corrosión

## 4.3. Mecanismos básicos de la corrosión

La corrosión es el medio químico por el que se deterioran y destruyen los metales y se han reconocido dos mecanismos básicos:

- Ataque químico directo
- Ataque electroquímico

**4.3.1. Ataque químico directo.-** incluye todos los tipos de corrosión en los que no hay flujo apreciable de corriente a través del metal, en distancias apreciables. Por supuesto los electrones abandonan los átomos de un metal, cuando éstos se convierten en cationes metálicos de un compuesto; sin embargo, no hay flujo de electrones por el metal a escala macroscópica, y no hay zonas macroscópicas claras del ánodo y cátodo.

Da como resultado una reacción uniforme sobre toda la superficie expuesta. Por lo común, se produce en el material metálico una capa escamosa o un depósito de espesor uniforme. Aunque dicho depósito se adhiere frecuentemente muy bien, son también comunes las capas depositadas que no se adhieren.

Un ejemplo de ataque corrosivo directo es la oxidación del hierro y el acero, o la oxidación a temperaturas elevadas de estos dos materiales metálicos. Otro ejemplo de ataque químico directo es la corrosión de los recubrimientos de cobre por la atmósfera. Las atmósferas industriales que contienen oxígeno, humedad y óxidos de azufre (de productos de combustión), reaccionan para formar sulfato de cobre, una cubierta verdosa e insoluble. En atmósferas marinas se forma cloruro de cobre básico.

La pérdida de lustre en los objetos de plata es otro ejemplo más del ataque químico directo. En los tres ejemplos el ataque se lleva a cabo uniformemente sobre toda la superficie expuesta del material metálico.

**4.3.2. Ataque Electroquímico.-** La corrosión es un proceso electroquímico en el cual un metal reacciona con su medio ambiente para formar óxido o algún otro compuesto. La celda que causa este proceso está compuesta esencialmente por tres componentes: un ánodo, un cátodo y un electrolito (la solución conductora de electricidad). El ánodo es el lugar donde el metal es corroído: el electrolito es el medio corrosivo; y el cátodo, que puede ser parte de la misma superficie metálica o de otra superficie metálica que esté en contacto, forma el otro electrodo en la celda y no es consumido por el proceso de corrosión. En el ánodo el metal corroído pasa a través del electrolito como iones cargados positivamente, liberando electrones que participan en la reacción catódica. Es por ello que la corriente de corrosión entre el ánodo y el cátodo consiste en electrones fluyendo dentro del metal y de iones fluyendo dentro del electrolito.

Aunque el aire atmosférico es el medio más común, las soluciones acuosas son los ambientes que con mayor frecuencia se asocian a los problemas de corrosión. En el término solución acuosa se incluyen aguas naturales, suelos, humedad atmosférica, lluvia y soluciones creadas por el hombre. Debido a la conductividad iónica de estos medios, el ataque corrosivo es generalmente electroquímico.

La definición más aceptada entiende por corrosión electroquímica “el paso de electrones e iones de una fase a otra limítrofe constituyendo un fenómeno electródico, es decir, transformaciones materiales con la cooperación fundamental, activa o pasiva, de un campo eléctrico macroscópico, entendiéndose por macroscópico aquel campo eléctrico que tiene dimensiones superiores a las atómicas en dos direcciones del espacio”.

En los procesos de corrosión electroquímica de los metales se tiene simultáneamente un paso de electrones libres entre los espacios anódicos y catódicos vecinos, separados entre sí, según el esquema siguiente:



Lo que entraña una corriente electrónica a través de la superficie límite de las fases. En el proceso anódico, el dador de electrones,  $E_{d1}$ , los cede a un potencial galvánico más negativo, y dichos electrones son captados en el proceso catódico por un aceptor de electrones,  $E_{c2}$ , con potencial más positivo.

Como vemos la corrosión electroquímica involucra dos reacciones de media celda, una reacción de oxidación en el ánodo y una reacción de reducción en el cátodo. Por ejemplo para la corrosión del hierro en el agua con un pH cercano a neutralidad, estas semireacciones pueden representarse de la siguiente manera:

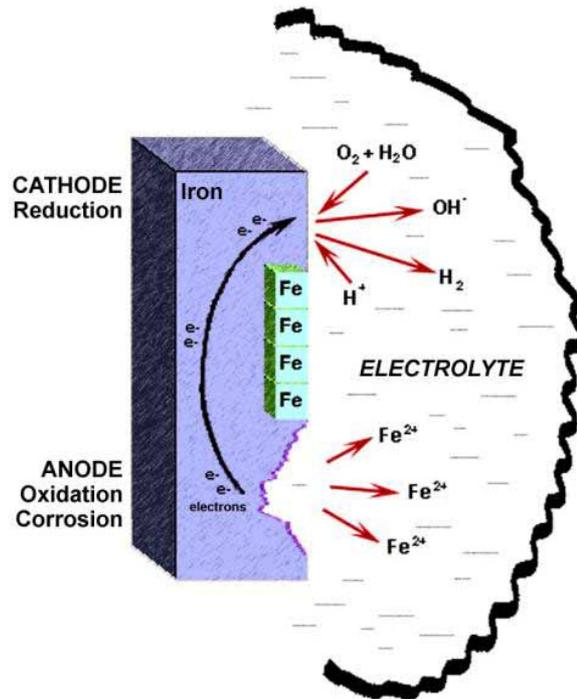
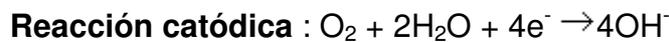


Figura 4.3. Corrosión electroquímica



Por supuesto que existen diferentes reacciones anódicas y catódicas para los diferentes tipos de aleaciones expuestas en distintos medios.

#### 4.4. Factores que influyen en la corrosión

Uno de los factores más importantes que influyen en la corrosión es la diferencia en potencial eléctrico de metales no similares cuando están acoplados conjuntamente y sumergidos en un electrolito. Este potencial se debe a las naturalezas químicas de las regiones anódica y catódica. Alguna indicación de cuáles metales pueden ser anódicos en comparación con el hidrógeno está dada por la serie estandar de fuerza eletromotriz (tabla 1). La celda estándar de hidrógeno se asigna con un valor de cero y el potencial desarrollado por media

celda del metal en cuestión acoplado a media celda estandar se compara con la de la celda hidrógeno. La lista de la tabla 1 aparece en orden decreciente de actividad. Los metales más activos de la parte superior de la lista exhiben una tendencia más fuerte a disolver que aquellos que aparecen al último de la lista. Otros factores (como la presencia de otros iones en solución, la temperatura de la solución y la resistencia de corrientes eléctricas fugitivas pueden afectar materialmente la rapidez de corrosión.

**Tabla 4.1. Serie Fuerza electromotriz**

| REACCIONES DE ELECTRODO | POTENCIALES E° DEL ELECTRODO ESTÁNDAR, VOLTS. 25°C | REACCIÓN DE ELECTRODO         | POTENCIAL E° DEL ELECTRODO ESTÁNDAR; VOLTS, 25°C |
|-------------------------|--|-------------------------------|--|
| $K = K^+ + e^-$         | - 2.922  | $Co = Co^{++} + 2e^-$         | - 0.277  |
| $Ca = Ca^{++} + 2e^-$   | - 2.87   | $Ni = Ni^{++} + 2e^-$         | - 0.250  |
| $Na = Na^+ + e^-$       | - 2.712  | $Sn = Sn^{++} + 2e^-$         | - 0.136  |
| $Mg = Mg^{++} + 2e^-$   | - 2.34   | $Pb = Pb^{++} + 2e^-$         | - 0.126  |
| $Be = Be^{++} + 2e^-$   | - 1.70   | $\frac{1}{2} H_2 = H^+ + e^-$ | 0.000  |
| $Al = Al^{3+} + 3e^-$   | - 1.67   | $Cu = Cu^{++} + 2e^-$         | 0.345  |
| $Mn = Mn^{++} + 2e^-$   | - 1.05   | $Cu = Cu^+ + e^-$             | 0.522  |
| $Zn = Zn^{++} + 2e^-$   | - 0.762  | $Ag = Ag^+ + e^-$             | 0.800  |
| $Cr = Cr^{3+} + 3e^-$   | - 0.71   | $Pd = Pb^{++} + 2e^-$         | 0.830  |
| $Ga = Ga^{3+} + 3e^-$   | - 0.52   | $Hg = Hg^{++} + 2e^-$         | 0.854  |
| $Fe = Fe^{++} + 2e^-$   | - 0.44   | $Pt = Pt^{++} + 2e^-$         | 1.200  |
| $Cd = Cd^{++} + 2e^-$   | - 0.402  | $Au = Au^{3+} + 3e^-$         | 1.420  |
| $In = In^{3+} + 3e^-$   | - 0.340  | $Au = Au^+ + e^-$             | 1.680  |
| $Ti = Ti^+ + e^-$       | - 0.336  |                               |  |

#### 4.5. Consideraciones de diseño

A continuación se suministra una guía para minimizar los riesgos de corrosión mediante el uso apropiado de las medidas de diseño de estructuras metálicas que van a ser recubiertas con sistemas de pintura.

Un excelente diseño, contribuye a prolongar la vida en servicio de un esquema protector ya que:

- Evita la aparición de "trampas de corrosión", es decir lugares muertos donde se pueden acumular las sustancias agresivas y promover el contacto continuo de estas con la película del sistema protector.
- Facilita las tareas de preparación de superficies y de aplicación de pinturas, contribuyendo a la obtención de superficies libres de impurezas y de películas continuas y de espesor uniforme.

- Simplifica las tareas de inspección durante la vida útil del sistema, contribuyendo a la aplicación eficaz del sistema de mantenimiento

Se deben aplicar criterios básicos al diseño de estructuras de acero a ser recubiertas con sistemas protectores, con el objeto de prevenir la degradación de la película y la corrosión prematura de la estructura.

Se dan algunos ejemplos de diseños adecuados y no adecuados, indicando que problemas de aplicación, inspección y mantenimiento del sistema de pinturas pueden ser evitados. Se consideran también medidas de diseño que faciliten el movimiento y transporte de la estructura, produciéndose daños mínimos en la película de pintura



Figura 4.4. Diseño de soldaduras

#### 4.6. Tipos de Corrosión

Antes de analizar los efectos para la sociedad que tiene la corrosión, tenemos que ver los diversos tipos que existen.

Según el criterio de Morfología al ataque, los tipos de corrosión se pueden clasificar de la siguiente manera:

**4.6.1 Uniforme o General.** Corrosión general o generalizada (tiene lugar sobre toda la superficie metálica expuesta al medio corrosivo) que se produce a aproximadamente la misma velocidad sobre toda la superficie. La penetración media de ataque es igual en todos los puntos (corrosión homogénea) .

Es considerada la forma más “benigna” de la corrosión. Es la morfología de ataque típica (pero no necesariamente la única, ni exclusiva) en:

- Corrosión atmosférica
- Corrosión por gases a altas temperaturas
- Corrosión en algunos medios ácidos
- Corrosión en sales fundidas

**Corrosión Atmosférica.** De todas las formas de corrosión, la Atmosférica es la que produce mayor cantidad de daños en el material y en mayor proporción. Grandes cantidades de metal de automóviles, puentes o edificios están expuestas a la atmósfera y por lo mismo se ven atacados por oxígeno y agua. La severidad de esta clase de corrosión se incrementa cuando la sal, los compuestos de sulfuro y otros contaminantes atmosféricos están presentes. Para hablar de esta clase de corrosión es mejor dividirla según ambientes. Los ambientes atmosféricos son los siguientes:

**Industriales :** Son los que contienen compuestos sulfurosos, nitrosos y otros agentes ácidos que pueden promover la corrosión de los metales. En adición, los ambientes industriales contienen una gran cantidad de partículas aerotransportadas, lo que produce un aumento en la corrosión.

**Marinos :** Esta clase de ambientes se caracterizan por la presencia de ión clorhídrico, un ión particularmente perjudicial que favorece la corrosión de muchos sistemas metálicos.

**Rurales :** En estos ambientes se produce la menor clase de corrosión atmosférica, caracterizada por bajos niveles de compuestos ácidos y otras especies agresivas.

Existen factores que influyen la corrosión atmosférica. Ellos son la Temperatura, la Presencia de Contaminantes en el Ambiente y la Humedad.

### **Altas Temperaturas**

Algunos metales expuestos a gases oxidantes en condiciones de muy altas temperaturas, pueden reaccionar directamente con ellos sin la necesaria presencia de un electrolito. Este tipo de corrosión es conocida como Empañamiento, Escamamiento o Corrosión por Altas Temperaturas.

Generalmente esta clase de corrosión depende directamente de la temperatura. Actúa de la siguiente manera: al estar expuesto el metal al gas oxidante, se forma una pequeña capa sobre el metal, producto de la combinación entre el metal y el gas en esas condiciones de temperatura. Esta capa o “empañamiento” actúa como un electrolito

“sólido”, el que permite que se produzca la corrosión de la pieza metálica mediante el movimiento iónico en la superficie.

#### 4.6.2 Localizada

La segunda forma de corrosión, en donde la pérdida de metal ocurre en áreas discretas o localizadas.

El ataque se concentra preferentemente en algunas zonas de la superficie metálica expuesta al medio agresivo (debido a heterogeneidades)

Diversas manifestaciones: picaduras, grietas, surcos, etc. Severidad del ataque también es variable.

Las distintas formas de corrosión localizada adoptan nombres propios.

Al igual que la General/Uniforme, la corrosión Localizada se subdivide en otros tipos de corrosión. A continuación, veremos los más destacados.

**Corrosión por Fisuras o “Crevice”.** La corrosión por crevice o por fisuras es la que se produce en pequeñas cavidades o huecos formados por el contacto entre una pieza de metal igual o diferente a la primera, o más comúnmente con un elemento no-metálico. En las fisuras de ambos metales, que también pueden ser espacios en la forma del objeto, se deposita la solución que facilita la corrosión de la pieza. Se dice, en estos casos, que es una corrosión con ánodo estancado, ya que esa solución, a menos que sea removida, nunca podrá salir de la fisura. Además, esta cavidad se puede generar de forma natural producto de la interacción iónica entre las partes que constituyen la pieza.

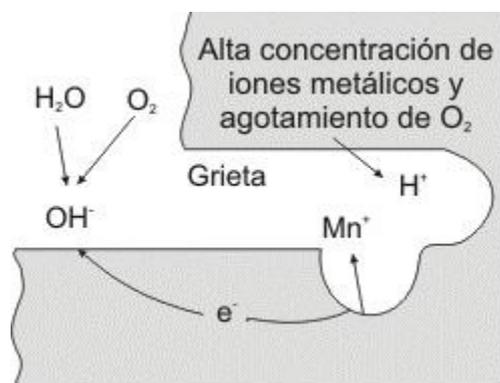


Figura 4.5. Corrosión por fisuras

Algunas formas de prevenir esta clase de corrosión son las siguientes: rediseño del equipo o pieza afectada para eliminar fisuras.

cerrar las fisuras con materiales no-absorbentes o incorporar una barrera para prevenir la humedad.

prevenir o remover la formación de sólidos en la superficie del metal.

**Corrosión por Picadura o “Pitting”.** Es altamente localizada, se produce en zonas de baja corrosión generalizada y el proceso (reacción) anódico produce unas pequeñas “picaduras” en el cuerpo que afectan. Puede observarse generalmente en superficies con poca o

casi nula corrosión generalizada. Ocurre como un proceso de disolución anódica local donde la pérdida de metal es acelerada por la presencia de un ánodo pequeño y un cátodo mucho mayor.

Esta clase de corrosión posee algunas otras formas derivadas:



Figura 4.6. Corrosión por picadura

**Corrosión por Fricción o Fretting** : es la que se produce por el movimiento relativamente pequeño (como una vibración) de 2 sustancias en contacto, de las que una o ambas son metales. Este movimiento genera una serie de picaduras en la superficie del metal, las que son ocultas por los productos de la corrosión y sólo son visibles cuando ésta es removida.

**Corrosión por Cavitación:** es la producida por la formación y colapso de burbujas en la superficie del metal (en contacto con un líquido). Es un fenómeno semejante al que le ocurre a las caras posteriores de las hélices de los barcos. Genera una serie de picaduras en forma de panal.

**Corrosión Selectiva:** es semejante a la llamada Corrosión por Descincado, en donde piezas de cinc se corroen y dejan una capa similar a la aleación primitiva. En este caso, es selectiva porque actúa sólo sobre metales nobles como al Plata-Cobre o Cobre-Oro. Quizá la parte más nociva de esta clase de ataques está en que la corrosión del metal involucrado genera una capa que recubre las picaduras y hace parecer al metal corroído como si no lo estuviera, por lo que es muy fácil que se produzcan daños en el metal al someterlo a una fuerza mecánica.

#### 4.6.3. Galvánica (Bimetalica)

Corrosión originada en la zona de contacto entre dos materiales metálicos disímiles.

La extensión del ataque es variable (desde casi uniforme hasta localizada). La relación de áreas ánodo/cátodo es muy importante (determina velocidad de corrosión y extensión del ataque)

La corrosión Galvánica es una de las más comunes que se pueden encontrar. Es una forma de corrosión acelerada que puede ocurrir cuando metales distintos (con distinto par redox) se unen eléctricamente en presencia de un electrolito (por ejemplo, una solución conductiva). El ataque galvánico puede ser uniforme o localizado en la unión entre aleaciones, dependiendo de las condiciones. La corrosión galvánica puede ser particularmente severa cuando las películas protectoras de corrosión no se forman o son eliminadas por erosión.

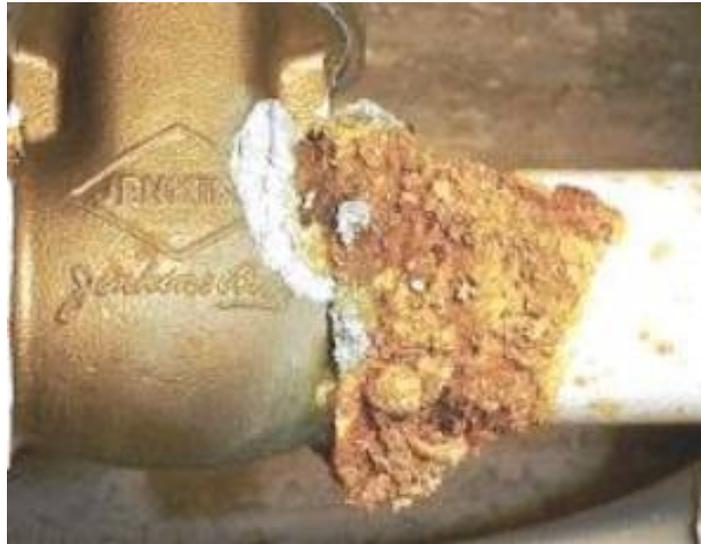


Figura 4.7. Corrosión Galvánica

Esta forma de corrosión es la que producen las Celdas Galvánicas. Sucede que cuando la reacción de oxidación del ánodo se va produciendo se van desprendiendo electrones de la superficie del metal que actúa como el polo negativo de la pila (el ánodo) y así se va produciendo el desprendimiento paulatino de material desde la superficie del metal. Este caso ilustra la corrosión en una de sus formas más simples.

#### **4.7. La Corrosión en la Industria y sus Procesos.**

Como se mencionó en un principio, la mayor problemática de la corrosión es la destrucción del metal al que afecta. Ahora intentaremos ver un enfoque desde la industria, el sector más afectado por la corrosión, acerca de los ataques que este proceso causa. Podemos hablar desde fracturas, hasta fugas en tanques, disminución de la resistencia mecánica de las piezas y muchas otras maneras de efectos por los ataques. Aún así, lo peor de todo es que si no son prevenidas estas clases de ataques por corrosión, afectan la seguridad de las personas.

Existen dos clases de pérdidas desde el punto de vista económico.

**Directas:** las pérdidas directas son las que afectan de manera inmediata cuando se produce el ataque. Estas se pueden clasificar en varios tipos también, de las cuales las más importantes son el Coste de las Reparaciones, las Sustituciones de los Equipos Deteriorados y Costes por Medidas Preventivas.

**Indirectas:** se consideran todas las derivadas de los fallos debidos a los ataques de corrosión. Las principales son la Detención de la Producción debida a las Fallas y las Responsabilidades por Posibles Accidentes.

En general, los costes producidos por la corrosión oscilan cerca del 4% del P.I.B. de los países industrializados. Muchos de estos gastos podrían evitarse con un mayor y mejor uso de los conocimientos y técnicas que hoy en día están disponibles.

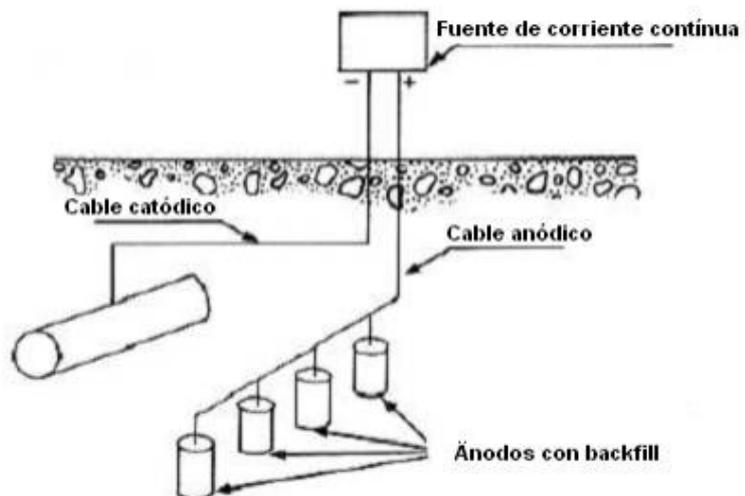
#### 4.8. Control de la corrosión

Luego de haber analizado la corrosión y sus formas, es momento de ver qué conocimientos se tienen hoy en día para prevenirla.

Antes de ver un análisis un tanto más profundo a las formas de proteger sobre la corrosión, hablaremos un poco sobre la Protección Catódica y la Protección Anódica.

**4.8.1. Protección Catódica** Ocurre cuando un metal es forzado a ser el cátodo de la celda corrosiva adhiriéndole (acoplándolo o recubriéndolo) de un metal que se corroa más fácilmente que él, de forma tal que esa capa recubridora de metal se corroa antes que el metal que está siendo protegido y así se evite la reacción corrosiva. Una forma conocida de Protección Catódica es la GALVANIZACIÓN, que consiste en cubrir un metal con Zinc para que éste se corroa primero. Lo que se hace es convertir al Zinc en un **ÁNODO DE SACRIFICIO**, porque él ha de corroerse antes que la pieza metálica protegida.

Figura 4.8.  
Esquema de protección catódica con corriente impresa de una tubería enterrada



**4.8.2 Protección Anódica.** Es un método similar que consiste en recubrir el metal con una fina capa de óxido para que no se corra. Existen metales como el Aluminio que al contacto con el aire son capaces de generar espontáneamente esta capa de óxido y por lo tanto, se hacen resistentes a la corrosión. Aún así, la capa de óxido que recubre al metal no puede ser cualquiera. Tiene que ser adherente y muy firme, ya que de lo contrario no serviría para nada. Por ejemplo, el óxido de hierro no es capaz de proteger al hierro, porque no se adquiere a él en la forma requerida.



Figura 4.9. Ánodos de sacrificio (zinc) distribuidos a lo largo del casco

**4.8.3. Selección de materiales.** La selección de los materiales que vayamos a usar será factor decisivo en el control de la corrosión a continuación se enunciarán algunas reglas generales para la selección de materiales:  
Para condiciones no oxidantes o reductoras tales como ácidos y soluciones acuosas libres de aire, se utilizan frecuentemente aleaciones de Ni y Cr.  
Para condiciones oxidantes se usan aleaciones que contengan Cr.  
Para condiciones altamente oxidantes se aconseja la utilización de Ti y  
Los elementos cerámicos poseen buena resistencia a la corrosión y a las altas temperaturas pero son quebradizos, su utilización se restringe a procesos que no incluyan riesgos.

**4.8.4. Factores Económicos.** Considerando que la principal finalidad de una empresa es dar beneficios económicos a sus propietarios, entonces todo aquello que pueda causar pérdidas debe ser evitado. El caso de la corrosión que con el tiempo destruye poco a poco, los equipos, las máquinas y estructuras, que en condiciones normales durarían mucho más.

#### 4.8.5. Recubrimientos

**Recubrimientos metálicos.** Los recubrimientos se aplican mediante capas finas que separen el ambiente corrosivo del metal, es decir que puedan servir como ánodos sacrificables que puedan ser corroídos en lugar del metal subyacente. Los galvanizados son un buen ejemplo de este caso. Un recubrimiento continuo de zinc y estaño aísla el acero respecto al electrolito.

**Recubrimientos inorgánicos.** En algunos casos es necesario hacer recubrimientos con material inorgánico, los más usados son el vidrio y los cerámicos, estos recubrimientos proporcionan acabados tersos y duraderos. Aunque si se expone un pequeño lugar anódico se experimenta una corrosión rápida pero fácil de localizar.

**Recubrimientos orgánicos.** El uso de pinturas, lacas, barnices y muchos materiales orgánicos poliméricos han dado muy buen resultado como protección contra la corrosión. Estos materiales proveen barreras finas tenaces y duraderas para proteger el sustrato metálico de medios corrosivos. El uso de capas orgánicas protege más el metal de la corrosión que muchos otros métodos. Aunque debe escogerse muy bien, ya que hay procesos que incluyen tratamientos con alcoholes que en algún momento pueden disolver los materiales orgánicos.

**4.8.6. Diseño.** Este quizá es el método más efectivo para el control de la corrosión, ya que si hacemos un buen diseño y una buena planeación podemos evitar dicho fenómeno, a continuación se enumeraran algunas reglas generales que se deben seguir:

- Se debe tener en cuenta la acción penetrante de la corrosión junto con los requerimientos de la fuerza mecánica cuando se considere el espesor del metal utilizado. Esto se aplica para tuberías y tanques que contengan líquidos.
- Son preferibles los recipientes soldados que los remachados para reducir la corrosión por grieta
- Se deben usar preferiblemente metales galvánicamente similares para prevenir la corrosión galvánica. Si se atornillan metales no similares galvánicamente se deben usar arandelas no metálicas para eliminar contactos eléctricos entre los materiales.
- Es preciso evitar tensión excesiva y concentraciones de tensión en entornos corrosivos, para prevenir la ruptura por corrosión por esfuerzos, especialmente en aceros inoxidables, latones y otros materiales susceptibles a este tipo de corrosión.
- Se deben evitar recodos agudos en sistemas de tuberías por donde circulan fluidos. En estas áreas donde cambia la dirección del fluido bruscamente se potencia la corrosión por erosión.
- Se deben diseñar los tanques y recipientes de una manera que sean fáciles de limpiar y desaguar, ya que el estancamiento de sustancias corrosivas provoca la aparición de celdas por concentración.

- Se debe hacer un diseño eficiente de aquellas piezas que se espera queden inservibles en poco tiempo, para que sean fáciles de reemplazar.
- Es importante también diseñar sistemas de calefacción que no den lugar a zonas puntuales calientes, los cambios de temperatura ocasionan corrosión.

**4.8.7. Alteración por el entorno.** Las condiciones ambientales son muy importantes para el control de corrosión, algunos métodos usados son:

- Bajando la temperatura se consigue disminuir la velocidad de reacción, por ende se disminuye el riesgo de corrosión.
- Disminuyendo la velocidad de un fluido corrosivo se reduce la corrosión por erosión. Sin embargo, para metales y aleaciones que se pasivan, es más importante evitar las disoluciones estancadas.
- Eliminar el oxígeno de las soluciones acuosas reduce la corrosión especialmente en las calderas de agua.
- La reducción de la concentración de iones corrosivos en una solución que está corroyendo un metal puede hacer que disminuya la velocidad de corrosión, se utiliza principalmente en aceros inoxidable.
- La adición de inhibidores que son principalmente catalizadores de retardo disminuye las probabilidades de corrosión. Los inhibidores son de varios tipos: los inhibidores de absorción que forman una película protectora, los inhibidores barreneros que eliminan oxígeno. En general, los inhibidores son agentes químicos, añadidos a la solución de electrolito, emigran preferentemente hacia la superficie del ánodo o del cátodo y producen una polarización por concentración o por resistencia.

## Capítulo 5. Principales Recubrimientos – Características y Limitaciones

### 5.1. Protección por Recubrimientos - Mecanismos.

La corrosión es una reacción electroquímica que puede ser controlada interfiriendo con uno o más de los cuatro requisitos para una celda de corrosión: ánodo, cátodo, electrolito y la vía metálica.

Los recubrimientos proporcionan dicha interferencia de la siguiente manera:

- Creando una barrera para separar el electrolito del metal.
- Suministrando inhibidores químicos para controlar la reacción anódica (corrosión).
- Proporcionando protección catódica mediante la conversión de áreas anódicas en áreas catódicas.

Los mecanismos de protección son los siguientes:

**5.1.1 Protección Tipo Barrera.** La mayoría de los recubrimientos proporcionan a los metales protección contra la corrosión al formar una barrera entre el metal y el electrolito para separarlos eléctricamente uno del otro, sellando la superficie para reducir la penetración de la humedad y las sales.

Los recubrimientos inorgánicos son completamente impermeables al electrolito. Así los sistemas de este tipo de recubrimiento deben poseer una combinación de espesor e impermeabilidad y estar libres de discontinuidades y lograr de esta manera una protección duradera.

El camino que los electrolitos deben tomar a través de la película, hacia el sustrato puede ser dificultado aun más si dentro de la formulación de los recubrimientos se incorpora un tipo de pigmento laminar, como el óxido de hierro, mica o aluminio, entonces los electrolitos deben superar todas estas capas para poder alcanzar el sustrato.

**5.1.2. Protección Mediante Pigmentos inhibidores.** Algunos pigmentos usados en los recubrimientos controlan la corrosión mediante la formación de químicos inhibidores de la corrosión o al actuar como tales. Estos químicos se originan en pigmentos ligeramente solubles en agua. Probablemente el pigmento inhibidor más usado es el plomo rojo, el cual ha sido usado muy efectivamente en recubrimientos al óleo por muchos años. Una pequeña cantidad de plomo y de aceite reaccionan para formar una sustancia saponificada con plomo, que actúa como inhibidor de la corrosión. En el caso de los pigmentos de cromo, no requieren de una reacción química de este

tipo para que proporcionen inhibición a la corrosión: el cromato por si mismo proporciona dicha inhibición

Aunque los pigmentos de cromo y cromatos han sido usados por muchos años, con mucho éxito hoy en día su uso ha disminuido debido a problemas de salud y ambientales.

**5.1.2.3. Protección Galvánica (catódica).** Los recubrimientos ricos en zinc poseen dentro de su formulación una alta cantidad de finas partículas de zinc que proporcionan protección galvánica a la superficie del metal. Estas partículas actúan como ánodos al corroerse preferentemente para convertir las áreas anódicas del metal en áreas catódicas. Para lograr esto debe existir una gran cantidad de partículas de zinc de manera que estas entren en contacto unas con otras y con el metal.

Los recubrimientos orgánicos ricos en zinc forman una película relativamente porosa que protege al metal mediante protección galvánica. Donde el metal a sacrificarse es el zinc, a medida que el zinc es sacrificado, los productos de su corrosión llenan estos vacíos para formar una barrera protectora. Si esta barrera es rasgada dejando expuesta la superficie del metal, la protección galvánica asumirá la protección hasta que la "herida" sea "sanada", es decir que se llene nuevamente con los productos de la corrosión del zinc.

#### **5.1.2.4. Sistemas de Recubrimientos de Protección Total**

Los sistemas de recubrimiento (pinturas) usualmente consisten en dos o mas capas. Estas pueden proporcionar más de uno de los mecanismos de control de la corrosión antes mencionados, inclusive pueden brindar otras propiedades.

La base o imprimante puede contener un pigmento inhibidor, una alta cantidad de zinc o una barrera para inhibir la corrosión. También debe tener una buena adherencia al metal y una base para la correcta adherencia de las capas (de pintura) posteriores. Estas capas adicionales aumentan la protección de barrera y la capa final o acabado da el color, la brillantez y la textura deseados. Los acabados exteriores proporcionan también protección contra el clima (el sol y la lluvia) que degrada lentamente la barrera y la protección que esta proporciona.

**5.1.2.5. Imprimantes Especiales.** Existen tres imprimantes que tienen usos especiales:

- Tolerantes a la superficie
- Universales
- De aplicación directa sobre el metal

**Tolerantes a la superficie.** Estos recubrimientos están formulados para ser aplicados sobre superficies no del todo limpias, especialmente en aquellas que no pueden ser limpiadas por medios abrasivos. Los contaminantes residuales pueden ser la humedad, el aceite o los productos de la corrosión. Los recubrimientos tolerantes requieren propiedades especiales, tales como una buena impregnación de la superficie, buena penetración a los contaminantes o reacción con la humedad. Estos pueden ser:

**Tabla 5.1. Recubrimientos tolerantes**

| <b>Tipo</b>                          | <b>Caraterística</b>              |
|--------------------------------------|-----------------------------------|
| Alquídicos                           | Buena impregnación<br>Penetración |
| Epóxi Mastic                         | Buena impregnación                |
| Epóxis y Poliuretanos                | Penetrantes                       |
| Poliuretanos (curado con la humedad) | Reacción con la humedad           |

**Imprimantes Universales.** Este termino puede tener diversos significados. La mayoría de las personas lo entiende como recubrimientos de enlace que permiten el uso de un recubrimiento externo que normalmente no es compatible con un recubrimiento previamente existente. Otras personas, sin embargo, indican que se trata de un recubrimiento tolerante a las superficies.

**Aplicación Directa sobre el metal.** Esta denominación se le da a aquellos recubrimientos que pueden ser aplicados directamente sobre una superficie metálica preparada pero sin imprimante.

**Imprimantes de Preconstrucción.** Este tipo de base se aplican antes de la construcción, a veces llamados recubrimientos fijadores o bases de fijación, son recubrimientos muy delgados que se aplican en los talleres, sobre el metal limpio. Esto reduce al mínimo la posterior necesidad de abrasión adicional. Las bases de preconstrucción tales como el zinc inorgánico o los álcalis son ampliamente usados en la construcción naval.

## **5.2. Propiedades Deseadas en la película protectora**

A fin de que las películas de recubrimientos otorguen una protección a largo plazo al acero y a otros metales, ellas deben poseer ciertas propiedades específicas. Estas propiedades pueden variar a partir de tipos o usos genéricos. Los controles de estas propiedades fueron descritas en el Capítulo 3. Estas propiedades son:

- Buena adherencia al sustrato y entre capas de recubrimientos
- Baja permeabilidad a los electrolitos

- Capa continua, es decir libre de discontinuidades con espesor uniforme.
- Flexibilidad
- Resistencia a la abrasión
- Resistencia al clima
- Resistencia al agua, combustibles, químicos, etc.
- Resistencia a la contaminación biológica.

**Adherencia.** Una de las propiedades más importantes de las pinturas es su adherencia al sustrato. La mayor parte de sus características de resistencia a la corrosión está ligada a sus propiedades de adherencia.

Si una pintura no tiene una adherencia satisfactoria al sustrato, su desempeño estará comprometido llegando en muchos casos a fallar prematuramente, propiciando en muchos casos la aparición de óxido sobre la película.

Todo recubrimiento debe tener por lo menos una mínima capacidad de adherencia a sus respectivos sustratos para proporcionar una protección duradera. Sin una adecuada adherencia no serán capaces de soportar las elongaciones a las que son sometidas durante el proceso de curado.

Los imprimantes se usan para asegurar una buena compenetración con los sustratos. Para asegurar una adecuada adherencia es necesario que la superficie esté limpia y pulida.

**Permeabilidad.** Los recubrimientos orgánicos varían ampliamente en su grado de permeabilidad a los electrolitos y, por tanto, en su capacidad para proporcionar protección de barrera. Una baja permeabilidad es especialmente importante en condiciones de servicio severas, tales como la inmersión, lo que generalmente produce ampollas y el desprendimiento del recubrimiento.

**Continuidad de la película protectora.** Una propiedad altamente deseable en los recubrimientos es su capacidad para formar una película uniformemente gruesa y continua, libre de discontinuidades. Las imperfecciones en esta película permiten que los electrolitos penetren en la barrera protectora. Un buen flujo y una buena nivelación de la capa aún húmeda reducirán la presencia de burbujas y las áreas excesivamente delgadas que son las que invariablemente fallan primero.

**Dureza.** La dureza de un recubrimiento puede ser una cualidad muy importante, así como un criterio para considerar completo el curado. Generalmente esta prueba es llevada a cabo mediante el lápiz (ASTM D 3363). Las rayaduras causadas por la punta del lápiz más suave de una serie de lápices de diferentes grados de dureza, sobre la capa del recubrimiento.

Para películas más gruesas (750  $\mu\text{m}$  (30 mils)), caucho plásticos, las pruebas de dureza Barcol (ASTM D 2583) y Durometer (ASTM D 2240) pueden ser utilizadas. Estas miden la profundidad de penetración de una sonda.

**Flexibilidad.** La flexibilidad del recubrimiento puede ser determinada doblando un panel ya revestido sobre una superficie cilíndrica o cónica

(ASTM D 522). Es deseable que el recubrimiento sea flexible, de modo que pueda expandirse y contraerse fácilmente junto con el sustrato. Un recubrimiento final rígido puede rajarse o partirse al expandirse junto con una base flexible. Las capas duras tienden a ser rígidas, así que es importante buscar un equilibrio entre flexibilidad y dureza si se desea un recubrimiento durable.

**Resistencia a la Abrasión.** En muchas condiciones de servicio, la resistencia a la abrasión es importante. Los recubrimientos de zinc inorgánico están entre los recubrimientos industriales más resistentes a la abrasión. El abrasivo Taber (ASTM D 4060) y la prueba de lijado (ASTM D 968) son dos métodos de medición de la resistencia a la abrasión.

**Resistencia a la Intemperie.** Todos los recubrimientos orgánicos están sujetos al deterioro producido por la radiación solar ultravioleta, la cual rompe los lazos químicos en los adhesivos orgánicos. La humedad (lluvia) acelera asimismo el deterioro del recubrimiento. Los recubrimientos exteriores tales como los epóxicos, que poseen poca resistencia a la radiación ultravioleta, deben ser recubiertos adicionalmente con un revestimiento que proporcione dicha resistencia (por ejemplo, poliuretano o acrílico).

**Intemperie Acelerada.** Se ha desarrollado una variedad de dispositivos para la exposición simulada de paneles recubiertos, a diferentes ambientes naturales, pero una mayor intensidad para acelerar simultáneamente la incidencia de los elementos sobre los recubrimientos y así obtener datos con mayor rapidez. Desafortunadamente los datos obtenidos mediante estos dispositivos no se suelen correlacionar bien con los datos provenientes del proceso natural, más lento. Estos dispositivos generalmente buscan determinar los efectos de la luz, el calor y la humedad sobre los recubrimientos.

**Resistencia a los Impactos.** La resistencia de un recubrimiento a los impactos es una medida tanto de su flexibilidad como de su adherencia. La prueba ASTM D 2794 es generalmente utilizada para determinar la resistencia a los impactos, consiste en soltar un peso dado desde distintas alturas hasta que el recubrimiento se fracture o se desprenda, lo que es medido en centímetros por kilogramo (pulgada por libra).

**Resistencia Química.** Las superficies interiores que almacenan agua combustibles o químicos deben ser recubiertas con un revestimiento resistente a dichos productos almacenados.

**Resistencia a los Agentes Biológicos.** Las superficies recubiertas para regiones tropicales y subtropicales deben poseer un agente anti enmohecimiento incorporado para protegerlas del deterioro biológico. Los agentes aprobados por la agencia de protección ambiental y que han pasado las pruebas de resistencia biológica de la Sociedad Norteamericana de Pruebas y Materiales (ASTM) son los que debe usarse. Los componentes de mercurio, muy usados en el pasado, ya no están permitidos.

Los recubrimientos anti biológicos son aplicados a las partes sumergidas de los barcos y otras estructuras marinas flotantes para controlar su colonización por organismos marinos.

Los recubrimientos anfibiológicos más frecuentemente usados hoy en los buques de guerra y en la industria son los recubrimientos ablativos (auto lustrantes) que contienen óxido de cobre. Mientras el barco navega, el recubrimiento es lentamente desgastado para soltar el óxido de cobre.

### **5.3. Mecanismos de la Formación de la Película de Recubrimiento**

Dos términos comúnmente empleados para describir la formación de la película protectora son termoplástico y termoconfigurado.. Estos vocablos fueron originalmente usados en la industria de los plásticos. Los materiales termoplásticos pueden ser reversiblemente ablandados y endurecidos mediante el calor y el enfriamiento respectivamente; mientras que los materiales termoconfigurados atraviesan un proceso de cambio químico durante la formación de la película protectora, de forma que no pueden ser ablandados por el calor estos términos son ahora también empleados en la industria de los recubrimientos para clasificar tipos de recubrimientos de acuerdo con la naturaleza de sus resinas en películas secas o curadas, aunque sus significados originales han cambiado un tanto. Un recubrimiento termoplástico forma una película a partir de la evaporación del solvente orgánico y permanece químicamente inalterado y, de este modo es soluble en su solvente original; un recubrimiento termoconfigurado sufre una reacción química para formar una película que es insoluble en solventes comúnmente usados. Los recubrimientos al látex comunes son asimismo termoplásticos ya que permanecen químicamente inalterados durante la formación de la película.

Los términos "termoplástico" y "termoconfigurado" son más exactamente aplicados a recubrimientos que usan el calor en la fase de formación de la película protectora. El alquitrán de carbón y los esmaltes asfálticos son termoplásticos, en el sentido que deben ser derretidos para ser aplicados, mientras que los recubrimientos de epóxi, agregados mediante calor son termoconfigurados en el sentido que son curados mediante reacción química que se produce a partir de la fusión por calor.

#### **5.3.1. La Formación de la Película y la Solubilidad del recubrimiento.**

Los recubrimientos cuyos aglutinantes son disueltos en solventes orgánicos y forman películas por la simple evaporación del solvente son comúnmente llamados "lacas". Los recubrimientos a base de agua que forman películas por aglutinación durante la evaporación del agua son llamados recubrimientos "látex" o a la "emulsión". Dado que estos dos tipos de aglutinantes permanecen químicamente inalterados en la formación de la película, pueden ser nuevamente disueltos en solventes orgánicos.

Los recubrimientos que forman películas protectoras mediante una reacción química tienden a ser insolubles en solventes orgánicos comunes. Las películas de los recubrimientos que se oxidan con el aire (base al óleo) son solubles después de su formación inicial. Con algo de tiempo adicional, el continuo trenzado de la cadenas de los polímeros los hace menos solubles. La solubilidad en un solvente fuerte, como por ejemplo, el metil-ketona

(MEK) puede ser empleada para distinguir entre algunos tipos de recubrimientos generales, tal como se indica en la siguiente tabla:

**Tabla 5.2. Recubrimientos solubles e insolubles en MEK**

| Recubrimientos solubles en MEK   | Recubrimientos insolubles en MEK   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lacas</li> <li>• Productos al látex</li> <li>• Productos al óleo</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Productos químicamente reactivos</li> <li>• Productos al óleo (sólo ligeramente solubles con el paso del tiempo)</li> </ul> |

**5.3.2. Mecanismos de Formación de la Película.** Los recubrimientos son convertidos en películas protectoras sólidas mediante un proceso generalmente llamado formación de la película o curado. El curado es definido como: “El proceso por el que se cambian las propiedades de una pintura, de su estado líquido a una película seca, sólida y estable por una reacción química con el oxígeno, la humedad o aditivos químicos, o por la aplicación de calor o radiación”

De acuerdo con esta definición estricta, los recubrimientos que forman películas protectoras sin pasar por una reacción química no curan, sino que simplemente se secan para formar la película. No se debe confundir las palabras “secado” y “curado”. El primero consiste en la pérdida de solvente y/o agua, lo cual puede o no producir una película protectora, mientras que el “curado” siempre produce dicha película

La mayoría de orgánicos son mejor clasificados bajo las categorías de no convertibles y convertibles. Los no-convertibles son los que contienen una resina que no cambia durante la formación de la película. Los recubrimientos convertibles contienen una resina o un componente que produce una resina, que sufre un cambio químico durante la formación de la película.

Los recubrimientos que curan bajo el mismo mecanismo básico tienden a ser compatibles unos con otros, pero no lo son con otros recubrimientos que curan por otros mecanismos. La mayoría de los recubrimientos son convertidos en películas protectoras sólidas por uno de los siguientes tres mecanismos básicos:

- Evaporación del solvente o el agua
- Reacción del aceite secante en el aglutinante con el oxígeno del aire
- Reacción química de sus componentes

Sin embargo existen otros pocos mecanismos de formación de la película protectora que se indican a continuación:

No convertibles

- Evaporación del solvente orgánico
- Aglutinación de partículas de látex
- Cambio de fase

Convertibles

- Oxidación con el aire (polimerización) de aceites secantes no saturados
- Reacción química de los componentes
- Reacción con la humedad o con el óxido de carbono del aire

#### **5.3.2.1. Recubrimientos No Convertibles.**

Evaporación del solvente. Los recubrimientos que forman películas protectoras por la simple evaporación de solventes orgánicos son llamados a veces lacas. Son producidos al disolverse las resinas sólidas en un solvente apropiado. Después de su aplicación, el solvente se evapora depositando la resina en una delgada capa. No ocurre ningún cambio químico en el aglutinante.

Ejemplos de recubrimientos que curan mediante este mecanismo son:

- Vinilos (cloruros polivinílicos)
- Cauchos clorados
- Acrílicos
- Recubrimientos bituminosos de reducción (alquitranes de carbón y asfálticos disueltos en solventes orgánicos)

Las lacas poseen una baja resistencia a los solventes, ya que se depositan sobre estos, pero son de fácil uso para recubrimientos y reparaciones por que los solventes de los recubrimientos penetran hasta la capa base para unirse firmemente. Debido a que las lacas tienen alto contenido de solvente (VOC), su uso se ha restringido en gran medida.

**Coalescencia.** Los recubrimientos basados en agua generalmente llamados látex o emulsiones, forman películas protectoras mediante la aglutinación de partículas de látex acompañada por la evaporación de agua. Durante el secado, las partículas dispersas de resina sólida se aglutinan para formar una película protectora. Estos recubrimientos usualmente contienen algún solvente orgánico que controla la formación de la película, proporcionando facilidad de aplicación y ayudando en la aglutinación de las partículas de la resina de látex.

Los dos recubrimientos de látex más comúnmente usados son:

- Acrílicos
- Acetatos de polivinilos

Las películas de látex son bastante flexibles, pero tienden a ser más permeables y menos durables que la mayoría de las otras películas. Una vez aglutinados, los recubrimientos no son afectados por el agua pero pueden disolverse en solventes orgánicos relativamente fuertes. Existen tres tipos básicos de recubrimientos al agua:

- Solubles en agua
- Reducibles en agua
- Dispersables en agua

Solubles en agua, no son suficientemente durables para uso general (de limitado valor protector).

Reducibles al agua contienen una mezcla de solventes que pueden ser adelgazadas con agua.

Existen formulaciones disponibles al álcali o epóxi, ya sea en formas reducibles al agua o dispersables al agua.

**Cambio de fase.** Algunos recubrimientos son calentados hasta que se funden (se derriten) y se aplican calientes. Cuando se enfrían, se endurecen, formando una película. Ejemplos de ellos son los recubrimientos de brea de alquitrán de carbón.

### 5.3.2.2. Recubrimientos Convertibles.

Los recubrimientos convertibles curan vía un amplio rango de mecanismos que incluyen calor, oxígeno, catalizadores, agua o dióxido de carbono, pueden ser:

- Oxidación con el aire de aceites secadores
- Reacción química de componentes
- Reacción del aglutinante con la humedad o con el dióxido de carbono.

Oxidación con el aire de aceites secantes. Los recubrimientos que curan mediante la oxidación de aceites secadores (usualmente de aceite de pescado u origen vegetal) contienen ácidos grasos no saturados que reaccionan con el oxígeno del aire. Se suele también incorporar secadores metálicos en las formulaciones para acelerar esta reacción que es normalmente lenta.

Ejemplos comunes de recubrimientos que curan mediante este mecanismo, son:

- Aceites secantes no modificados
- Epóxi ésteres
- Alquídicos
- Fenoles oleoresinosos
- Alquídicos silicados

Los recubrimientos que curan por oxidación al aire generalmente se desempeñan bien en ambientes atmosféricos suaves. Pero tienen una duración limitada en ambientes químicamente fuertes, especialmente los alcalinos.

**Reacción Química.** Los recubrimientos que curan por reacción química son generalmente los más durables pero tienen mayores requerimientos para la reparación y aplicación en superficies exigentes

que otros tipos de recubrimientos. Generalmente vienen empacados en dos contenedores distintos cuyos contenidos deben ser mezclados para iniciar la reacción de curado. Ambos componentes deben ser mezclados exactamente por el proveedor para obtener una película con las propiedades óptimas. Algunas veces se requiere un “tiempo de inducción” (a menudo denominado “tiempo de reposo”) después de efectuado el mezclado y antes de la aplicación, a fin de que pueda iniciarse la reacción. Después del mezclado hay siempre un “tiempo de vida útil de la mezcla”, durante el cual el recubrimiento debe ser aplicado antes de que la reacción haya avanzado demasiado como para poder aplicar la mezcla.

Ejemplos de recubrimientos que curan por reacción química son:

- Epóxis
- Epóxis de alquitrán
- Poliuretanos
- Poliúreas
- Poliésteres y vinil ésteres
- Fenoles

Debido a que estos recubrimientos son termoconfigurados, generalmente poseen una buena resistencia química a los solventes. También son difíciles de repintar una vez que están completamente curados, porque los solventes de las capas posteriores no pueden penetrarlos. Así, un revestimiento es aplicado mejor mientras el recubrimiento por debajo aun tenga algo de irregularidades residuales.

Para repintar un recubrimiento termoconfigurado completamente curado es necesario tratar la superficie. Los fabricantes de recubrimientos proporcionan siempre las mejores recomendaciones para ello.

Otros ejemplos de recubrimientos que curan químicamente son los distintos zinc inorgánicos. Algunas formulaciones curan por hidrólisis del aglutinante silicado con el agua del aire. Algunos curan por reacción con el dióxido de carbono del aire.

Los recubrimientos ricos en zinc curan mediante el mecanismo de cura de los aglutinantes orgánicos. Así, los epóxi ricos en zinc curan por reacción química, mientras que los vinilos ricos en zinc curan por evaporación de solvente.

#### **5.4. Comparaciones entre Tipos Genéricos de Recubrimientos**

En esta sección se tratará acerca de las propiedades de los recubrimientos más comúnmente usados; sus ventajas y limitaciones serán resumidas en sencillas tablas. Es obvio que estas explicaciones y tablas sólo podrán resumir las tendencias generales. Se deberá consultar a los fabricantes de recubrimientos acerca del empleo apropiado de sus productos. En las tablas se hará mención especial sobre la facilidad de formulación de cada uno de los tipos genéricos con

un bajo contenido de VOC (solvente), ya que las nuevas restricciones sobre contenidos de VOC podrán limitar su uso.

### 5.4.1 Lacas Termoplásticas

Las formulaciones de las lacas con resinas sintéticas (vinilos, cauchos clorados y acrílicos) forman películas durables que tienen una buena resistencia general al agua y a los químicos (en especial a los ácidos y a los álcalis).

**Tabla 5.3. Ventajas y limitaciones de las lacas termoplásticas**

| Ventajas   | Limitaciones   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Secado y recubrimiento rápidos</li> <li>• Buena resistencia química general</li> <li>• Buen desempeño bajo el agua</li> <li>• Posibilidad de acrecentar su retención del brillo</li> <li>• Buena durabilidad</li> <li>• Fácil de recubrir y de reparar</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto contenido de VOCs</li> <li>• Baja resistencia a los solventes</li> <li>• Baja capacidad de formación de película protectora</li> <li>• Necesidad de limpieza por chorro de aire a presión para su recubrimiento</li> <li>• Ocasionalmente baja adherencia</li> </ul> |

### 5.4.2. Recubrimientos Bituminosos

Los asfaltos y los alquitranes de carbón son recubrimientos termoplásticos. Fueron muy usados en el pasado debido a su bajo costo y a su facilidad de empleo. Pueden ser aplicados en frío o en caliente.

**Tabla 5.4. Ventajas y limitaciones de los recubrimientos bituminosos**

| Ventajas   | Limitaciones  |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo Costo</li> <li>• Facilidad de aplicación, de repintado y de reparación</li> <li>• Buena resistencia al agua</li> <li>• Buena formación de película protectora</li> <li>• Bajos requerimientos de preparación de superficies</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las reducciones tienen alto contenido de VOCs</li> <li>• Baja resistencia a solventes</li> <li>• Baja resistencia a las condiciones climáticas</li> <li>• Disponible sólo en color negro</li> <li>• Riesgo de toxicidad</li> </ul> |

### 5.4.3 Recubrimientos de Emulsión al agua (Látex)

Los avances en recubrimientos de látex acrílicos permiten su uso directo en superficies de acero. Para usar recubrimientos de látex sobre acero, debe seleccionarse resinas especiales.

**Tabla 5.5. Ventajas y limitaciones de los Látex**

| <b>Ventajas</b>  | <b>Limitaciones</b>   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Ambientalmente aceptables</li><li>• Facilidad de aplicación, limpieza, recubrimiento y reparación</li><li>• Secado veloz que permite su rápido repintado</li><li>• Reducido olor del solvente</li><li>• Excelente flexibilidad</li><li>• Bajo costo</li><li>• Alta seguridad (inflamabilidad reducida)</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Limitada durabilidad</li><li>• Pobre resistencia a químicos y solventes</li><li>• Bajo índice de impregnación en las superficies</li><li>• Pobre desempeño en inmersión</li><li>• Mejor curado sobre los (10°C)</li></ul> |

### 5.4.4. Alquídicos

Aunque los alquídicos han sido por mucho tiempo los recubrimientos protectores más ampliamente usados, su uso está decayendo rápidamente debido a las restricciones de VOCs. Es difícil producir un alquídico de baja viscosidad y bajo contenido de VOC u otro recubrimiento que se oxida con el aire con las buenas propiedades de los productos con alto VOC

**Tabla 5.6. Ventajas y limitaciones de los Alquídicos**

| <b>Ventajas</b>   | <b>Limitaciones</b>  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Fácil aplicación</li><li>• Posibilidad de darle buena flexibilidad</li><li>• Buena impregnación en la superficie y buena adherencia</li><li>• Buena retención de brillo</li><li>• Relativamente bajo costo</li><li>• Proveniente de una fuente renovable.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Relativamente alto contenido de VOC</li><li>• Pobre desempeño en ambientes severos</li><li>• Baja resistencia a los químicos y solventes</li><li>• Pobre resistencia a la inmersión</li><li>• Baja resistencia a los álcalis</li></ul> |

#### 5.4.5. Recubrimientos Epóxicos

Los recubrimientos epóxicos son los productos más comúnmente configurados a partir de dos componentes. Uno de ellos es usualmente llamado base y el otro, agente curante, aunque ambos se describen mejor como co-reactivos.

Los recubrimientos epóxi se unen bien con superficies de acero limpiadas por abrasión y al concreto limpio y son muy durables en la mayoría de los ambientes. Sus películas son duras y relativamente inflexibles; así, no pueden expandirse o contraerse mucho sin quebrarse. Expuestos a la luz solar tienden a “tizarse”, algunas veces perdiendo más de un mil (25,4 micrones) de espesor en un año. Frecuentemente se les aplica un acabado de poliuretano alifático para darles resistencia a la luz ultravioleta y evitar pérdida de material.

Los recubrimientos epóxi con alto volumen de sólidos poseen las siguientes:

**Tabla 5.7. Ventajas y limitaciones de los Recubrimientos epóxicos**

| Ventajas   | Limitaciones   |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Bajo VOC</li><li>• Buena resistencia al agua a los solventes</li><li>• Muchos de ellos tienen buena resistencia química</li><li>• Fuerte, durable, lustroso</li><li>• Buena adherencia</li><li>• Buena resistencia a los abrasivos</li><li>• Curado rápido</li><li>• Pueden ser bien distribuidos en ángulos y esquinas</li><li>• Alta capacidad de formar películas por capas</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Tiempo de vida útil de mezcla</li><li>• Se tizan expuestos a la luz solar</li><li>• Flexibilidad limitada</li><li>• Cura mejor a los 10 °C.</li><li>• Problemas de repintado</li><li>• Requiere superficies limpias</li><li>• Sujetos a “exudación” por aminos</li></ul> |

#### 5.4.6. Recubrimientos Coal Tar Epóxi

Los recubrimientos epóxi de alquitrán son básicamente epóxis (con todas las propiedades de estos) en los cuales se ha incorporado alquitrán en la resina. El alquitrán reduce el costo, mejora la resistencia al agua y proporciona mayor capacidad de formar película. Debido al alquitrán, estos productos tienden a hacerse quebradizos en la luz solar y existen preocupaciones acerca del efecto tóxico del alquitrán. Hoy se usan principalmente para recubrir acero e interiores de tanques.

**Tabla 5.8. Ventajas y limitaciones de los Coal tar epóxi**

| <b>Ventajas</b>   | <b>Limitaciones</b>   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Bajos VOCs</li><li>• Buena resistencia al agua y química</li><li>• Buena formación de película</li><li>• Buena resistencia a la abrasión</li><li>• Costo relativamente bajo</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Tóxico; requiere protección personal</li><li>• Curado lento</li><li>• Tiempo coto de vida en el recipiente</li><li>• Requieren superficies limpiadas con chorro abrasivo</li><li>• Problemas de repintado</li><li>• Disponible solo en negro.</li></ul> |

#### **5.4.7. Recubrimientos de Poliuretano**

También llamados “uretanos” son generalmente sistemas de dos componentes consistentes en un componente del isocianato y un componente de polioli. Dada la capacidad reactiva de isocianato, los poliuretanos son sensibles a la humedad y su brillantez puede decaer si se expone la capa fresca a una alta humedad. Existe gran preocupación por la toxicidad del componente con isocianato y debe usarse protección personal (incluyendo respiradores) durante la aplicación de esta clase de recubrimientos. Se requiere además personal calificado.

**Tabla 5.9. Ventajas y limitaciones de los Poliuretanos**

| <b>Ventajas</b>  | <b>Limitaciones</b>  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Pueden llegar a ser bajos en VOCs</li><li>• Buena resistencia al agua</li><li>• Buena dureza o flexibilidad</li><li>• Los alifáticos tienen buen brillo y buena retención del color</li><li>• Los aromáticos tienen buena resistencia química</li><li>• Buena durabilidad</li><li>• Buena resistencia a la abrasión</li><li>• Se puede obtener una baja temperatura de curado.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Altamente tóxicos; requieren protección del personal</li><li>• Sensibles a la humedad; el brillo puede decaer</li><li>• Requieren personal Calificado</li><li>• Corto tiempo de vida útil de la mezcla</li><li>• Requieren superficies limpiadas con chorro abrasivo de aire a presión</li><li>• Costo superiores a los epóxis</li></ul> |

#### **5.4.8. Recubrimientos de Poliúreas**

Las relativamente nuevas configuraciones térmicas de poliúrea de dos componentes son algo similares a los poliuretanos. Poseen las mismas ventajas de los recubrimientos con 100% sólidos.

#### 5.4.9. Recubrimientos de Siloxanos

Los siloxanos a veces llamados siloxiranos, son recubrimientos termoconfigurados de dos componentes, relativamente recientes. Han sido usado con éxito en puentes, cadenas de anclas, tanques de almacenamiento, chimeneas industriales y equipos de procesamiento químico.

**Tabla 5.10. Ventajas y limitaciones de los Siloxanos**

| <b>Ventajas</b>  | <b>Limitaciones</b>  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Alta cantidad de sólidos (bajos VOCs)</li><li>• Buena resistencia química, al agua y al calor</li><li>• Buen uso industrial en general</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Alto grado de preparación de superficie</li><li>• Relativamente corta vida útil de la mezcla</li><li>• Curado relativamente lento</li><li>• Costo relativamente alto por recubrimiento</li></ul> |

#### 5.4.10. Recubrimientos de Poliéster y Vinil éster

**Tabla 5.11. Ventajas y limitaciones de los Poliéster y Vinil éster**

| <b>Ventajas</b>   | <b>Limitaciones</b>  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Pueden llegar a ser bajos en VOCs</li><li>• Alta formación de películas protectoras</li><li>• Buena resistencia al agua</li><li>• Buena resistencia química a los solventes</li><li>• Buena resistencia a la abrasión</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Limitado tiempo de vida en recipiente</li><li>• Necesita personal capacitado</li><li>• Requieren superficies limpiadas con chorro abrasivo de aire</li><li>• El componente peróxido es peligroso</li></ul> |

#### 5.4.11. Recubrimientos Fenólicos y Fenol-epóxicos

**Tabla 5.12. Ventajas y limitaciones de los Fenólicos y Fenol-epóxicos**

| <b>Ventajas</b>   | <b>Limitaciones</b>   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Recubrimientos duros</li><li>• Buena resistencia química</li><li>• Buena resistencia al calor</li><li>• Buena resistencia a los solventes</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Decoloración durante el curado a temperatura</li><li>• Pobre resistencia a la intemperie</li><li>• Uso limitado</li></ul> |

#### 5.4.12. Pretratamiento Wash primer

Han sido extensamente empleados para favorecer la adherencia del recubrimiento al sustrato o proporcionar protección temporal contra la corrosión antes de aplicar una capa completa de imprimante.

**Tabla 5.13. Ventajas y limitaciones de los Wash Primer**

| <b>Ventajas</b>   | <b>Limitaciones</b>   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Favorecen la adherencia de ciertos imprimantes</li><li>• Proporcionan protección anticorrosiva temporal</li><li>• Secado rápido</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• La película podría sufrir fallas de cohesión cuando se aplica a demasiado espesor</li><li>• Alto contenido de VOCs</li><li>• Contiene cromato</li><li>• Uso limitado hoy en día</li></ul> |

#### 5.4.13. Recubrimientos Inorgánicos Ricos en Zinc.

Usualmente tienen resinas de silicato que pueden ser en base al agua o al solvente. Estos recubrimientos forman una película que da protección galvánica al acero.

**Tabla 5.14. Ventajas y limitaciones de los recubrimientos de zinc**

| <b>Ventajas</b>  | <b>Limitaciones</b>   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Pueden ser bajos en VOCs</li><li>• Buena durabilidad atmosférica</li><li>• Relativamente fáciles de recubrir</li><li>• Preparación moderada de la superficie</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Requieren personal capacitado</li><li>• Requieren ser constantemente agitados en el recipiente</li><li>• Inapropiados para ácidos y álcalis</li><li>• Alto costo inicial</li><li>• Normalmente requieren de acabado</li></ul> |

#### 5.4.14. Recubrimientos en Polvo

Son productos con sólidos finamente divididos que son aplicados a los metales y a otros sustratos y fusionados mediante horneado para que formen una película protectora continua. La industria de los recubrimientos en polvo viene atravesando un rápido crecimiento a nivel mundial, su mayor uso está en Europa y Japón.

**Tabla 5.15. Ventajas y limitaciones de los recubrimientos en polvo**

| Ventajas  | Limitaciones  |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• Bajas emisiones de VOC</li><li>• Baja toxicidad y baja inflamabilidad</li><li>• Posible buena resistencia a la corrosión</li><li>• Buen control del espesor, incluyendo bordes</li><li>• Buena eficiencia de transferencia mediante reciclaje</li><li>• Buena formación de película en una sola capa</li><li>• Bajo desperdicio</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Sus altas temperaturas de cocción limitan su uso a los metales</li><li>• Los cambios de color son caros</li><li>• El polvo suspendido en el aire puede ser explosivo</li><li>• Dificultad de cubrir superficies interiores.</li></ul> |

#### **5.4.15. Recubrimientos Metálicos por Aspersión**

Este proceso a veces llamado metalización, generalmente emplea zinc, aluminio o una aleación de ambos, como una cobertura de sacrificio.

Es importante llevar a cabo una preparación de la superficie de alto grado y la capa final del recubrimiento probablemente sea de aspecto áspero y poroso. El empleo de un recubrimiento sellante no solo extiende la vida útil del recubrimiento al sellar las porosidades, sino que además mejora la apariencia y reduce la aspereza del acabado, Un último revestimiento sobre el sellado metalizado puede conferir protección adicional, así como un acabado decorativo.

#### **5.4.16. Nuevas tendencias en el recubrimiento**

Los fabricantes de recubrimientos siempre están tratando de producir nuevos productos que se vendan bien y cumplan con las exigencias de rendimiento de sus clientes. Tradicionalmente han buscado nuevas formulaciones fáciles de aplicar, que otorguen protección por mayor tiempo o con otras cualidades. Hoy en día deben además cumplir con las disposiciones ambientales vigentes o por establecerse.

La mayoría de los nuevos productos están formulados para tener un bajo nivel de VOCs para cumplir con las respectivas normas, así como no contener plomo, cromo y otras sustancias peligrosas. Por ello, tienden a un mayor contenido de sólidos y a base de agua. Los epóxi masticos son un ejemplo de tales productos. Se les considera tolerantes a las superficies y compatibles con la mayoría de recubrimientos, así como relativamente buenos formadores de película, bajos en VOCs y libres de sustancias peligrosas.

### **5.5. Selección de Sistemas de Recubrimientos**

Los sistemas de recubrimientos protectores pueden proteger con efectividad de la corrosión a los sustratos de acero en todos los ambientes en los que la tasa de corrosión sea menor a 1250  $\mu\text{m}$  (50 mils) por año. En los ambientes donde

ocurran tasas más altas, los materiales resistentes a la corrosión son una mejor alternativa. Ningún recubrimiento se desempeñará bien en todas las situaciones. Al seleccionar un sistema de recubrimiento, la primera consideración es qué propiedades del sistema se desean para cada servicio específico:

- Exposición al clima en exteriores (tizamiento, retención del color y del brillo)
- Resistencia química, a los combustibles y a los solventes
- Resistencia a la abrasión, al calor o al moho
- Apariencia (color, brillo y textura)
- Tiempo de secado
- Facilidad de aplicación y de mantenimiento.

Luego, debe tenerse presente los posibles requerimientos y limitaciones en las siguientes áreas:

- Severidad de la contaminación ambiental
- Necesidad de preparación de la superficie
- Facilidad de acceso del personal
- Tiempos de secado (especialmente cuando el tiempo disponible para el pintado sea limitado)
- Necesidad de personal capacitado
- Necesidad de equipo especial
- Andamiajes
- Requisitos de seguridad y ambientales.

Otros factores locales, tales como los niveles de cloruros transportados por el aire, grado de contaminación de las superficies y radiación solar deben asimismo tenerse en cuenta.

Los costos del ciclo de vida de los productos también han sido siempre una de las consideraciones más importantes en la selección de sistemas de recubrimientos. Hoy en día se debe incluir en estos costos los gastos de remoción, almacenaje y desecho de recubrimientos gastados que pueden ser considerados desperdicios peligrosos. Esto significa casi siempre que el sistema con el tiempo de vida más largo es la mejor opción.

Los sistemas para la reparación in situ deben ser el mismo tipo genérico de mecanismo de curado que los recubrimientos a ser tratados, a fin de evitar productos incompatibles.

Si las disposiciones ambientales no permiten ya el uso de un recubrimiento aplicado con anterioridad, deberá usarse un producto compatible.

Existen varias fuentes de información que toman en cuenta estos factores al proporcionar recomendaciones para una diversidad de condiciones.

## Capítulo 6. Observaciones y Conclusiones

- Las pinturas (revestimientos orgánicos) son sustancias líquidas, que una vez correctamente aplicadas, se transforman en una película sólida, a través del proceso de curado o secado.
- Los principales componentes de una pinturas son: resina, pigmento, solvente y aditivos.
- El componente principal de una pintura es la resina, la que determina las propiedades de la película protectora, las pinturas son generalmente identificadas de acuerdo con ella.
- El principal proceso en la fabricación de una pintura es la dispersión (molienda).
- La evaluación de las propiedades de las pinturas tiene por objeto, ejercer un control de calidad de los productos terminados, y lo que es más importante, asegurar una calidad uniforme en los diferentes lotes de producción que sea reproducible con el comportamiento real de la película en condiciones normales de servicio.
- Los tres mecanismos principales de curado de una pintura son: oxidación de aceites y secantes, la evaporación de solventes y las reacciones químicas.
- Las pinturas que no son modificadas durante el curado son llamadas no-convertibles, los que sufren una reacción química se llaman convertibles.
- La corrosión de los metales es un proceso natural por el cual estos tienden a alcanzar un estado más estable.
- Existen muchas formas de corrosión, así como muchos métodos para controlarla. Un programa exitoso de control de la corrosión utiliza tantos métodos disponibles como sea necesario y práctico.
- Las pinturas protegen al acero de la corrosión mediante, (1) barrera contra los electrolitos, (2) Inhibición química a las reacciones corrosivas (3) protección galvánica (catódica).
- Sin considerar el mecanismo protector en particular, la película protectora debe adherirse bien y poseer otras propiedades necesarias.
- Sin una adecuada preparación de la superficie, la protección otorgada por los recubrimientos se verá significativamente disminuida.
- Las principales funciones de preparación de superficie son: (1) retirar los contaminantes de la superficie que evitan una buena adherencia, y prevenir el deterioro prematuro del recubrimiento y del sustrato, (2) dar textura a la superficie para proporcionar área adicional para que se fije el imprimante (base).
- Las pinturas deben ser adecuadamente aplicadas para proporcionar protección de largo plazo.

- Las pinturas pueden ser aplicadas mediante brocha, rodillo o una variedad de equipos de aspersión. Cada sistema posee sus ventajas y limitaciones. Si resulta una opción práctica, la aspersión ofrece la mejor opción económica.
- No todos las pinturas pueden ser aplicadas con éxito mediante todos los métodos de aplicación.
- Existen diferentes sistemas para la protección de superficies de acero contra la corrosión.
- La selección apropiada de un sistema para una estructura en particular debe estar basada tanto en el ambiente a que estará sometido como en el tipo de servicio que llevará a cabo.
- El sistema de pintura proveerá la protección deseada sólo si es aplicada correctamente a una superficie preparada.
- Con las muchas limitaciones puestas sobre las formulaciones para recubrimientos, los productos modernos de alto rendimiento deben ser escogidos cuidadosamente y aplicados a superficies apropiadamente preparadas, para conseguir el rendimiento óptimo.
- Existen muchas operaciones peligrosas involucradas en el recubrimiento de estructuras industriales y equipo.
- Durante el desarrollo de una obra todos los participantes deberán estar involucrados en la seguridad.
- Los principales peligros durante las operaciones de pintado industrial son: Materiales tóxicos, preparación de superficie, Aplicación de la pintura y lugares altos, confinados y remotos.

## Capítulo 7. Bibliografía

- Principles of Paint Formulations – An Overview, G. W. Buttrick GWB Consulting Co, 1999, FSCT International Coatings Technology Conference
- Formulating for Architectural Paints, Mike Kaufman, UCAR Emulsion Systems, 1999, FSCT International Coatings Technology Conference
- Resins for Surface Coatings Vol II, Alkyds and Polyesters by P. Deligny & N. Tuck
- Protective Coatings, Fundamentals of Chemistry and Composition, Clive H. Hare
- KRONOS Titanium Dioxide in Emulsion Paints, Heinz Dorr & Dr. Franz Holzinger
- Solvents by William H. Ellis, Federation Series on Coatings Technology
- Tecnología de los Recubrimientos de Superficie, Dean H. Parker
- Curso SSPC, Fundamentos de Recubrimientos Protectores para Estructuras Industriales.
- Curso Internacional, Control de Calidad de Pinturas de acuerdo a la norma ISO.
- Curso Internacional, Protección de Estructuras Metálicas Aplicando la Norma ISO.
- Tintas e Vernizes – Ciencia e Tecnologia, Publicación Abrafati, Sociedad Brasileira de Fabricantes de Pinturas, Volumen 2

# Anexos

## Anexo 1

### Preparación de la Superficie para el Pintado

La preparación de superficies es uno de los factores más importantes en el desempeño de los recubrimientos de uso industrial. Incluye:

- La limpieza previa o limpieza con solvente para retirar los contaminantes de la superficie,
- La limpieza de una superficie hasta el nivel deseado y
- La generación de un perfil (textura) para lograr una buena adherencia del recubrimiento.

La preparación mediocre de una superficie puede producir una falla catastrófica del recubrimiento debido a la inadecuada fijación del mismo o a un ampollamiento osmótico. Asimismo puede acortar significativamente el tiempo de vida de un recubrimiento.

### Contaminantes de la superficie que causan el deterioro temprano del recubrimiento

Los contaminantes de la superficie que podrían causar un deterioro temprano del recubrimiento incluyen:

- Óxido
- Escamas de laminación
- Grasa y aceite
- Suciedad y polvo
- Sales solubles
- Agua
- Tizamiento
- Pintura suelta, agrietada o descascarada

**Óxido.** El óxido consiste en los productos de la corrosión del acero (óxidos de hierro). Ya sea que estén sueltos o relativamente fijos a la superficie, deben ser correctamente retirados para lograr un desempeño satisfactorio del recubrimiento.

**Escamas de Laminación.** Estas consisten en residuos un tanto azulados y brillantes, formados sobre el acero durante su procesamiento.

**Grasa y Aceite.** Incluso las capas más delgadas de grasa y aceite (que podrían no ser tan visibles) evita que el recubrimiento se adhiera adecuadamente a la superficie a pintar.

**Suciedad y Polvo.** Estos también evitan una correcta adherencia del recubrimiento y deben ser asimismo completamente retirados.

**Agua.** Las superficies de acero deben estar secas antes del pintado. La humedad puede producir óxido antes del pintado o acelerar la corrosión debajo de la película después. El agua también podría evitar que un recubrimiento orgánico impregne correctamente la superficie del metal o del concreto.

**Sales Solubles.** Las sales solubles se precipitan desde la atmósfera como contaminantes marinos o industriales sobre las superficies exteriores. Si no son completamente removidas del acero y del concreto por limpieza con aire

en chorro abrasivo o por limpieza con herramientas aceleran la corrosión del acero limpio.

**Tizamiento de la Pintura.** La luz solar ultravioleta causa que todos los recubrimientos orgánicos exteriores se tizen en alguna medida. Este es un residuo producido por el deterioro del aglutinante orgánico en la superficie del recubrimiento.

**Pintura Deteriorada.** Toda pintura vieja y suelta debe ser asimismo retirada antes del pintado de mantenimiento.

## Métodos de Preparación de Superficies

Existen muchos métodos de limpieza de superficies para su recubrimiento. Los métodos más usados son:

- Limpieza con solventes (SP 1)
- Limpieza con herramientas manuales y motrices (SP 2 y SP 3).
- Limpieza química (TU 6)
- Chorro abrasivo (en húmedo y en seco) (SP5,10,6, 14 y 7)
- Limpieza con chorro de agua (SP 12) .

**Limpieza con Solventes (SP 1).** La grasa y el aceite pueden ser retirados de las superficies contaminadas con varios métodos descritos en SSPC-SP 1. Estos incluyen:

- Limpieza con solventes
- Limpieza a vapor
- Limpieza alcalina
- Limpieza con detergentes y agua

**Limpieza con Herramientas Manuales (SP 2).** Las herramientas manuales para limpieza sólo remueven la pintura suelta, el óxido y las escamas de laminación del acero. Es un proceso lento y por ello es usado principalmente para limpiar puntos específicos de la superficie. Estas herramientas incluyen raspadores, cepillos de metal y lijas.

**Limpieza con Herramientas Motrices (SP 3).** Las máquinas de limpieza (eléctricas y neumáticas) son esencialmente réplicas de las herramientas manuales en forma de equipos mecánicos, para una limpieza más rápida. Incluyen fijadoras, moledoras, cepillos de metal martillos neumáticos, raspadores, y pistolas.

**Remoción Química (SSPC-TU 6).** Los removedores se usan frecuentemente para retirar la pintura de paredes y a veces se usan en estructuras industriales. Los removedores alcalinos son más efectivos retirando las pinturas al óleo y los removedores de tipo solvente son más efectivos con pinturas al látex. Podría ser necesario usar ambos tipos para quitar la pintura en capas alternadas de recubrimiento al óleo y al látex de una superficie.

**Agentes Selectivos de Liberación de Adherencia.** Los agentes selectivos de liberación de la adherencia son removedores químicos relativamente nuevos. Estos son macroemulsiones de solventes al agua.

**Chorro Abrasivo.** La limpieza por chorro abrasivo es a menudo el método preferido para preparar el acero y otras superficies metálicas para su limpieza. Usualmente incrementa notablemente el tiempo de servicio de sus recubrimientos en comparación con aquellas limpiadas con otros métodos.

**Limpieza por Chorro de Agua (SP 12).** La limpieza con agua y con chorro de agua son usadas a menudo para limpiar las superficies de metal y concreto para su pintado.

**Limpieza con Chorro Abrasivo Húmedo.** El abrasivo puede ser inyectado en la corriente de agua o usado separadamente después de la aplicación del agua para la limpieza para quitar las escamas de laminación y para dar rugosidad a la superficie del metal.

### Métodos Recomendados para Remover Diferentes Contaminantes

En el siguiente cuadro se muestran los contaminantes que son mejor removidos con los distintos métodos de limpieza:

**Tabla A1.1. Remoción de contaminantes**

| Métodos de limpieza                 | Contaminantes  |
|-------------------------------------|--|
| Desengrase                          | Grasa y aceite                                       |
| Lavado a presión                    | Suciedad y moho                                      |
| Herramientas manuales y motrices    | óxido suelto, escamas de laminación y pintura suelta |
| Limpieza con agua a baja presión    | Suciedad y moho                                      |
| Chorro de agua a alta presión       | Incrustaciones marinas, óxido y pintura sueltos      |
| Chorro de agua a ultra alta presión | Óxido, pintura firme                                 |
| Chorro abrasivo                     | Óxido, escamas de pintura firme                      |

### Métodos Recomendados de Limpieza para Metales

Cada tipo de metal tiene su propio método ideal de preparación de superficies para su pintado. Los distintos grados de dureza de los metales afectan la selección del método de preparación.

**Acero.** El método de limpieza más productivo para el acero desnudo es el lavado con solvente o la limpieza a vapor, seguida por limpieza con chorro abrasivo.

**Acero galvanizado.** El método recomendado de limpieza del acero galvanizado no revestido varía con las condiciones en que se encuentra su superficie. La limpieza con solvente simple puede ser adecuada para un galvanizado nuevo y limpio.

**Aluminio y otros metales suaves.** El aluminio nuevo y limpio así como los otros metales suaves pueden ser adecuadamente limpiados para su recubrimiento mediante lavado con solvente.

**Aleaciones de acero.** El acero de baja aleación (a la intemperie) normalmente no es pintado por protección, pero depende de una película de

óxido natural que se forma en lugares con bastante humedad. Si el ataque de la oxidación requiere retirar el óxido y revestir el acero, la limpieza deberá hacerse con chorros de agua a alta presión o a ultra alta presión. Podría ser necesaria la adición de abrasivo para obtener un perfil dado en la superficie.

### Estándares para Superficies de Acero Limpias

Los estándares sobre preparación de superficies de acero para su limpieza mecánico establecidos por la SSPC han sido resumidos líneas abajo, en orden ascendiente de limpieza:

**Tabla A1.2. Estándares para preparación de superficies – limpieza manual**

| Estándar PSC  | Nivel de remoción de contaminantes  |
|---|---|
| SP2 Limpieza con herramientas manuales                  | Quita toda escama de laminación suelta, óxido y pintura                                   |
| SP3 Limpieza con herramientas motrices                  | Quita toda escama de laminación suelta, óxido y pintura                                   |
| SP15 Limpieza comercial con herramientas motrices       | Quita todos los contaminantes visibles, menos óxidos hasta 33%; rugosidad mínima de 1 mil |
| SP11 Limpieza al metal blanco con herramientas motrices | Quita todos los contaminantes visibles; rugosidad mínima de 1 mil                         |

Los estándares sobre preparación de superficies de acero para su limpieza mediante chorro abrasivo establecidos por la SSPC han sido resumidos líneas abajo, en orden ascendiente de limpieza:

**Tabla A1.3. Estándares para preparación de superficies – limpieza mediante chorro abrasivo**

| Estándar PSC  | Nivel de remoción de contaminantes  |
|---|---|
| SP 7 Limpieza con chorro abrasivo grado ligero            | Quita toda escama de laminación suelta, óxido y pintura   |
| SP14 Limpieza con chorro abrasivo grado industrial        | Quita todos lo contaminantes menos las trazas de escamas de laminación, óxido y pintura muy adheridos |
| SP 6 Limpieza con chorro abrasivo grado comercial         | Quita todos los contaminantes visibles, menos sombras de óxidos hasta 33 %                            |
| SP10 Limpieza con chorro abrasivo grado cercano al blanco | Quita todos los contaminantes visibles, menos sobras de óxidos hasta 5 %                              |
| SP 5 Limpieza con chorro abrasivo grado a blanco          | Quita todos los contaminantes visibles  |

## Niveles de limpieza Requeridos para Diferentes Recubrimientos

Diferentes tipos de recubrimientos requieren diferentes tipos de limpieza. Los recubrimientos al aceite son tal vez más tolerantes a la contaminación, y por lo tanto requieren un nivel menor de preparación de superficie.

A continuación se muestra el orden relativo de preparación de superficies requerido, del más al menos tolerante:

Tipo de recubrimiento

- Aceite secante
- Alquídico
- Coal Tar
- Asfáltico
- Acrílico al agua
- Epóxi mástic
- Laca de vinilo
- Caucho clorado
- Epóxi
- Coal Tar Epóxi
- Poliuretano/Poliúrea
- Zinc orgánico
- Zinc inorgánico

Los niveles más altos de limpieza usualmente resultan en rendimientos más prolongados, especialmente en los recubrimientos de alto desempeño. Asimismo, ambientes severos requieren niveles más altos que los ambientes benignos o suaves.

El nivel nunca deberá ser inferior a lo recomendado por el proveedor del recubrimiento para la base particular y el servicio específico.

## Equipo para Limpieza con Chorro Abrasivo de Aire

El equipo para la limpieza con chorro abrasivo posee cinco componentes básicos:

- Compresor de aire
- Manguera de aire
- Máquina de chorreado
- Manguera de abrasivo
- Boquilla

**Compresor de Aire.** Este aparato, como su nombre indica, toma, comprime y libera grandes volúmenes de aire por acción de un pistón o de un rotor hacia la máquina de chorreado.

**Limpieza del Aire y del Abrasivo.** Se emplean filtros de agua y de aceite para remover los contaminantes que podrían ser transferidos a las superficies limpiadas.

**Manguera de Flujo de Aire.** La manguera que lleva el aire desde el compresor a la máquina de chorreado no requiere ser tan durable como la manguera del abrasivo, en la medida que no es atacada por el componente abrasivo o arrastrada por el suelo.

**Máquina de Chorreado.** La máquina de chorreado (llamada por la gente del medio la "tolva de arenado ") contiene el abrasivo. Una válvula que se encuentra en el fondo del recipiente controla la cantidad de abrasivo que ingresa a la manguera

**Manguera de Abrasivo.** La manguera que lleva el aire con el abrasivo desde la máquina de chorreado hasta la boquilla de aplicación debe ser robusta y flexible y tratada para evitar choques eléctricos.

**Boquilla.** Las boquillas o aplicadores están disponibles en diferentes longitudes, diseños, tamaño de boca y materiales. La forma afilada de la boquilla venturi es mucho más eficiente que las de forma cilíndrica. Produce un patrón más uniforme del chorro y puede llegar a incrementar las tasas de limpieza en hasta 30 o 50 %.

## **Perfil de Anclaje y Abrasivos Perfil de Anclaje**

### **Perfil del Anclaje.**

El perfil del acero limpiado con abrasivos es el contorno sobre un plano perpendicular a la superficie. Se le clasifica según su profundidad y textura. La profundidad de dicho perfil es una medida de la aspereza de la superficie limpiada, sobre la base de la distancia promedio entre "picos y valles".

### **Propiedades del Chorro Abrasivo**

Por lo general se emplean cuatro tipos de abrasivos en la limpieza por chorro. A continuación se describe cada uno de ellos.

**Abrasivos minerales naturales.** La silica está bastante disponible y es barata y efectiva. Pero existe preocupación por sus efectos nocivos a la salud, lo que restringe su uso. La estauroлита, un abrasivo de arena natural no silicada es más cortante y produce menos polvo. El granate es un abrasivo angulado natural y fuerte que puede ser reciclado varias veces.

**Abrasivos de escoria.** Las escorias de cobre, níquel, carbón, que son subproductos industriales, son de rápida acción, pero tienen una alta tasa de desperdicio y no pueden ser redoladas.

**Abrasivos metálicos.** Los abrasivos de acero redondos y angulares son efectivos, duros y libres de polvo. Deben ser conservados secos para prevenir su oxidación. En realidad todos los abrasivos deben ser guardados en sus envases originales sellados hasta su uso.

**Abrasivos sintéticos.** El óxido de aluminio y el carburo de silicón son abrasivos no metálicos con propiedades de limpieza similares a los metálicos, pero sin problemas de óxido que los afecte. Son duros, rápidos y bajos en polvo, pero son caros y necesitan ser reciclados para ser económicos.

Un abrasivo de grano más grande cortará más profundamente que uno de grano menor, pero la tasa más alta de limpieza la da generalmente uno pequeño.

## Anexo 2

### Aplicación de Recubrimientos

#### Métodos de Aplicación

Las opciones básicas de los métodos de aplicación de recubrimientos son brocha, rodillo y aspersión. Durante la ejecución de una obra el contratista o el usuario, tienen la opción de escoger el método de aplicación y debe decidir cuál es el mejor para el trabajo particular. Se deben seguir las siguientes consideraciones al seleccionar el método más apropiado:

**Pertinencia para el recubrimiento específico.** Algunos recubrimientos, como los de zinc inorgánicos, sólo pueden ser aplicados con éxito mediante aspersión.

**Pertinencia para los componentes estructurales específicos.** La aplicación con brocha es generalmente preferida en vez de otros métodos en áreas estrechas, como tubos, escaleras y pasamanos.

**Apariencia deseada (brillo, color y textura).** Podría requerirse un equipo especial para el acabado deseado.

**Velocidad, facilidad y economía del método de aplicación.** La economía normalmente dicta la elección de un sistema que pueda hacer el trabajo rápidamente con ninguna o pocas deficiencias que deban ser corregidas más adelante.

**Simplicidad del equipo y capacitación necesaria del operario.** Algunos equipos son muy especializados y requieren capacitación especial.

**Requerimientos de seguridad del medio ambiente.** El material, el equipo y las operaciones deben cumplir todas las disposiciones de seguridad y ambientales.

**Clima.** Es siempre mejor aplicar los recubrimientos en un ambiente cerrado, con control climático, de ser posible. Esto resulta en un trabajo mejor, es más aceptable ambientalmente y se puede hacer en cualquier condición climática.

Las tasas relativas de aplicación de pintura mediante diferentes métodos sobre una superficie plana de acero han sido estimadas de la siguiente manera:

**Tabla A2.1. Métodos de aplicación de pinturas**

| <b>Método de Aplicación</b>            | <b>Pies Cuadrados Aplicadas Por Hora</b> | <b>Metros Cuadrados Aplicadas Por Hora</b> |
|--|--|--|
| Brocha                                 | 75-125                                   | 7-12                                       |
| Rodillo                                | 150-300                                  | 14-28                                      |
| Aspersión HVLP                         | 185-310                                  | 17-30                                      |
| Aspersión de Aire Convencional         | 200-450                                  | 18-42                                      |
| Aspersión asistida por aire o sin aire | 500-1250                                 | 50-120                                     |

### **Tasas de Rendimiento**

Teóricamente, un litro de pintura cubrirá (en teoría) 10 metros cuadrados con un espesor de 100 micras o 1 000 metros cuadrados por micra.

$$\text{Tasa teórica de rendimiento de un galón USA en pies cuadrados} = \frac{1600 \times \% \text{ de sólido (en decimales)}}{\text{Espesor de película seca en Mils}}$$

Dado que la eficiencia de transferencia nunca llega a 100, la tasa teórica de rendimiento debe ser reducida por un factor estimado (o sea, 15%) para obtener una tasa de rendimiento práctica.

### **Aplicación de Recubrimientos con Brocha**

La brocha es un método simple y efectivo de aplicar un recubrimiento. Es especialmente bueno para imprimantes, ya que trabaja la pintura en las irregularidades de la superficie. Es asimismo un método especialmente bueno para aplicar recubrimientos al aceite y al agua. La brocha no es buen método para aplicar lacas debido a su rápida evaporación o para aplicar recubrimientos de zinc inorgánico porque las partículas más pesadas de zinc se asientan si el producto no se mezcla continuamente.

Debido a que es un procedimiento relativamente lento, la brocha es principalmente usada para aplicar franjas de pintura o recubrimientos adicionales o de retoque en bordes y esquinas y en formas difíciles o complicadas, o cuando la excesiva aspersión puede llegar a ser un problema serio. No produce un espesor de película muy uniforme.

La aplicación con brocha puede dejar marcas con pinturas que se nivelan bien, produciendo áreas con menor espesor. En ese caso se tendrá que aplicar capas adicionales con el trazo en ángulo recto con respecto a los trazos de las capas anteriores para evitar surcos y capas muy delgadas.

## **Aplicación de Recubrimientos con Rodillo**

El rodillo es usado en superficies más bien amplias y planas que no requieren el acabado liso ni el espesor uniforme que da la aspersión [spray]. También trabaja bien en interiores en los que la aspersión excesiva puede producir halos o problemas de limpieza. Es adecuado para recubrimientos al aceite y al agua. No es un método apropiado para aplicar lacas ni recubrimientos de zinc inorgánico por que el rodillo puede generar marcas de vetas, lo mejor es aplicar varias capas, cada una en ángulo recto con respecto a la capa anterior.

## **Aplicación con Equipo de Aspersión**

La aspersión es un buen sistema de aplicación para casi todos los tipos de recubrimientos, y la opción usual para la mayoría de los recubrimientos industriales. Es bueno para recubrimientos con alto contenido de sólidos y de zinc inorgánico, que son difíciles de aplicar con brocha o rodillo.

Se han desarrollado muchas variaciones de equipos de aspersión y procedimientos de aplicación recientemente para exigencias cambiantes. Se comentará cada uno de ellos.

### **Rociado Convencional con Aire**

La aspersión convencional con aire fue el primer método de pintura por aspersión usado y es aun el más empleado hoy. El aire comprimido atomiza la pintura hacia fuera de la boquilla y la impulsa hacia el objeto. La pintura es llevada hacia la boquilla por sifón o por presión. La aspersión convencional con aire ofrece la atomización y el acabado más fino y la mayor versatilidad, pero también produce el mayor desperdicio de pintura.

A menudo el equipo no es adecuado para la aplicación de los modernos recubrimientos industriales, los cuales deben ser adelgazados notablemente a fin de ser empleados en equipos convencionales de aspersión. El adelgazamiento puede causar muchos problemas en la formación de la película y tiende a reducir la calidad especificada. También puede producir un exceso de VOCs.

### **Ventajas**

- Atomización y acabado más finos
- Buen control por parte del operario, versatilidad
- Baja inversión inicial

### **Limitaciones**

- Baja eficiencia de transferencia
- Bajo avance
- Se produce sobre pulverizado [overspray]
- Los materiales viscosos pueden presentar problemas

### **Rociado sin Aire**

En el rociado sin aire la atomización es producida por el forzamiento de la pintura a través de un pequeño orificio mediante una alta presión hidráulica.

Los equipos de aspersión sin aire pueden ser accionados con electricidad, gasolina o aire comprimido.

### **Ventajas**

- Alta tasa de avance
- Buena aplicación de materiales de alta viscosidad
- Sobre pulverizado reducido
- Mejor eficiencia de transferencia en superficies grandes

### **Limitaciones**

- Presiones de aspersión peligrosamente altas
- Poco control por parte del operario
- Acabado de baja calidad
- Altos costos de mantenimiento

### **Rociado sin Aire Asistida por Aire**

La aspersión sin aire asistido por aire atomiza la pintura mediante una combinación de presión hidráulica y presión de aire.

### **Ventajas**

- Atomización más fina
- Menos fugas y derrames
- Buena eficiencia de transferencia
- Mejor control del operario
- Capaz de producir acabados más finos

### **Limitaciones**

- Alto costo de mantenimiento

### **Rociado de Alto Volumen y Baja Presión**

La aspersión de alto volumen y baja presión atomiza la pintura a una presión más baja y luego utiliza un suministro de aire de gran volumen para impulsar el atomizado a una alta velocidad. Es especialmente efectivo para aplicación por aspersión de recubrimientos con alto contenido de sólidos y que cumplen con las restricciones de VOCs.

### **Ventajas**

- Buena eficiencia de transferencia
- Sobre pulverizado y salpicaduras reducidos
- Buena con recubrimientos con alto contenido de sólidos
- Buen control de la pistola

### **Limitaciones**

- Altos costos iniciales y de mantenimiento
- Puede requerir capacitación especial
- Baja tasa de aplicación

### **Rociado Electrostático**

La aspersión electrostática permite la aplicación de recubrimientos sobre superficies conductoras difíciles de revestir con pérdidas mínimas de materiales de pintura. Esta capacidad de pintar alrededor de esquinas permite el recubrimiento efectivo de configuraciones muy complicadas.

Las superficies no conductoras (madera, plásticos y compuestos) pueden recibir un tratamiento o recubrimiento de superficie para hacerlas suficientemente conductoras como para permitir la aspersión electrostática.

La aspersión electrostática posee las siguientes características:

#### **Ventajas**

- Cobertura completa de bordes
- Alta eficiencia de transferencia
- Aplicación más uniforme del pintado
- Ahorro de materiales

#### **Limitaciones**

- Altos costos iniciales y de mantenimiento
- Más factible de automatización
- Requiere operadores capacitados
- Requiere precauciones de seguridad
- Limitado a una sola capa
- Limitado a superficies exteriores
- Requiere de un sustrato conductor

### **Sistemas de Aspersión de Componentes Plurales**

Los sistemas de aspersión de componentes plurales sirven para la aplicación de recubrimientos de dos componentes que curan químicamente y con alto contenido de sólidos, (epóxi y poliuretanos) en las proporciones de volumen exactas especificadas por sus fabricantes. El sistema conduce los productos hacia la pistola de aplicación (generalmente accionada sin aire) para mezclarlos y aplicarlos. Las proporciones del volumen de las partes A y B usualmente varían entre 1:1 y 1:4.

#### **Ventajas**

- Ausencia de problemas por la vida útil de la mezcla
- Bueno para materiales de alta viscosidad
- Tiempos de curado más breves
- Conservación de los materiales

#### **Limitaciones**

- Altos costos iniciales y de mantenimiento
- Requiere control de las proporciones y de las temperaturas de los componentes
- Requiere operario calificado
- Poco práctico para trabajos pequeños

## **Aplicación de Recubrimientos que Curan Mediante Fusión**

Existen dos tipos relativamente comunes de recubrimientos protectores que requieren calor para su fusión y formar así la respectiva película protectora sobre la superficie. Se trata de los recubrimientos orgánicos en polvo y la metalización por aspersión térmica.

### **Recubrimientos en Polvo**

Hoy en día, casi todos los recubrimientos en polvo de película delgada se aplican por aspersión electrostática. Otros métodos poco usados incluyen la base fluidizada y la aplicación por aspersión de flama. En todos los casos, las superficies de metal deben estar muy bien limpias para poder ser sometidas a recubrimientos en polvo.

### **Ventajas**

- Bueno para aplicación en el campo (sin fusión en horno)
- Puede recubrir sustratos no conductores (maderas, concreto, plásticos, etc.)
- Puede recubrir materiales sensibles a la temperatura

### **Desventajas**

- El control de la aplicación es crucial para la adherencia / rendimiento
- El sobrecalentamiento del polvo puede deteriorar la resina
- Requiere tamaño y distribución de las partículas exactas
- Requiere un alto nivel de limpieza de las superficies

### **Metalizado por Aspersión Térmica**

El metalizado por aspersión térmica es un proceso en el cual un metal es derretido y luego esparcido sobre una superficie de metal, normalmente de acero, en la que se enfría para formar una capa protectora.

La superficie del acero debe estar muy limpia y tener un perfil profundo. Las aleaciones más comúnmente usadas para el control de la corrosión son zinc, aluminio puro, o un 85 % de zinc, 15 % de aleación de aluminio.

## **El Manejo de las Pinturas**

### **Almacenamiento**

El almacenamiento de productos de recubrimiento deben

- Minimizar los riesgos e incendio
- Protegerlos de un deterioro prematuro antes de su uso.

Los requerimientos de seguridad para el almacenamiento de pinturas incluyen:

- Almacenamiento en contenedores de laboratorios certificados
- No se debe fumar ni generar fuentes de fuego en el área de almacenamiento
- Los contenedores deben conectarse a tierra
  - Tener al alcance materiales absorbentes de derrames (en kits)

- El almacenamiento de largo plazo debe hacerse en un ambiente cerrado, aislado de otras zonas de trabajo. Debe estar seco, bien ventilado, y protegido de la luz solar, de chispas y de llamas de fuego.

### **El Mezclado**

Durante el almacenamiento, los pigmentos relativamente pesados tienden a asentarse y a endurecerse en el fondo de los recipientes. Dichos productos deben ser nuevamente mezclados hasta recuperar su consistencia original y uniforme. Ello debe hacerse antes de su aplicación para obtener un curado completo y asegurar sus propiedades protectoras. El mezclado de productos guardados puede hacerse manualmente o mecánicamente; se prefiere el último de dichos métodos, especialmente con volúmenes de 20 litros [5 galones] o más o con materiales pesados para asegurar su minucioso mezclado y homogenización.

Los recubrimientos bicompuestos deben ser mezclados en las proporciones correctas y en la manera especificada por el fabricante para lograr las óptimas propiedades protectoras.

### **Adelgazamiento (Reducción) de Recubrimientos Mezclados**

Los recubrimientos adecuadamente formulados rara vez requieren adelgazamiento si se aplican dentro del rango de temperaturas recomendadas.

El adelgazamiento puede ser necesario en días fríos, ya que la viscosidad del producto está inversamente relacionada con la temperatura. Los adelgazadores deben ser del tipo y usarse en las cantidades prescritas por los fabricantes de recubrimientos. Debe cuidarse que el adelgazamiento no produzca que el producto exceda los límites de VOCs.

El recubrimiento a ser aplicado debe poseer un nivel de viscosidad que permita su aplicación apropiada. Existen tres factores que pueden incidir en la viscosidad:

- La proporción entre sólidos y solvente
- La temperatura del producto
- La mezcla de recubrimientos tixotrópicos

### **Filtrado**

Las pinturas deben ser filtradas cada vez que aparezcan grumos, natas u otras irregularidades en ellas. Los recubrimientos de zinc inorgánico deben ser siempre filtrados para retirar lo espeso o pigmentos aglomerados. El filtrado es el último paso antes de la aplicación.

## **Temperaturas y Grados de Humedad para la Aplicación de Recubrimientos**

Los recubrimientos deben ser aplicados únicamente dentro de los rangos de temperatura y humedad recomendados por el fabricante. Las pinturas al aceite se aplican normalmente sobre los 10°C [50°F]. La temperatura del recubrimiento deberá igualarse a la del sustrato.

A fin de evitar la condensación de la humedad del aire sobre la pintura fresca, la pintura deberá ser aplicada cuando la temperatura del sustrato sea de al menos 3°C [5°F] por encima del punto de rocío y no menos. Asimismo, nunca deberá

aplicarse el recubrimiento cuando el viento predominante sea de 22km/h [15mph] o más, o cuando se espera que la temperatura caiga por debajo del punto de congelación antes de que el recubrimiento esté completamente curado. Muchos recubrimientos de zinc inorgánico y de poliuretano que curan con la humedad requieren una humedad relativa específica para su correcto curado (por ejemplo, 30%).

El punto de rocío es la temperatura a la que la humedad del aire condensa. Si una superficie está demasiado cerca en temperatura al punto de rocío, el agua se puede condensar sobre ella, produciéndose una mala adherencia u otros defectos en el recubrimiento.

### **Cómo Lograr el Espesor Deseado**

El espesor de un recubrimiento es extremadamente importante. Si es demasiado delgado no proporcionará la protección adecuada. Una película demasiado gruesa puede reducir la flexibilidad significativamente, causando arrugas o un curado incompleto u otros efectos adversos.

Dado que el espesor de la película seca sólo puede ser medido después del curado del recubrimiento, se deberá usar una técnica diferente al inicio del trabajo para asegurarse que se obtendrá el espesor suficiente en la película seca. Esta técnica es para medir el espesor de la película fresca del recubrimiento inmediatamente después de la aplicación y para calcular el espesor esperado de la película seca a partir de la siguiente relación (para recubrimientos no adelgazados):

$$\text{Espesor de Película Húmeda (EPH)} = \frac{\text{Espesor de Película Seca} \times 100}{\text{Porcentaje de sólidos por volumen}}$$

$$\text{Espesor de Película Seca (EPS)} = \frac{\text{WFT} \times \% \text{ de sólidos por volumen}}{100}$$

El porcentaje de sólidos por volumen es planteado por el fabricante, quien a veces proporciona la relación película fresca / película seca. Esta información generalmente consta en la etiqueta.

Si se añade un adelgazante para reducir la viscosidad, se reducirá el porcentaje de sólidos contenidos por el producto (es decir que el volumen total obviamente aumenta, mas no el volumen de los sólidos). Las proporciones variarán de la siguiente manera:

$$(\text{EPH}) = \frac{\text{EPS} \times (100 + \text{porcentaje de adelgazante añadido})}{\text{Porcentaje de sólidos por volumen}}$$

$$(\text{EPS}) = \frac{\text{EPH} \times 100 + \text{porcentaje de sólidos por volumen}}{(100 + \text{porcentaje de adelgazante añadido})}$$

El pintor o inspector debe determinar siempre el espesor de la película aun fresca de un recubrimiento al iniciar una aplicación, de modo que los cambios necesarios para obtener el espesor requerido se puedan efectuar en ese momento.

## Anexo 3

### Recubrimientos para Estructuras de Acero

Históricamente, diferentes métodos de preparación de superficies y sistemas de recubrimiento han sido usados para proteger de la corrosión a las estructuras de acero.

#### La Selección de la Preparación de Superficie del Acero

##### Preparación de Superficies de Acero Nuevo

En un recubrimiento nuevo y total del acero, lo recomendado es el chorro abrasivo a un chorro y comercial o mejor. El nivel recomendado específico depende de:

- El tipo genérico del imprimante
- La severidad del ambiente
- La duración de servicio deseada

##### Preparación de Superficies para Pintado de Mantenimiento

Para las operaciones de pintado de mantenimiento, la limpieza del acero expuesto por chorro abrasivo (en seco o con agua) o el chorro de agua, proporciona generalmente la mejor superficie de acero para recubrimiento. Si ello resultara poco práctico o prohibitivamente costoso, la limpieza manual mecánica para metal desnudo (SSPC-SP 11) puede proporcionar el grado de limpieza y el perfil deseados. La limpieza comercial (SSPC-SP 15), la limpieza mecánica (SSPC-SP 3) y la limpieza con herramientas manuales (SSPC-SP 2) son más rápidas y menos costosas que SSPC-SP 11, pero no proporcionan un nivel de limpieza tan alto. Sin embargo, en muchos casos, son suficientes para el pintado de mantenimiento. Tanto SSPC-SP 11 como SSPC-SP 15 requieren un perfil mínimo de 1 mil.

#### Sistemas de Recubrimiento Adecuados para el Acero

Un sistema de recubrimiento es la combinación de un nivel específico de preparación de superficie y las pinturas aplicadas a la superficie limpiada. Un típico juego de pinturas incluirá un imprimante, uno o más capas intermedias y una pintura de acabado final. Los sistemas de recubrimiento de uso más frecuente para las superficies de acero incluyen:

- Alquídicos y otros sistemas al aceite
- Sistemas epóxicos y epóxi mástic (con acabados de poliuretano alifático para servicio en exteriores)
- Sistemas coal tar epóxis.
- Sistemas ricos en zinc (a menudo con acabados epóxicos y poliuretano)
- Sistemas acrílicos al agua

##### Los Alquídicos y Otros Sistemas al Aceite

Los alquídicos y otros sistemas de recubrimiento basados en aceite han sido exitosamente usados sobre estructuras de acero en una variedad de ambientes atmosféricos (no sumergidos). Son fáciles de aplicar y reparar, pero su formulación puede volverse difícil a medida que se establezcan

limites de VOC más severos. Típicamente, emplean un imprimante con pigmento inhibidor y dos acabados alquídicos de silicona, para un brillo alto o moderado o alquídicos de bajo brillo.

### **Sistemas Epóxicos**

Los sistemas epóxicos de alto desempeño son usados sobre estructuras de acero en una gran variedad de ambientes, tanto atmosféricos como en inmersión. Los epóxicos-mastics proporcionan formaciones de películas y compatibilidades altas. Los sistemas epóxicos poliamidas son más resistentes al agua, y los sistemas epóxi-aminas son más resistentes a los químicos. Debido a que se tizan frente a la luz solar, reciben usualmente un acabado de poliuretano alifático o de acrílico si se emplean en servicios atmosféricos en exteriores. Los sistemas epóxicos (libres de solvente) con 100% de sólidos son ampliamente usados en tanques de barcos y otros ambientes severos. Algunos tienen capacidad de retención en los bordes de las estructuras.

### **Sistemas de Coal Tar Epóxi**

Los sistemas de coal tar epóxi son extensamente usados en interiores de tanques, recubrimientos de láminas y otras estructuras de acero sumergidas en agua de mar, porque tienen una excelente resistencia al agua. Son generalmente aplicados en dos capas, cada una de 200µm [8 mils] .

### **Sistemas de Poliuretano**

Los recubrimientos de poliuretano pueden ser usados solos o sobre una base epóxica para otorgar algunas de sus propiedades especiales disponibles. Éstas incluyen la resistencia a la intemperie, impermeabilidad a una variedad de productos y dureza o expansibilidad.

Por lo general, los poliuretanos curados por humedad encuentran su uso como imprimantes o como componentes intermedios entre sistemas de recubrimiento. Los poliuretanos de dos componentes son usados a menudo como acabados o como revestimiento en el sistema de recubrimiento.

### **Sistemas de Poliúrea**

Los sistemas de poliúrea tienen propiedades similares a los de poliuretano, y pueden ser usados como híbridos con poliuretanos. Usualmente tienen períodos de curado muy breves y pueden ser aplicados en mareas bajas y curan antes de que el agua nuevamente crezca.

### **Sistemas ricos en Zinc**

Tanto las pinturas de zinc inorgánico como las ricas en zinc orgánico protegen el acero mediante protección galvánica. Se desempeñan bien por sí solas en una variedad de ambientes atmosféricos y en inmersión, pero deben ser recubiertas en ambientes de agua marina, ácidos, o alcalinos, porque el zinc es atacado en dichas condiciones. Estos recubrimientos tienen costos elevados y requieren aplicación capacitada.

### **Sistemas Acrílicos en Base al Agua**

Hay varios sistemas que vienen siendo preparados para satisfacer la necesidad actual de formulaciones bajas en VOC para el acero. Muchos sistemas acrílicos en base al agua son recomendados para el uso en ambientes medios porque son porosos. Algunos son usados bajo exposiciones atmosféricas moderadamente severas.

### **Selección de Sistemas de Recubrimiento por Zonas Ambientales**

El ambiente de exposición es generalmente la preocupación principal al seleccionar un sistema de recubrimiento para estructuras industriales de acero. Otros factores incluyen restricciones gubernamentales, facilidad de aplicación y de mantenimiento, y costos (tanto inicial como de largo plazo).

La SSPC, identifica ocho ubicaciones diferentes con ambientes especiales:

- 1) Regiones de tierra adentro o rurales: Regiones alejadas de las áreas costeras y de las industriales y de los contaminantes de estas. Debe tenerse en cuenta que hoy en día algunas áreas remotas y aisladas reciben lluvia ácida con contaminación de dióxido de azufre transportado por el viento y proveniente de plantas industriales o de generación de energía.
- 2) Regiones muy industrializadas: La vida útil de la pintura es reducida y las tasas de corrosión aumentan.
- 3) Regiones atmosféricas marinas: Reciben brisas salobres provenientes del océano.
- 4) Regiones de inmersión de agua fresca y salobre: Las diferencias entre la inmersión en agua fresca (dulce) y salada se producen debido a efectos de osmosis y electrólisis.
- 5) Regiones de inmersión alternativa: Estas regiones afectan estructuras sujetas a inundaciones y a cambios de mareas; por ejemplo, los cascos de las embarcaciones o los armazones de las instalaciones petrolíferas en alta mar.
- 6) Regiones de condensación y de alta humedad: Esto se refiere a las áreas que sufren una condensación casi ininterrumpida.
- 7) Ambientes químicos: Estos incluyen el contacto con concentraciones altas de gases corrosivos, humos o agentes químicos sobre el acero.
- 8) Regiones subterráneas: Se refiere a estructuras enterradas, tales como tuberías en contacto directo con el suelo, que puede tener alta salinidad (baja resistencia) o acidez.

### **Recubrimientos por Zonas Atmosféricas (Medias y Severas)**

Las estructuras típicas en servicio atmosférico incluyen puentes, tanques de almacenamiento, tuberías, torres y plantas industriales. Las estructuras de acero en ambientes atmosféricos medio (rurales o del interior) pueden ser eficazmente protegidas con un recubrimiento alquídico (por ejemplo, una capa de imprimante y dos de acabado de alquídico de silicona). En ambientes severos (con sales o contaminantes industriales), un recubrimiento de gran rendimiento (por ejemplo, dos capas epóxicas y un acabado de poliuretano alifático) es lo más apropiado. Obviamente, los sistemas de gran rendimiento son también apropiados en

ambientes medios y pueden ser económicos en localidades en las que los costos de mantenimiento y de reemplazo del recubrimiento son muy altos. para retirar contaminantes de superficie sueltos.

**Puentes.** Los puentes de las autopistas y de ferrocarril son recubiertos para proteger sus componentes de acero de la corrosión. Sin embargo, debido a su gran visibilidad, un acabado atractivo es generalmente deseado también. Ambas necesidades pueden ser satisfechas mediante el uso correcto de métodos de limpieza disponibles y productos de recubrimiento.

**Exteriores de Tanques de Almacenamiento, Tuberías y Otras Estructuras de Acero.** Los exteriores de tanques de almacenamiento, tuberías y otras estructuras de acero en servicio atmosférico pueden usar los mismos sistemas de recubrimiento, sin importar su función o los materiales almacenados en ellas. Todas requieren protección contra la corrosión y una apariencia atractiva, ya que son bastante visibles a las personas del área.

En ambientes más severos es necesario un sistema de alto desempeño. Éste podría ser un sistema con dos capas epóxicas y un acabado de poliuretano alifático, o un sistema de una capa cada una de epóxico rico en zinc, poliamida epóxica y poliuretano alifático.

**Torres y Otras Estructuras de Gran Altura.** Hay muchas torres y otras estructuras de metal que requieren recubrimiento. Estas estructuras son recubiertas por una o más de las siguientes razones:

- Protección contra la corrosión
- Apariencia
- Visibilidad

Dos ejemplos de estas estructuras son las torres de transmisión para distribución de energía eléctrica y torres de comunicaciones / radio. La estructura alta más identificable es el tanque de almacenamiento de agua elevado.

### **Revestimientos para Servicio en Inmersión.**

Los revestimientos para servicio en inmersión deben ser resistentes a los productos almacenados en ellos y deben prevenir su contaminación.

#### **Revestimientos para Interiores de Tanques de Agua.**

La mayoría de los revestimientos aprobados hasta la fecha han sido epóxicos. La aprobación significa que ningún material desprendido del sistema de recubrimiento lo hará en cantidades que causen efectos adversos en la salud de las personas. El rendimiento en servicio del sistema no es considerado en dicha norma.

### **Revestimientos Interiores de Tanques de Aguas Residuales.**

Los interiores de los tanques de aguas residuales deben ser resistentes al contenido corrosivo. Están generalmente revestidos con dos o más capas epóxicas o dos capas de coal tar epóxico.

### **Revestimientos para Tanques de Almacenamiento de Químicos.**

Obviamente, los revestimientos para tanques de almacenamiento químico deben ser muy resistentes al producto almacenado en ellos. Los fabricantes de revestimientos están en mejor capacidad de proporcionar información útil acerca de sus productos, pero puede ser necesario efectuar pruebas de inmersión en condiciones de laboratorio antes de emplear un nuevo producto de recubrimiento.

### **Revestimientos para Tanques de Combustible.**

Los interiores de tanques que contienen petróleo crudo pueden estar desnudos o revestidos con dos capas de coal tar epóxi o dos o más recubrimientos epóxicos. Muchos tanques de almacenamiento de petróleo crudo son solamente parcialmente revestidos con recubrimientos sobre el piso y hasta una altura de aproximadamente 1 metro [3 pies] en las paredes. El techo también puede ser recubierto.

Tanques de almacenamiento que contienen productos terminados (por ejemplo, gasolina y combustibles para aviones) son revestidos mejor con un sistema epóxico (por ejemplo, tres capas de poliamida epóxica). Generalmente no se emplea coal tar epóxis porque el alquitrán de hulla puede desprenderse del revestimiento y decolorar el combustible.

La corrosión es generalmente del grado más grave en los pisos de los tanques de combustible, porque siempre hay un poco de agua ahí, a pesar de su extracción periódica por los sumideros.

**Recubrimientos para Servicio Marino.** Los recubrimientos para servicio atmosférico marino fueron descritos al inicio de esta sección. Sin embargo, hay algunas estructuras de acero que tienen áreas tanto húmedas como secas. Éstas incluyen cimentación marina con pilotes y las embarcaciones. En tales ejemplos, es una práctica normal usar protección catódica sobre las porciones sumergidas, además de recubrimientos protectores en las áreas expuestas.

### **Pilotes Marinos**

Las cimentaciones con pilotes marinos son protegidas mejor por chorro abrasivo cercano al metal blanco en un taller (SSPC-SP 10) antes de recubrirlas con uno de los dos siguientes:

- Tres capas de epóxi poliamida, con por lo menos 225  $\mu\text{m}$  (9 mils) de EPS total
- Dos capas de coal tar epóxi, con por lo menos 400  $\mu\text{m}$  (16 mils) de EPS

El recubrimiento de reparación y el reemplazo de pilotes de acero en áreas entre mareas o más bajas es muy difícil. Los diques de encofrado pueden ser usados para recubrir en áreas normalmente sumergidas, y hay unos cuantos productos comerciales diseñados para ser aplicados bajo del agua

por buzos. Los recubrimientos así aplicados no se desempeñan tan bien como aquellos aplicados a superficies secas.

### **Barcos**

Los sistemas de recubrimiento para áreas sumergidas o húmedas de embarcaciones son generalmente epóxi poliamidas. Los recubrimientos contra la suciedad marinas son usados en áreas permanentemente sumergidas y a menudo se usa sobre ellos recubrimientos antideslizantes en las cubiertas se emplea cascajo de óxido de aluminio para proporcionar cualidades antideslizantes los epóxidos y otros recubrimientos para cubiertas. Los sistemas de zinc inorgánico o los epóxicos con revestimientos apropiados pueden ser usados encima.

### **Estructuras de Alta Mar**

El pintado de estructuras de alta mar se diferencia del pintado en tierra en que la logística, el alojamiento, el trabajo y la coordinación de las obras con el personal son especialmente importantes. Todo el personal en estructuras de alta mar debe trabajar con otros tan eficazmente como les sea posible, porque el trabajo de los diferentes sectores de actividades debe ser coordinado durante las buenas condiciones climáticas favorables a las operaciones de pintado.

Las alternativas para la preparación de las superficies incluyen la aplicación con chorro abrasivo contenido, chorro de vacío y limpieza mecánica al metal desnudo (SSPC-SP 11). El grado más alto de limpieza es lo deseable en estos ambientes severos. Las sales solubles (en especial los cloruros) pueden producir el deterioro temprano del recubrimiento, de modo que se requerirá el lavado con agua dulce cuando las superficies limpiadas o nuevas o los nuevos recubrimientos no sean revestidas el mismo día.

Las estructuras en alta mar son inicialmente mejor recubiertas en tierra, donde la buena preparación de la superficie y la aplicación del recubrimiento pueden ser conseguidos. Sobre el agua se usa comúnmente el sistema de tres capas (zinc inorgánico, epóxi y poliuretano alifático) y, bajo el agua, se emplea un sistema de tres capas (una de zinc inorgánico y dos de epóxico). La mayoría de las estructuras en alta mar son protegidas catódicamente debajo del agua. Pueden tener corriente impresa, ánodos de sacrificio o sistemas mixtos de protección catódica.

## DIFERENTES ZONAS DE CORROSIÓN EN UNA TORRE DE PERFORACIÓN

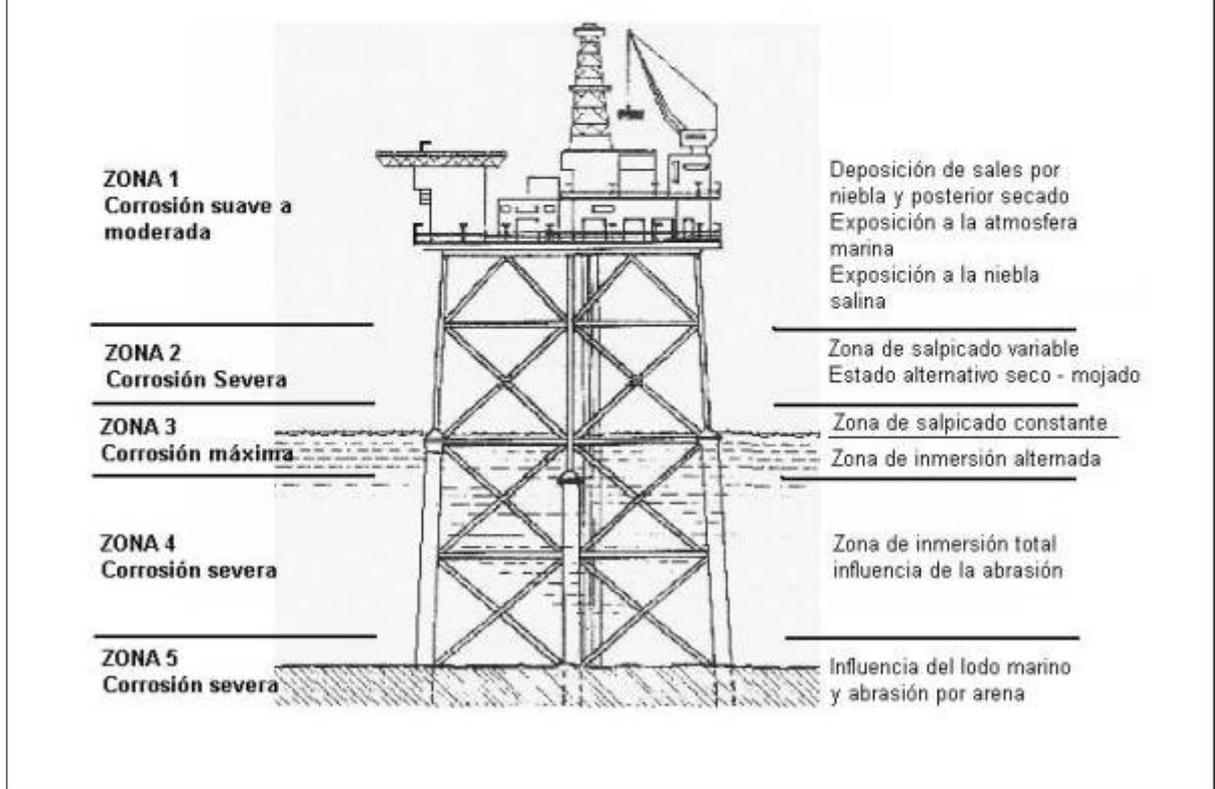


Figura A4.1. Corrosión en torre de perforación

### Recubrimientos para Acero Enterrado

#### El Recubrimiento junto con la Protección Catódica

Se ha reconocido por mucho tiempo que una combinación de protección catódica y recubrimientos como la manera más efectiva de proteger tuberías subterráneas de acero. El recubrimiento aísla el metal de los electrolitos en el suelo, reduciendo así los requerimientos de corriente para la protección catódica. Esto protege al metal expuesto en aquellas partes donde hay discontinuidades en el recubrimiento. Los nuevos recubrimientos para tuberías pueden proporcionar al inicio un 99 por ciento de la protección, pero, medida que se deterioran lentamente, el sistema de protección catódica da más y más protección.

#### Propiedades Deseadas para Recubrimientos de Acero Enterrado

Para que los recubrimientos se desempeñen bien en asociación con la protección catódica, deben poseer las propiedades especiales indicadas a continuación:

- Buena resistencia eléctrica
- Buena resistencia a la humedad
- Buena resistencia a la temperatura
- Buena adherencia al metal
- Resistencia contra el desprendimiento catódico
- Resistencia al daño durante su manipulación
- Facilidad de aplicación y de reparación

### **Aplicación de Recubrimientos**

Hay un gran número de productos (tanto recubrimientos convencionales como materiales alternativos) que poseen las propiedades deseadas para el acero enterrado y se venden para recubrir tuberías colocadas bajo tierra. Estos productos se aplican mayormente en talleres bajo condiciones controladas, con chorro automatizado y reciclaje de abrasivo, y aplicación de recubrimiento. Los otros son diseñados para ser aplicados en el campo, sobre una zanja.

### **Sistemas Protectores**

**Esmaltes Bituminosos.** Los esmaltes de alquitrán o de asfaltos de petróleo han sido usados con éxito por años en tuberías subterráneas. Debido a que estos productos no son resistentes a la luz ultravioleta, deben ser protegidos con papel kraft o blanqueador, si se van a almacenar por períodos largos a la luz solar. El tubo es limpiado por chorro abrasivo de acuerdo con SSPC-SP 6 o 10, luego de lo cual se somete a aplicación en caliente y se envuelve.

**Mastics de Asfalto.** Los mastics de asfalto son recubrimientos gruesos de 12 a 15 mm [1/2 a 5/8 pulgadas] de arena, agregado fino y asfalto. El tubo es sometido a chorro abrasivo con una mezcla de perdigones y granalla angulados (SSPC-SP 6 o 10) y se le aplica un imprimante de asfalto antes de la actuación del mástic. El blanqueador debe ser aplicado para proteger el recubrimiento durante el almacenamiento en exteriores.

**Poliolefinas.** Los sistemas de recubrimiento de poliolefina (polietileno [PE] Y polipropileno [PP] antes daban protección a las tuberías subterráneas. Sin embargo, las películas protectoras a menudo se rajaban o se desprendían. Hoy se usan extensamente en sistemas de 3 capas:

- 1 capa de epóxi aglutinado por fusión (FBE)
- 1 capa de polímero de FBE con PE o PP
- 1 capa de PE o PP

**Recubrimientos en Polvo.** Los recubrimientos termoconfigurados (epóxicos) aglutinados por fusión, son aplicados mayormente por aspersión electrostática generalmente para dar una película de dos capas. Tienen buena resistencia química y son fácilmente inspeccionados en busca de discontinuidades. Tuberías expuestas a la luz del sol pueden tener híbridos (epóxi / poliéster) para otorgar resistencia ultravioleta.

**Uso de Cintas** Muchos sistemas de cinta de plástico están disponibles para ser aplicados en capas a las tuberías subterráneas. El estándar C 209 de la

Asociación Estadounidense de Instalaciones de Agua (AWWA) describe la aplicación de sistemas de cinta en frío para secciones especiales, conexiones y accesorios. Por lo general, el sistema de tres capas se aplica como sigue:

- Imprimante, para una buena adherencia de la cinta al tubo
- Capa interior de adhesivo y cinta de plástico (15 ó más mils) para controlar la corrosión
- Capa externa de cinta de plástico y adhesivo para protección mecánica

Normalmente las cintas tienen una anchura de 5 cm [2 pulgadas] con 2,5 cm [1 pulgada] de sobreposición en espiral. Existe equipo para la aplicación de la cinta en espiral, tanto para trabajos en taller como para uso de campo. Las uniones se envuelven generalmente a mano.

**Mangas de Encogimiento por Calor.** Las mangas de encogimiento por calor pueden ser usadas para proteger áreas de soldadura contra la corrosión. Existen dos tipos:

- Manga tubular sin costura slide sobre el final de tubo
- Manga cruzada termosellada o con cierre.

### **Recubrimientos para Superficies de Alta Temperatura**

La mayoría de los recubrimientos orgánicos no funcionan bien sobre superficies de acero calientes como tuberías, chimeneas, y silenciadores. Hay algunos productos comercializados para este propósito, que son alquídicos de silicona rellena con aluminio, y que se aplican en dos capas. Cuando la temperatura del acero aumenta, la resina alquídica se quema para dejar una película de silicona rellena con aluminio. Dado que esta película es sólo de aproximadamente 1 mil, rara vez proporciona una protección de largo plazo. Un recubrimiento de silicona inorgánica funcionará mejor.

Para la protección a largo plazo, se recomienda aplicar chorro abrasivo al blanco a la pieza en un taller (SSPC-SP 5) y aplicar una de las siguientes opciones:

- 3 a 5 mils de recubrimiento de zinc inorgánico (hasta 330 °C [650 °F])
- 6 a 8 de zinc aplicado por aspersion térmica (hasta 330 °C [650 °F])
- 5 a 7 mils de aluminio aplicado por aspersion térmica (hasta 600 °C [1100 °F])
- 3 a 5 mils de recubrimiento de silicona inorgánica (hasta 815 °C [1500 °F])

Hay recubrimientos orgánicos que proporcionan resistencia a un rango más bajo de temperaturas.

Los recubrimientos aplicados a tuberías aisladas antes del uso funcionan de manera muy diferente a aquellos aplicados a tubos que no han sido aislados.

## Anexo 4

### Degradación, Defectos y Fallas de los Recubrimientos

Las disposiciones gubernamentales que restringen la formulación de recubrimientos (por el uso de solventes) afectan significativamente el empleo de recubrimientos de alto rendimiento. Además se debe tener cuidado de aplicarlos apropiadamente para obtener el máximo rendimiento. Este aspecto se añade a los desafíos normales que deben ser asumidos en el uso de recubrimientos protectores.

#### Definición de los Términos más Usados

Las definiciones de los términos generales comúnmente relacionados con el deterioro / degradación de los recubrimientos, mismas que serán empleadas en esta Unidad, se ofrecen, en orden alfabético, a continuación:

**Falla catastrófica.** Falla repentina, muy dramática y seria.

**Defecto.** Imperfección (falla), deficiencia o falta de terminación, en la superficie o en la película, que se desvían de una especificación o de un estándar aceptado en la industria.

**Degradación.** Cambio en las características o en la calidad de la sustancia original producto de una falla química o del desgaste físico relacionado con el servicio.

**Deterioro.** Pérdida gradual de materiales y/o de propiedades del recubrimiento, resultante de las condiciones naturales predominantes, a diferencia de la degradación, que resulta de las condiciones del servicio. Los recubrimientos de exteriores se deterioran mucho más rápidamente que los recubrimientos de interiores que no se ven sometidos a la exposición atmosférica. El sol y la lluvia aceleran el deterioro. En el hemisferio Norte, los recubrimientos se suelen deteriorar más rápidamente que en el Sur que recibe más luz solar que las otras exposiciones.

**Fallas.** Pérdida de la función o el propósito de un recubrimiento, es decir, cuando ya no protege al sustrato, ya no proporciona una apariencia atractiva u otro propósito específico.

**Análisis de las fallas.** La investigación sistemática dirigida para determinar las causas y las responsabilidades de los defectos de los recubrimientos, pérdida de su función y/o corrosión, si existiera.

Falla prematura. La falla que ocurre significativamente antes de su expectativa de vida útil.

**Vida del servicio.** Período de tiempo durante el cual el recubrimiento proporciona el servicio previsto.

#### Factores que Aceleran el Deterioro del Recubrimiento

La mayoría de las degradaciones y de las fallas de los recubrimientos están relacionados con deficiencias en los materiales, la preparación de la superficie, o la aplicación y/o el curado. Además, otros factores tales como el diseño estructural y el sustrato también podrían contribuir a las fallas del recubrimiento. En esta unidad, los factores conducentes a la degradación del recubrimiento serán tratados con algún detalle para facilitar la comprensión de cómo se relacionan con la degradación del recubrimiento. Debe notarse que puede haber varios factores que contribuyan a la existencia de un único defecto o falla en un recubrimiento.

### **Diseño Estructural**

Las deficiencias en el diseño estructural pueden acelerar el deterioro del recubrimiento y del sustrato. Esto está relacionado normalmente con la retención de agua, la exposición a ambientes agresivos, o rasgos de superficies que las hacen difíciles de limpiar y de cubrir.

### **Propiedades del Sustrato**

Los propios materiales de construcción tienen propiedades químicas o físicas que requieren especial atención en el momento de la selección de los recubrimientos, la preparación de la superficie y la aplicación. Las recomendaciones de los fabricantes para el recubrimiento de diferentes sustratos deben proporcionar las instrucciones necesarias para evitar los problemas relacionados con el sustrato.

### **Deficiencias del Material**

Las deficiencias de los materiales pueden surgir de varias fuentes. Los términos de referencia de un trabajo específico pueden requerir un sistema de recubrimiento que contenga componentes incompatibles entre sí, con el sustrato o con las condiciones del servicio; se podría haber elegido un producto de baja calidad para un ambiente severo; puede haberse cometido algún error durante la fabricación de un producto para recubrimiento; un recubrimiento podría haber sido dañado durante su embarque, su manipulación o su almacenamiento; o el producto podría haber excedido su tiempo de vida (fecha de vencimiento).

Muchas formulaciones para recubrimiento, con muchos años de desempeño exitoso, ya no se fabrican más. Algunas de sus materias primas más importantes ya no están disponibles, o ciertas restricciones gubernamentales prohíben el uso de su formulación original.

Incluso los recubrimientos mejor formulados no se desempeñarán bien si hay errores en su fabricación. Estos errores pueden ser causados por la sustitución inadvertida de productos, por la dosificación de los diferentes productos usados o por los procedimientos de fabricación (por ejemplo, las combinaciones, la dispersión del pigmento, o el asentamiento). Los fabricantes de prestigio efectúan revisiones de control de calidad para evitar tales errores, pero aun así estos pueden ocurrir.

Todos los recubrimientos deben ser manipulados y almacenados de conformidad con las recomendaciones del fabricante. Es muy importante evitar temperaturas extremas. La exposición a una temperatura demasiado alta durante un largo período de tiempo puede reducir significativamente el tiempo de caducidad de un recubrimiento (el plazo durante el cual puede ser

aplicado con éxito para formar una película protectora). Por otro lado, una temperatura demasiado baja puede conducir a la congelación de los productos con base de agua, arruinándolos. En la medida de lo posible, todo producto para recubrimiento debe ser guardado en interiores, nunca a la intemperie, y siempre de acuerdo con las normas de seguridad y las recomendaciones de su fabricante.

Los posibles defectos en la superficie que pueden resultar de un formulado o de un almacenamiento incorrectos, incluyen variaciones en el color deseado, en el brillo, o en la textura, o también en cambios rápidos en estas propiedades durante la exposición a la intemperie. Los defectos de la película pueden incluir un curado lento o incompleto de la película protectora, problemas en la aplicación o deficiencias en las propiedades de la película (flexibilidad, dureza, adherencia o resistencia al ambiente).

Lo mejor es especificar, que todos los productos de un sistema de recubrimiento provengan de un mismo fabricante y que las capas individuales formen parte de un sistema total, diseñado para el propósito previsto. Esto puede ayudar a prevenir disputas en las que los fabricantes de las diferentes capas de un sistema de recubrimiento se culpen unos a otros de incompatibilidades en sus productos, u otro tipo de falla. Del mismo modo, cuando los materiales de recubrimiento provengan de un mismo fabricante, debe solicitarse el acompañamiento de un representante de la marca al sitio de trabajo para suministrar orientación en la aplicación o ayuda técnica en caso de presentarse problemas de aplicación.

Debido a sus propiedades químicas y físicas distintivas, diferentes tipos genéricos de productos son más propensos a clases específicas de degradación.

### **Deficiencias de la Preparación de la Superficie**

Las deficiencias de preparación de superficies que causan defectos de recubrimiento están relacionadas con la contaminación de las superficies o inadecuados perfiles del sustrato. Para cada recubrimiento debe seguirse con precisión las recomendaciones del fabricante para la preparación de la superficie. Esto incluye condiciones ambientales aceptables.

### **Deficiencias de Aplicación y de Curado**

Todos los recubrimientos vienen con instrucciones de aplicación que incluyen los siguientes puntos:

- Equipo de aplicación
- Rangos de condiciones climáticas o ambientales aceptables para la aplicación y el curado
- Mezcla, adelgazamiento y filtrado
- Proporciones de los ingredientes en sistemas de múltiples componentes
- Espesor de la película húmeda y seca
- Tiempos de inducción, de vida útil de la mezcla y de la ventana de repintado para los sistemas de componentes múltiples

Las desviaciones de estas recomendaciones y de aquellas sobre el curado, podrían causar defectos de recubrimiento, vida de servicio reducida o fallas de recubrimiento prematuras. Como sucede con la preparación de superficies, las instrucciones del fabricante deben ser seguidas atentamente.

## **Propiedades del Sustrato**

La selección de los materiales de construcción es importante, ya que estos deben ser compatibles con el ambiente y las condiciones de servicio enfrentadas. Asimismo, las características físicas y químicas del sustrato tienen un efecto importante sobre las necesidades de recubrimiento y su comportamiento.

### **Acero Laminado en Caliente**

El acero presenta un óxido llamado "escamas de laminación" que se forma durante su laminado en caliente. Este residuo debe ser retirado antes de su pintado para su uso industrial, pues de lo contrario, su desprendimiento dañará severamente el recubrimiento protector. El aceite, la grasa, las suciedades y otros contaminantes también deben ser retirados del acero antes de su recubrimiento, para obtener la mayor área posible de contacto.

### **Acero Laminado en Frío**

El acero laminado en frío es mayormente empleado para la fabricación de mobiliario de oficina, aparatos y carrocerías automotrices que para usos en los que se requiere gran resistencia. El laminado en frío produce una superficie más densa y lisa que en el laminado en caliente. Los recubrimientos no se adhieren tan bien a las superficies del primero como sí lo hacen a las superficies adecuadamente limpias del segundo. Por ello se usa a veces tratamientos químicos tales como la aplicación de fosfatos, para mejorar la adherencia de los imprimantes. El chorro abrasivo es empleado en ocasiones para darle a la superficie una mejor adherencia del recubrimiento.

### **Aleaciones de Acero de Gran Resistencia**

En algunos ambientes, las aleaciones de acero de gran resistencia pueden requerir un sistema de recubrimiento para su adecuada protección contra la corrosión. En estos casos, los requerimientos para su limpieza y su pintado son similares a los de los aceros convencionales, aunque podría requerirse el uso de abrasivos más fuertes para su limpieza con chorro abrasivo.

### **Superficies Recubiertas con Zinc**

Cuando los productos de acero galvanizado no recubierto son, guardados a la intemperie antes de su empleo, en especial cuando hay humedad entre las planchas, puede formarse una espesa capa blanca o gris de residuos de la oxidación del zinc (llamada a veces "óxido blanco") sobre sus superficies. Para impedir ello, muchos galvanizadores aplican una película fina de aceite o un recubrimiento de conversión de cromato a las superficies de los productos galvanizados nuevos. Estas películas impedirán la adherencia del imprimante base. El aceite puede ser fácilmente retirado mediante lavado con solvente (SSPC-SP 1). Las películas de cromato no pueden ser quitadas fácilmente, de modo que muchas veces se exige superficies no cromadas, si se va a revestir el galvanizado.

Los alquídicos y otros recubrimientos de secado al aceite no son recomendables sobre acero galvanizado. La alcalinidad sobre la superficie de zinc, proveniente de la corrosión de este, produce aceites saponificados (hidrolizados).

## **Aluminio**

El tratamiento químico como la aplicación de fosfatos es usado para mejorar la adherencia de los imprimantes a las superficies de aluminio. El lavado de preparación también ha sido empleado con imprimantes alquídicos. Un abrasivo blando como el plástico puede ser usado para darle aspereza a la superficie de este blando metal, mediante un chorro abrasivo, a fin de incrementar la adherencia del imprimante o para quitar la capa de aceite. Los epóxidos funcionan muy bien sobre aluminio sin tratamiento químico de superficie.

## **Defectos Causados por un Recubrimiento Inapropiado**

Obviamente, si un sistema de recubrimiento no es apropiado para un trabajo específico, incluso la mejor preparación de superficie y la mejor aplicación no superarán esta deficiencia. El sistema de recubrimiento especificado debe ser apropiado para el servicio (recubrimientos individuales compatibles entre sí y el sistema total compatible con el ambiente y el sustrato).

A continuación se describen cuatro tipos de incompatibilidades de recubrimientos entre sí:

- Un solvente fuerte en el revestimiento de acabado ataca al aglutinante en una capa inferior, causando que esta se ablande, se hinche o se levante (desprendimiento) del sustrato. Un ejemplo de esto es una laca de caucho clorado aplicada sobre un recubrimiento de dispersión vinílica (látex).
- Un solvente fuerte en el recubrimiento de acabado disuelve algún material bituminoso en una capa inferior (o pavimento bituminoso), causando que este migre (causando sangrado) a través del revestimiento de acabado produciendo así una decoloración marrón. Un ejemplo de esto es un recubrimiento de secado al óleo al solvente aplicado sobre un recubrimiento asfáltico.
- Cuando un acabado muy rígido es aplicado sobre una capa inferior más flexible, el primero no puede expandirse y encogerse con la segunda, pudiéndose rajar para aliviar la tensión. Un ejemplo de esto es un epóxido curado por amino aplicado sobre un recubrimiento elastomérico. La limitada capacidad de dilatación y contracción con otros sustratos también puede producir agrietamiento o desprendimiento.
- Un acabado al agua no puede penetrar lo suficiente una capa inferior lisa para adherirse a ella bien, desprendiéndose así fácilmente. Un ejemplo de esto es un recubrimiento de dispersión vinílica (látex) aplicado sobre esmalte de silicón alquídico.

Una incompatibilidad común entre un recubrimiento con su sustrato es la que hay entre los recubrimientos alquídicos y otros que contienen aceites de secado aplicados directamente al concreto. La alcalinidad que se produce siempre sobre el concreto y otros materiales cementosos causa la saponificación (hidrólisis) del aceite de secado y el desprendimiento del recubrimiento. Debido a que los galvanizados y otros recubrimientos ricos en zinc tienen también una película alcalina sobre sus superficies, los recubrimientos con contenido de aceite secante aplicados a los primeros tienden también a la saponificación y al desprendimiento. Dos otros tipos de incompatibilidad de recubrimiento y sustrato ya fueron mencionados. Uno es el afloramiento del asfalto en los pavimentos a través de

revestimientos que contienen solvente orgánico, mencionado en un párrafo previo. El otro es la migración de tintes solubles en agua en ciertas maderas a través de un recubrimiento al agua. Este fenómeno sobre madera es generalmente llamado manchado en lugar de sangrado, pero los mecanismos de decoloración son esencialmente los mismos.

Los recubrimientos para naves de carga que transportan líquidos deben ser resistentes al ataque de los productos almacenados, de modo que los alquídicos y otros recubrimientos que contienen aceite de secado nunca deben ser usados para revestir tanques de almacenamiento de combustible o de químicos. De igual forma, las lacas vinílicas nunca son usadas para tanques de almacenamiento que contienen solventes fuertes, ya que los solventes los atacarán.

Los recubrimientos a ser usados sobre superficies calientes deben ser resistentes a las temperaturas altas. Los recubrimientos inorgánicos son usados sobre la mayoría de las superficies que experimenten temperaturas de 500°F o más durante la mayor parte del tiempo. De otro modo serían quemadas o afectadas adversamente por el calor.

### **Incompatibilidad con la Protección Catódica**

Aunque muchos recubrimientos funcionan muy bien en conjunción con la protección catódica, hay tres situaciones en las que la protección catódica deteriorará los recubrimientos protectores:

- Los recubrimientos aplicados sobre superficies de acero catódicamente protegido deben ser resistentes a la alcalinidad producida en ellas. De lo contrario, serán saponificados por la alcalinidad. Así, los recubrimientos fenólicos oleorresinosos que son normalmente apropiados para la inmersión en agua de mar se saponificarán lentamente si son aplicados sobre acero catódicamente protegido sumergido en el agua de mar.
- Los recubrimientos pueden desprenderse de superficies protegidas catódicamente por el gas de hidrógeno generado por la corriente excesiva. Los recubrimientos de fuerte adherencia e impermeables como los epóxidos y de coal tar epóxi son más resistentes a este tipo de daño, pero todos los recubrimientos se deteriorarán, si el voltaje es suficientemente elevado. Por lo tanto, los potenciales de la protección catódica deben ser controlados.
- Los recubrimientos relativamente permeables sobre superficies de acero sumergidas protegidas catódicamente pueden deteriorarse cuando la circulación de la corriente en la superficie de acero también causa un incremento de la circulación iónica. El fenómeno, llamado electroendósmosis. Es controlado mejor mediante el uso de recubrimientos de baja permeabilidad, tales como los coal tar epóxidos.

### **Defectos de la Superficie de los Recubrimientos Resultantes de las Limitaciones del Recubrimiento**

Hay varios defectos de las superficies de los recubrimientos que pueden resultar de las deficiencias o las limitaciones de los productos del recubrimiento. Los defectos podrían solamente producir una apariencia inaceptable, o podrían resultar en la falla de la película.

- (1) El tizamiento [chaiking] de los recubrimientos es el deterioro del aglutinante orgánico por la luz ultravioleta (generalmente del sol) que deja un residuo suelto de pigmento y de aglutinante oxidado. Todos los recubrimientos orgánicos se tizan en alguna medida, pero algunos tipos genéricos lo hacen más que otros. Sin embargo, los productos mal formulados o mal seleccionados pueden tizarse mucho más rápidamente que los productos formulados para proporcionar una buena resistencia a la intemperie. El excesivo tizado puede producir erosión, lo que puede reducir significativamente el espesor de un recubrimiento y, por tanto, su protección, y aun dejar expuesta una capa inferior.
- (2) La decoloración o el desvanecimiento del color del recubrimiento puede ocurrir cuando se usan resinas o pigmentos inestables. Estos cambios no deseados en el color son generalmente causados por acción de la luz ultravioleta del sol. De esta forma, la superficie de una estructura que está parcialmente a la sombra buena parte del tiempo puede tener una pérdida irregular de color. Estos defectos pueden ser evitados usando componentes de recubrimiento más resistentes a la radiación ultravioleta.
- (3) Los recubrimientos apropiadamente formulados gradualmente pierden brillo por la exposición a la luz solar. Los recubrimientos mal formulados pierden brillo mucho más rápido que otros. La exposición parcial a la sombra podría dar como resultado una pérdida irregular del brillo.
- (4) El ataque por moho de los recubrimientos ocurre cuando las condiciones son favorables para el crecimiento de estos organismos y no ha sido incorporado un agente anti moho efectivo en la formulación del recubrimiento (generalmente recubrimiento de látex con secado al aceite o al agua). Los recubrimientos lisos y libres de tizado son mucho menos propensos al crecimiento de moho, porque es mucho menos probable que retengan suciedad y esporas de moho y es más probable que la lluvia lo limpie. El moho crece mejor en áreas húmedas y sombreadas. El moho es principalmente un problema de apariencia, pero se ha informado que algunos microorganismos metabolizan los aceites vegetales de los recubrimientos.
- (5) Los recubrimientos altamente viscosos podrían tener una nivelación insuficiente como para eliminar las marcas de brocha si son aplicados con ese instrumento. El problema de la piel de naranja puede ocurrir de forma semejante en recubrimientos aplicados por aspersión con limitada capacidad de nivelación. Éstos son fenómenos de la superficie que se producen cuando se tiene un espesor irregular del recubrimiento en lugar de una película con el espesor uniforme. Esas áreas de bajo espesor de la película serán las primeras en fallar, porque proporcionan menor protección de barrera.
- (6) El rubor por humedad [moisture blushing] es un problema que se puede producir sobre la película húmeda de un recubrimiento de evaporación rápida (por ejemplo, laca vinilica) cuando la humedad relativa es alta. Cuando el solvente se evapora, la temperatura de la película húmeda desciende al punto de rocío, produciéndose así condensación de humedad. También puede suceder sobre poliuretano, poliúrea u otros recubrimientos sensibles a la humedad no curados en días húmedos.
- (7) El rubor de amina (amine blushing) es otro problema que puede producirse con aminos alifáticos reactivos sobre la película húmeda de

recubrimientos epóxi curados con aminas. El agente de curado parcialmente miscible migra hacia la superficie de la película húmeda. Allí, agua y dióxido de carbono reaccionan químicamente con la amina para formar un carbonato que da un acabado aceitoso y tosco a la superficie normalmente satinada. Éste es principalmente un efecto superficial pero debe ser retirado lavando la película curada, antes de que sea pintada, para permitir una buena adherencia entre las capas. El uso de aditivos de amino y epóxis ketaminas minimizará este problema.

- (8) El moteado [mottiiing] ocurre cuando la concentración crítica del volumen de pigmento (CPVC) de un recubrimiento es excedida (no hay aglutinante suficiente para, humedecer el pigmento completamente). Esto produce una película curada que tiene una apariencia moteada y limitada cohesión. Este problema se puede presentar cuando se tiñe un recubrimiento blanco con un tinte profundo.
- (9) El agrietamiento [checking] y la piel de lagarto (alligatoring) son fenómenos de superficie causados por tensiones en el recubrimiento, tal como se expone más adelante.

### **Defectos de la Película Causados por Tensión**

La mayoría de los recubrimientos se contraen en alguna medida por la evaporación del solvente y/o la polimerización durante el curado inicial. Pueden continuar contrayéndose más durante un curado prolongado a la intemperie. Las tensiones dimensionales dan como resultado fracturas en el recubrimiento o causar que el sistema de recubrimiento total se agriete y se desprenda del sustrato.

Las tensiones pueden causar que los recubrimientos desarrollen pequeños cortes sobre la superficie, a veces no visibles al ojo, durante el curado y el desgaste, que traspasan solamente el acabado externo. Este fenómeno, llamado agrietamiento, ocurre cuando la superficie de la película se hace dura y quebradiza, y es tensada durante el curado y el envejecimiento. La piel de cocodrilo es esencialmente una forma de micro grietas que ocurre en una mayor escala. Ambos son considerados problemas de la superficie y no deben ser confundidos con el rajado [cracking] o el rajado tipo barro [mud cracking] en los que la ruptura en la película se extiende al sustrato. Todos estos problemas son causados por tensiones físicas, y todas pueden ser evitadas aplicando películas más finas o recubrimientos más flexibles. Un recubrimiento rígido nunca debe ser usado sobre uno más flexible, particularmente con un mayor espesor relativo, debido a su incapacidad de dilatarse y contraerse con los cambios dimensionales de la primera capa más flexible.

### **Deterioro del Recubrimiento por Corrosión**

Algunas películas de recubrimientos son particularmente propensas a la corrosión bajo película [undercutting]. Esta es la penetración de un recubrimiento en su sustrato de metal y la difusión de la delaminación del recubrimiento y/o la corrosión del metal. Si la capa de recubrimiento permanece sin rupturas, el fenómeno es llamado corrosión bajo película. En ambos casos, estos fenómenos son mejor controlados sobre el acero usando recubrimientos ricos en zinc o imprimantes que contienen pigmentos inhibidores. El aluminio recubierto está

particularmente sujeto a una forma de corrosión bajo película llamada corrosión filiforme. Está caracterizada por un crecimiento direccionado en forma de hilo, procedentes de áreas de recubrimiento deterioradas. En el pasado, se usó pigmentos inhibidores de cromato en imprimantes para controlar la corrosión filiforme, pero se ha hallado que los pigmentos inhibidores libres de cromato son igualmente eficaces para este propósito.

### **Defectos Causados por una Inadecuada Preparación de la Superficie**

Debido a su frecuencia, la incorrecta preparación de la superficie es considerada la mayor causa de fallas tempranas de los recubrimientos. Por ello, los inspectores de recubrimientos deben tener siempre un puesto de control durante el trabajo de pintado para verificar que los requisitos de la especificación para la preparación de la superficie hayan sido cumplidos antes de cualquier aplicación de recubrimiento.

Los requisitos de reparación de superficies en la especificación de la obra de recubrimiento generalmente incluyen grados de limpieza así como perfiles de anclaje de las superficies. Afortunadamente, la SSPC y otras organizaciones técnicas han publicado estándares y guías para la verificación del cumplimiento de estos requisitos. Estos documentos deben siempre formar parte de las especificaciones para este tipo de trabajo, en la medida en sea apropiado hacerlo.

#### **Efectos de los Contaminantes de la Superficie Parcialmente Retirados**

Las superficies limpiadas de forma inadecuada son muy difíciles de humectar con recubrimientos, porque los contaminantes remanentes reducen significativamente el número de áreas del enlace. El estrecho contacto entre recubrimiento y sustrato es necesario para una buena adherencia. A continuación se ofrece algunos ejemplos de fallas que resultan de una limpieza incompleta:

- (1) El desprendimiento y el ampollamiento o el pelado en los recubrimientos se pueden producir por una remoción incompleta del óxido, las escamas de laminación, tierra u otro contaminante suelto en la superficie del sustrato. Ello también puede ocurrir cuando una capa inferior se contamina antes de la aplicación de un acabado sobre ella.
- (2) La retracción (retiro) de un recubrimiento, revelando su sustrato o una capa inferior, ocurre cuando la superficie es contaminada con agua, aceite, u otro material de baja energía. Si la retracción ocurre en áreas relativamente amplias, es generalmente llamada sarna ("crawling"). Si ocurre en zonas muy pequeñas es llamada cráter. También se le ha llamado ojo de pez ("ojo de pez").
- (3) El ampollamiento osmótico de un recubrimiento se puede producir por una remoción incompleta de sales solubles durante la preparación de la superficie, como ya se mencionó.
- (4) El desprendimiento y el ampollamiento de un recubrimiento resultan de la presencia de humedad sobre la superficie del sustrato.

#### **Defectos Producidos por un Perfil Incorrecto**

A continuación se señala algunos ejemplos de perfiles inadecuados de la superficie del sustrato:

- El desprendimiento de rugosidad y el pelado de un recubrimiento de una superficie de acero sometida a chorro de limpieza pueden ocurrir debido a un perfil insuficiente y, por tanto, área insuficiente, para la buena adherencia del mismo.
- Puede producirse corrosión granular sobre un recubrimiento, porque la rugosidad de una superficie de acero sometida a chorro abrasivo de limpieza quedó demasiado alta como para que la superficie resulte adecuadamente cubierta por el imprimante. La corrosión granular también puede ocurrir cuando la erosión ha reducido el espesor de película enormemente.

Nota: es importante seguir las recomendaciones del fabricante del recubrimiento acerca de la profundidad del perfil. La aplicación del recubrimiento del fabricante sobre la rugosidad que excede el rango recomendado debería ser aprobada por escrito por el fabricante.

### **Defectos Producidos por una Inadecuada Aplicación del Recubrimiento**

El fabricante de recubrimiento tiene más experiencia con el uso de sus productos y por tanto sus instrucciones sobre mezcla, dilución y aplicación deben ser seguidas cuidadosamente. Es una buena práctica tener a uno de sus representantes en el lugar del trabajo al inicio de las operaciones de recubrimiento para contar con su orientación durante la aplicación y así verificar la correcta aplicación del producto.

Hay bastantes más diferentes tipos de fallas relacionadas con la aplicación de recubrimientos que con cualquier otra fuente de degradación de recubrimientos y algunos de los términos empleados para identificar estas clases de fallas no están bien definidos, de manera que algunas palabras pueden significar cosas diferentes para personas diferentes. Algunas señales de defectos o fallas incipientes pueden ser detectadas al empezar la aplicación del recubrimiento. Tanto el operario como el inspector deben poder reconocer estas señales y darles solución en una etapa temprana. Corregir los problemas después puede resultar muy costoso. Asimismo, el operario y el inspector deben reconocer desde el inicio cuándo los requisitos específicos son tan difíciles de cumplir, que deberían tomarse en consideración algunos enfoques alternativos.

#### **Efectos de un Espesor Inadecuado del Recubrimiento**

Algunos tipos de fallas de recubrimiento están relacionadas con el espesor de la película aplicada. Un espesor demasiado pobre o uno demasiado alto puede causar. Asimismo, un espesor no uniforme puede presentar una apariencia indeseable, tanto como limitar la protección de barrera. Los recubrimientos de alto contenido de sólidos y los equipos de componentes plurales pueden presentar problemas de aplicación especiales.

- (1) **Chorreamiento (sagging)** Si se aplica un excesivo espesor, su peso puede causar que el recubrimiento fresco fluya hacia abajo y forme combas, corridas y cortinas (dependiendo de diferentes condiciones).

Ello produce una película de espesor irregular. Algunas áreas de menor espesor podrían no cumplir con requisitos de espesor de la especificación.

- (2) **Agrietamiento / Desprendimiento por Tensión** Cuando el espesor de la película se incrementa, crece también su contracción durante el curado y su capacidad para expandirse y contraerse con los cambios dimensionales en el sustrato. A mayores tensiones producidas en películas más gruesas se tendrá, con mayor probabilidad, rayaduras, agrietamiento tipo barro y/o desprendimiento de las películas. El excesivo espesor podría construir gradualmente un sistema de recubrimiento total mediante capas adicionales aplicadas durante el mantenimiento. Cuando las tensiones causadas por la contracción del sistema total se vuelven excesivas, el sistema total se agrietará y se desprenderá en el punto de adherencia más débil. Esto generalmente ocurre en el límite entre el sustrato y el imprimante o base original. El desprendimiento de un recubrimiento de un sustrato puede ocurrir como descostillado [chipping], desconchado [flaking], pelado [peeling] o delaminado [delamination].
- (3) **Arrugamiento de la Superficie**, El arrugamiento [wrinkling] es un tipo de falla relacionado con los recubrimientos, particularmente aquellos curados por la oxidación del aceite de secado, que son aplicados a demasiado espesor, especialmente en días calurosos. Bajo estas condiciones, la película fresca cura rápidamente pero solamente en la superficie, y la contracción de la capa no curada, más blanda crea hendiduras pequeñas irregulares y lomos (arrugas) debajo en la película. El recubrimiento que subyace debajo de la superficie curada puede permanecer sin curar casi indefinidamente.
- (4) **Otros Defectos Debidos a un Espesor Inadecuado** Los recubrimientos aplicados a demasiado espesor podrían tener un curado incompleto o inadecuado de su película protectora. Esto afectará adversamente la protección proporcionada.  
Muy poco espesor puede dar una protección significativamente reducida al sustrato, reduciendo así la vida de servicio del recubrimiento significativamente también. La corrosión en puntos [pinpoint] es causada por un espesor insuficiente del imprimante aplicado a una superficie de acero limpiada con chorro abrasivo, y fue descrito anteriormente.  
Si un recubrimiento es aplicado con un espesor no uniforme, las áreas más gruesas localizadas son a veces demasiado ricas en resinas. Esto podría resultar en zonas brillantes llamadas "manchas calientes", que presentan un acabado poco atractivo.

### **Efectos de la Aplicación Incorrecta por Aspersión**

La aplicación del recubrimiento más uniforme y los acabados más vistosos son generalmente conseguidos con la aplicación por aspersión. Sin embargo, la aplicación por aspersión también presenta más posibles fuentes de fallas de recubrimiento que la aplicación con brocha o rodillo. Así, es importante que el operario esté bien capacitado y que el equipo y el patrón de rociado sean examinados antes de empezar la operación.

A fin de que el recubrimiento suministre la máxima protección a un sustrato, debe ser aplicado como una película uniforme e ininterrumpida. Para

obtener tales películas, el operario debe usar las mejores técnicas de aplicación disponibles. En el pintado por aspersión, éstas incluyen una distancia constante entre la pistola y el sustrato (sin balanceos), una pasada sostenida de la pistola, un patrón de aplicación homogéneo constante y un accionamiento adecuado. Las fallas de recubrimiento se producen siempre primero las zonas de discontinuidades o en áreas de reducido espesor del recubrimiento.

La aplicación descuidada del recubrimiento puede producir áreas que el pintor pasó por alto o en las que aplicó solamente una película muy fina. Estas áreas, llamadas vacíos o discontinuidades se corroerán rápidamente sobre superficies de metal.

## Otros Defectos de Aplicación

**Aspersión Seca [dry spray].** Cuando un recubrimiento de secado rápido es aplicado por aspersión sobre una superficie durante un día tibio y/o la pistola es sujeta demasiado lejos de la superficie, el solvente puede evaporarse tan rápidamente que la película fresca no puede fluir en su conjunto para formar una película lisa e ininterrumpida (nivel). La aspereza y rugosidad resultantes, a menudo conteniendo vacíos, son llamadas aspersion seca que no debe ser confundida con la aspersion excesiva, que consiste en pintura que cae en superficies que no se desean recubrir.

**Agujeros de Aguja [pinholmg].** Si el pulverizador o pistola ha sido incorrectamente ajustado, puede quedar aire atrapado en el recubrimiento durante la atomización causando agujerillos en la película (hoyos muy pequeños que desenmascaran el sustrato). También puede ocurrir cuando se aplica, la pistola es sostenida cerca de la superficie o cuando esta contiene contaminación.

**Delaminado entre Capas.** Una mala adherencia entre capas adyacentes es la fuente principal de delaminación entre capas. La tensión del acabado durante el curado o durante su expansión y contracción también pueden contribuir al delaminado. Las causas comunes de delaminación entre capas:

- Incompatibilidad entre recubrimientos adyacentes que no permiten una buena adherencia. Un ejemplo es un acabado acrílico (látex) al agua aplicado sobre un esmalte alquídico de sílicona liso.
- La contaminación de la base (imprimante) por suciedad, aceite, etc., antes del repintado que reduce la adherencia entre capas. Esto fue discutido anteriormente en esta Unidad.
- Demasiado tiempo transcurrido entre el curado de una primera capa de un recubrimiento termoconfigurado de dos componentes, y la aplicación de acabado. Estos recubrimientos tienen una limitada ventana de repintado durante la cual se puede producir una buena adherencia del acabado. Los fabricantes siempre suministran la información respecto de los períodos para repintar.

## **Defectos Producidos por un Curado Inadecuado**

Algunos recubrimientos requieren condiciones especiales para un curado apropiado. Estas incluyen la presencia o ausencia de humedad y temperaturas especiales de curado.

Los recubrimientos de poliuretano que curan con la humedad, la poliúrea, y los recubrimientos de etil silicato inorgánico ricos en zinc curan hasta formar una sólida película mediante la reacción química con la humedad del aire. Por ello requieren un mínimo de humedad ambiental para curar. La humedad relativa requerida es especificada en la hoja de datos del fabricante del producto. En humedades más bajas, las películas podrían no curar bien, y la película no curada puede contaminarse con tierra y suciedad.

La mayoría de los recubrimientos son afectados adversamente por la lluvia durante el proceso de curado. Por lo tanto, los recubrimientos no deberían ser aplicados si se prevé lluvia durante su curado. Del mismo modo, una humedad relativa alta podría afectar negativamente película húmeda de recubrimiento. La evaporación de solventes de la pintura húmeda podría reducir la humedad relativa sobre su superficie al punto de rocío, produciéndose la condensación de la humedad sobre la película húmeda. Esto puede causar el rubor que ya fue descrito en esta unidad. Este rubor no es otra cosa que una simple tosquedad u opalescencia en el acabado, que en realidad no causa daños importantes a la película protectora.

Recubrimientos en espacios confinados como tanques de almacenamiento que tienen ventilación limitada pueden requerir calefacción y ventilación para retirar completamente todo el solvente del recubrimiento, para que pueda curar totalmente. De otra forma, el solvente atrapado debajo de la superficie del recubrimiento puede causar que este permanezca más suave y más flexible de lo debido, y sujeto así al ampollamiento.

Algunos recubrimientos químicos o resistentes a la temperatura requieren ser calentados a altas temperaturas para un correcto curado. Éstos incluyen algunos epóxi-fenólicos, fenólicos y sistemas alquídicos de silicona rellenos de aluminio. En tales casos, el fabricante suministra instrucciones de calentamiento detalladas.

## **Fallas Frecuentes**

### **Ampollamiento**

Causas: Contaminación por materias extrañas: grasa, aceite, humedad, sales, solvente retenido, protección catódica, etc.

Solución: Adecuada limpieza de la superficie, análisis de sales en la arena, revisión del sistema de protección catódica.



Figura A4.1. Superficie con ampollamiento

### **Delaminación**

Causas: Inadecuada limpieza de la superficie, contaminación entre capas, sobretiempo en el repintado.

Solución: Adecuada limpieza de la superficie, no exceder los tiempos de repintado entre capas.



Figura A4.2. Superficie con delaminación

### **Aplicación deficiente**

Causas: Aplicación de pintura por personal no calificado.

Solución: Adecuada supervisión antes de la aplicación, personal de aplicación de pintura capacitado y con experiencia.



Figura A4.3. Aplicación deficiente

### **Erosión**

Causas: Desgaste de la película de pintura por efecto abrasivo del agua.

Solución: Sistemas de pinturas de alta resistencia al efecto abrasivo del medio.



Figura A4.4. Película con erosión

## Disimilitud de Materiales

Causas: Selección inadecuada de materiales, especificación incorrecta.  
Solución: Especificar el uso de materiales de características similares.



Figura A4.5. Disimilitud de materiales

## Aplicación

Causas: Sistemas de pintura incorrecto, limpieza inadecuada de superficie, aplicación incorrecta, falta de monitoreo de condiciones ambientales.  
Solución: Revisión del Sistema de pinturas, preparación y aplicación adecuadas, control de condiciones ambientales.



Figura A4.6. Falla en la adhesión

## **Agrietamiento**

Causas: Limitada flexibilidad de la pintura, envejecimiento o absorción de humedad, alto espesor de pintura.

Solución: Remover el recubrimiento y aplicar una nueva capa.



Figura A4.7. Superficie con agrietamiento

## Anexo 5

### La Seguridad en las Operaciones de Pintado

#### Introducción a la Seguridad en las Operaciones de Pintado

Las operaciones de pintado involucran muchas condiciones, materiales y operaciones inherentemente inseguros. Esta Unidad describe estos problemas y muestra cómo minimizar estos riesgos. Debido a lo cambiante de las normas y estándares, no se indicarán niveles seguros de exposición u otros estándares que con toda probabilidad cambiarán en el futuro cercano. En lugar de ello, se tratará aspectos generales. La información más reciente acerca de los niveles aceptables de exposición deberá ser gestionada a través de las oficinas de seguridad de las plantas. Estas oficinas son las responsables de suministrar todo el apoyo necesario en materia de seguridad. Es importante que todos los trabajadores tengan acceso a ellas con total libertad, en el marco de un programa de seguridad integral. Una actitud positiva es esencial para asegurar un ambiente de trabajo seguro.

#### Disposiciones de Seguridad y Salud

La responsabilidad por el desarrollo de reglas o disposiciones reglamentarias para la implementación de las Leyes recae en distintas entidades del gobierno.

Las que comprenden aspectos de salud y seguridad son de competencia de la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA), y las que tienen que ver con la protección el medio ambiente están a cargo de la Agencia de Protección Ambiental (EPA).

La OSHA puede ser contactada en su dirección electrónica [www.osha.org](http://www.osha.org), y la EPA en [www.epa.org](http://www.epa.org).

Las regulaciones sobre la salud y la seguridad de especial interés para la industria de los recubrimientos incluyen:

- 29 CFR 1910: Industria en General
- 29 CFR 1915: Industria Naval
- 29 CFR 1926: Industria de la Construcción
- 29 CFR 1926.62: Normas Directrices para la Construcción.

Existen copias de estas normas en el sitio web de la OSHA ([www.osha.gob](http://www.osha.gob)). El Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional (NIOSH) proporciona apoyo técnico a la OSHA, mediante la evaluación y recomendación de nuevas disposiciones revisadas, y mediante la prueba y certificación de equipo de seguridad.

#### Responsabilidades de la Gerencia y de los Trabajadores

Todos los trabajadores, incluyendo a los operarios e incluso los propietarios de las instalaciones, tienen importantes responsabilidades frente al personal que efectúa trabajos riesgosos. La Gerencia debe:

- (1) advertir a los trabajadores acerca de cualquier condición u operaciones poco saludables o inseguras en las cuales participarán, y

(2) suministrar todo el entrenamiento y el equipo necesario para llevar los trabajos de manera segura.

La Gerencia debe asimismo proporcionar o establecer normas para procedimientos operativos estándar y planes de seguridad para todas las operaciones. Finalmente, la Gerencia debe tomar medidas concernientes a los informes provenientes de los trabajadores acerca de condiciones peligrosas o que se sospecha que lo son, sin absolutamente ninguna intención de represalia.

Por su lado, los trabajadores tienen la responsabilidad de llevar a cabo su trabajo de manera segura y saludable, aportando correcciones o informando sobre las condiciones inseguras o no saludables, y usando el equipo de protección personal apropiado. Nadie que no tenga trabajo que efectuar en zonas peligrosas debe hallarse en ellas.

### **Procedimientos Operativos Estándar**

Cada operación, sea de rutina o única, debe contar con un Procedimiento de Operación Estandarizado (SOP), así como con un plan de seguridad. El SOP debe contener en detalle la forma en que la operación se llevará a cabo, de manera efectiva y segura. Cualesquiera riesgos relacionados con los procedimientos deben ser descritos, de modo que los trabajadores puedan ser adecuadamente capacitados y equipados.

El plan de seguridad debe especificar con precisión cómo será protegido el trabajador de cada riesgo o peligro en la operación. Debe incluir instrucciones para el etiquetado, el almacenaje, la manipulación y el descarte de materiales peligrosos. El plan también podría incluir vigilancia médica o proporcionar, por ejemplo, instalaciones para ducharse cambiarse de ropa diariamente, si es el caso. El plan de seguridad además debe prever los servicios de emergencia necesarios, tales como duchas de descontaminación, asistencia médica para víctimas de accidentes y equipos de limpieza de derrames.

Tanto el SOP como el plan de seguridad (el cual debe incluir un plan de respuesta a las emergencias), deben ser aprobados por la Gerencia y los funcionarios encargados de la seguridad.

### **Comunicación de Riesgos**

La mejor manera de protegerse uno mismo de productos químicos peligrosos usados en las operaciones de pintado es conocer su identificación y su empleo correcto y seguro. Todo empleador debe proporcionar esta información a sus empleados mediante un programa de comunicaciones escritas. Este programa se basa en los derechos que poseen los trabajadores a conocer acerca de los riesgos. Algunos elementos de este programa son el etiquetado, hojas de información de seguridad de los materiales (MSDSs) y capacitación el personal.

#### **Etiquetado**

Las identificaciones de los productos químicos deben ser colocadas en etiquetas en los recipientes que contienen dichos materiales. Nunca debe usarse productos carentes de etiquetas. Otras importante informaciones

acerca de los químicos, incluyendo datos de salud y de seguridad, precauciones para su manipulación y procedimientos de emergencia y de primeros auxilios, pueden ser obtenidas a partir de las MSDSs. Estas hojas deben estar a la vista cada vez que se embarque, se almacene o se emplee materiales peligrosos en cualquier operación. Finalmente, la organización debe también tener un programa escrito para suministrar al personal información acerca de los productos químicos peligrosos usados en cada operación y un inventario de todos los materiales químicos en el lugar. La organización debe asimismo suministrar a los trabajadores el entrenamiento y la capacitación de seguridad apropiados para el uso de materiales peligrosos a ser empleados.

Las etiquetas rotas, perdidas o ilegibles deben ser reemplazadas. Cuando los materiales sean transferidos a otros contenedores o recipientes, para un empleo más sencillo, esos contenedores o recipientes también deben ser adecuadamente etiquetados. Las etiquetas deben contener la siguiente información:

- Identificación completa - Se puede incluir varios nombres alternativos
- Advertencias básicas - Listados de químicos peligrosos y precauciones
- Requerimientos de primeros auxilios - Acciones a tomar en salpicaduras en ojos y piel.
- Tratamiento de derrames - Equipos y materiales para la limpieza de derrames
- Procedimientos de manipulación y almacenamiento - Equipos de seguridad y prácticas de manipulación
- Procedimientos de descarte - Métodos para el descarte legal y seguro de materiales de desechos peligrosos

### **Hoja de Información de Seguridad de Materiales (MSDS)**

Una MSDS debe proporcionar la siguiente información:

- Identificación química - Identificación de todos los químicos presentes
- Datos acerca de los ingredientes peligrosos - Listado de químicos peligrosos y límites de exposición seguros
- Datos físicos - Olor, apariencia, etc. de los químicos
- Datos acerca de fuegos o explosiones – Punto de ignición y modo de extinción para los materiales inflamables
- Riesgos para la salud - Síntomas de sobreexposición y acciones de emergencia
- Datos de reactividad - Estabilidad y reactividad con otras sustancias
- Procedimientos en caso de derrames o escapes - Procedimientos de limpieza y descarte; siempre se debe notificar a la oficina de seguridad
- Protección especial - Respiradores necesarios, vestimenta, protección para los ojos, etc.
- Precauciones especiales – Precauciones especiales de manipulación, incluyendo símbolos de seguridad y paquetes de limpieza estáticos

### **Capacitación de los Empleados**

El tercer componente del programa escrito es la capacitación de los trabajadores. Se les exige a los empleadores suministrar información a los trabajadores en (a capacitación, acerca de las operaciones específicas en

las cuales hay químicos peligrosos presentes, y la ubicación y disponibilidad del programa HAZCOM por escrito. La capacitación debe ser proporcionada en la primera ocasión en los trabajadores sean asignados al sitio de trabajo, y cada vez que se presente un nuevo riesgo físico o a la salud.

La capacitación de los trabajadores deberá consistir en:

- Métodos para detectar escapes
- Riesgos físicos y a la salud provenientes de químicos
- Medidas que los trabajadores pueden tomar para protegerse a sí mismos
- Detalles del programa, incluyendo información sobre el etiquetado, las MSDSs y la forma en que los trabajadores interesados pueden obtener información adicional.

## **Riesgos de Materiales y Operaciones Tóxicos**

### **Materiales Tóxicos**

Tanto en la limpieza para el pintado como en la aplicación de la pintura se emplea materiales tóxicos. Pueden ingresar al cuerpo humano de tres diferentes formas:

- Inhalación por los pulmones
- Ingestión bucal
- Absorción a través de la piel

Los vapores tóxicos, vahos o partículas suspendidas inhalados por los pulmones pueden ser rápidamente asimilados hacia el resto del organismo. La ventilación del área de trabajo y el uso de respiradores son dos métodos básicos de protección frente a esos productos. Los solventes individuales en mezclas de pinturas varían ampliamente en grado de toxicidad para los humanos. No es factible determinar con rapidez la concentración de cada uno.

La ingestión por la boca usualmente ocurre por las manos contaminadas no lavadas antes de comer, beber o fumar. Las personas deben lavarse las manos antes de efectuar estas actividades, aun si se ha usado guantes para prevenir la contaminación.

La absorción por la piel ocurre cuando se produce contacto físico. Ello puede ser minimizado mediante el uso de vestimenta protectora y mediante la higiene personal. Las ropas contaminadas deben ser retiradas y desechadas en el lugar de trabajo, o bien completamente limpias, mientras que la persona contaminada debe ducharse cuidadosamente antes de abandonar el lugar de trabajo.

Las sustancias tóxicas pertenecen a cuatro categorías básicas:

- Irritantes, inflaman ojos, nariz, garganta y pulmones (ácidos)
- Asfixiantes (monóxido de carbono), impiden la asimilación de oxígeno
- Tóxicos nerviosos (acetona, compuestos de plomo, etc.) que atacan el sistema nervioso
- Venenos sistémicos, que afectan corazón, hígado o riñones (plomo, arsénico)

Existen cuatro tipos de riesgos respiratorios:

- Polvos: Partículas secas provenientes de molindas o de operaciones de soplado, y partículas de humos residuales de combustión
- Nieblas: Partículas líquidas de operaciones de limpiado y de aspersión (rociado)
- Gases y vapores de líquidos: Solventes evaporados provenientes de limpieza o de pintado
- Deficiencia de oxígeno, especialmente en sitios confinados

Las partículas menores a 10 microgramos ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro pueden penetrar en los pulmones.

Los gases y las partículas muy pequeñas pueden no ser visibles a simple vista. Cualquiera de estos productos resultantes de las operaciones de pintado requieren un respirador de tipo cartucho. Los cartuchos absorbentes se usan para gases, y los cartuchos de filtro se emplean para materiales particulados. Las MSDSs proporcionan dicha información y deben ser accesibles al emplear productos químicos.

### **Riesgos en las Operaciones de Pintado**

Los procedimientos de pintado pueden incluir uno o varios de las siguientes operaciones riesgosas:

#### **Preparación de Superficies**

- Altas presiones y partículas llevadas por el aire, por la aplicación de chorros abrasivos
- Agua a alta presión usada en la aplicación de chorros de agua
- Chispas y partículas metálicas provenientes de operaciones de lijado
- Ácidos, álcalis, solventes y vapor provenientes de operaciones de limpieza.
- Plomo, cromo y otros metales pesados provenientes del retiro de pintura antigua

#### **Aplicación de Pintura**

- Solventes tóxicos
- Solventes inflamables
- Resinas tóxicas o alérgicas (poliuretano, alquitrán, epóxi, etc.)
- Pigmentos tóxicos (plomo, cromo y otros pigmentos de metales pesados)
- Altas presiones en aspersión sin aire

#### **Operaciones de Apoyo**

- Estructuras altas (torres, puentes, etc.)
- Andamiajes y otras estructuras usadas para alcanzar lugares altos
- Espacios confinados

## **Riesgos en la Preparación de las Superficies y Requisitos de Seguridad**

### **Chorro Abrasivo y Chorro de Agua**

El chorro abrasivo y el chorro de agua (a muy alta presión) son de lejos las operaciones más peligrosas relacionadas con la preparación de superficies para el pintado. Las boquillas de alta presión presentan amenazas muy serias. Las mangueras y las conexiones deben ser revisadas para verificar su solidez y la presión del receptáculo [que contiene la mezcla abrasiva a presión] debe ser revisada para asegurar que la presión máxima no sea excedida. La boquilla de aplicación del chorro abrasivo y la del chorro de agua deben tener un interruptor autobloqueante, es decir, que desconecte (a potencia automáticamente si es soltado por la mano del operario. Nunca debe intentarse desactivar este y otros tipos de dispositivos de seguridad. No se debe permitir ninguna omisión de, norma alguna de seguridad, ni siquiera en trabajos pequeños de aplicación de chorros. El área de aplicación debe ser aislada de otras personas y el receptáculo con material abrasivo debe ser ubicado en una zona protegida detrás del operario, de modo que nadie se encuentre en las cercanías de aquel. Cada persona debe llevar el equipo de seguridad pertinente, incluyendo un respirador con su respectiva provisión de aire para el arenador. La aplicación de abrasivos con chorro sobre superficies recubiertas producirá grandes cantidades de polvos secos con variado contenido de partículas tóxicas. Estas partículas pueden estar en la forma de metales tóxicos, tales como plomo, cadmio, bario, arsénico, mercurio, etc., o puede ser que se trate de residuos del propio abrasivo. La arena empleada para ser aplicada mediante arenado puede contener sílice libre que puede ser extremadamente peligroso para los trabajadores involucrados. La silicosis es una enfermedad debilitante e irreversible causada por el sílice libre que ataca a los pulmones y puede producir una muerte prematura. El uso de limpieza por chorro con arena ha sido severamente restringido en la mayoría de los países por muchos años. En los casos en que la ingeniería y las prácticas de operaciones no puedan eliminar los riesgos asociados con el chorro abrasivo, se debe exigir el uso de protección respiratoria. Al retirar pintura con contenido de plomo u otros metales tóxicos mediante chorros abrasivos, es una buena costumbre ducharse antes de abandonar el sitio de trabajo. Se puede usar diversos tipos de respiradores, de acuerdo con la naturaleza física y química del contaminante y la concentración de dicho material. Debido a los riesgos relacionados con el chorro abrasivo, se requiere un programa comprensivo que debe comprender siete elementos. Estos elementos son la protección de la respiración, de la cabeza, de los ojos y la cara, del cuerpo entero, de las manos, de los pies y del oído.

El aislamiento del traje del arenador y el uso de interruptores automáticos de flujo son también importantes durante la limpieza con agua. Todas las operaciones eléctricas deben cesar en ese momento para prevenir choques eléctricos.

También se debe tener cuidado de no resbalar sobre superficies húmedas.

### **Herramientas Motrices**

Lijadoras, pulidoras y otros artefactos de limpieza pueden requerir especial atención para cumplir con las disposiciones de seguridad. Los equipos deben

poseer cubiertas de seguridad o dispositivos para la protección de ojos y dedos.

Los operadores también necesitan protección para el oído. Las regulaciones de la OSHA no permiten el uso de herramientas o máquinas malogradas, tales como pulidores y ruedas rajadas o brochas rotativas dañadas. Las máquinas deben ser operadas únicamente de acuerdo a las instrucciones del proveedor.

Los riesgos relacionados con gases inflamables o líquidos volátiles que pueden incendiarse por chispas deben ser tomados en cuenta. Máquinas preparadas contra las chispas, hechas de metales no ferrosos, tales como cobre berilio, deben ser de uso regular al trabajar en áreas en las que se almacenan o utilizan gases inflamables o líquidos volátiles. Debe notarse que, mientras que las máquinas y herramientas resistentes a las chispas están diseñadas para reducir el peligro de las chispas, no eliminan completamente ese peligro.

### **Limpieza Química**

La limpieza química es inherentemente peligrosa y requiere precauciones especiales. Aquí algunos ejemplos de materiales usados:

- Ácidos (por ejemplo, hidroc্লórico)
- Cáustico (por ejemplo, hidróxido de sodio)
- Solventes (por ejemplo, cloruro de metileno)

Los químicos deben estar adecuadamente etiquetados, almacenados, y usados. La protección apropiada de ojos, cara, manos y piel debe estar asegurada mediante el uso de vestimenta, cremas cutáneas y equipos adecuados. Se debe seguir los procedimientos recomendados de operación al trabajar con ácidos, químicos cáusticos o solventes. El personal o las áreas contaminados deben ser correctamente descontaminados y tratados lo antes posible, según lo establecido. Debe haber disponibilidad de paquetes contra derrames e instrucciones para su uso. Siempre se debe consultar la respectiva MSDS al usar un químico. La MSDS identificará los ingredientes y propiedades riesgosos. Sólo entonces se puede escoger el Equipo de Protección Personal (PPE) apropiado.

## **Riesgos en la Aplicación de Pinturas y Requisitos de Seguridad**

### **Almacenamiento**

Los materiales de recubrimiento deben ser almacenados bajo techo en áreas bien ventiladas, alejadas de chispas, fuego y luz solar directa. Las pinturas nunca deben ser guardadas, mezcladas o aplicadas a temperaturas cercanas o por encima de sus puntos de ignición (la temperatura mínima a la que un líquido emana vapores que pueden inflamarse ante la presencia de chispas o fuego. Los puntos de ignición de los distintos solventes varían enormemente. Lo mismo sucede con los límites explosivos (el rango de concentración en el aire en el que puede producirse la combustión). El límite explosivo más bajo (LEL) es la concentración en el aire debajo de la cual no ocurre una explosión. El límite explosivo superior (UEL) es la concentración en el aire por encima de la cual no ocurrirá una explosión.

## **El Mezclado y la Aplicación**

Los protectores de ojos, los guantes, las cremas protectoras para la piel y otros aditamentos de seguridad y vestimenta apropiados deben ser utilizados durante el mezclado y la aplicación de las pinturas. Los solventes individuales en las pinturas varían ampliamente, tanto en solvencia como en toxicidad para los humanos. Pueden quitar la humedad y los aceites naturales de la piel para hacerla más sensible a otros agentes irritantes. Cuando son inhalados, pueden dañar el sistema nervioso central.

Al mezclar y aplicar pinturas debe observarse las siguientes precauciones

- Proteger ojos, cara, manos y piel
- Mantener los materiales por debajo de su punto de ignición
- Mantener los vapores fuera de los límites explosivos (lo normal es no más de 25% del LEL. Nota: Puede requerirse ventilación mecánica.)
- Usar agitadores de baja velocidad.
- Usar máquinas que no produzcan chispas.
- No permitir fósforos, chispas ni fuego dentro del área.
- Conectar a tierra el equipo y las estructuras en trabajo

Los espacios que son pintados deben estar bien ventilados para evitar la acumulación de vapores. El equipo de aspersión, los contenedores de metal y el metal a ser pintado deben ser conectados todos ellos a tierra, pues de lo contrario cualquier chispa causará una explosión. La conexión a tierra es el procedimiento por el cual se dirige una carga eléctrica al suelo por una vía eléctrica.

El equipo de aplicación también puede representar un riesgo. Las pistolas de aplicación sin aire sólo deben ser usadas por personal capacitado y con el correspondiente equipo de protección y los seguros de los gatillos. Nunca deben ser apuntadas al cuerpo, ya que pueden penetrar lo tejidos. Las tapas de las boquillas nunca deben ser quitadas. Las bombas de aspersión son también un peligro latente, debido a sus partes móviles.

## **Riesgos en Lugares Altos, Confinados, Remotos y Resbalosos**

Existen riesgos especiales en lugares Altos, Confinados, Remotos y Resbalosos.

### **Lugares Elevados**

Los requisitos de seguridad contra las caídas incluyen:

- El uso de sistemas de protección contra caídas para trabajos efectuados a partir de por lo menos 1,8 m [6 pies] de altura.
- La protección contra las caídas incluye el uso de plataformas de trabajo y sistemas contra caídas personales.
- Los sistemas contra caídas incluyen anclajes, conectores, arneses de seguridad, cuerdas y líneas de vida atadas a estructuras fijas.
- Las cuerdas y las líneas de vida deben limitar la caída a 1,8 m [6 pies] y tener una fuerza de detención de 2 230 kg [5 000 libras].
- Los andamies deben tener entre 510 y 910 mm [20 y 36 pulgadas] de ancho.
- La plataforma debe estar asegurada en ambos extremos.

La OSHA revisó sus requerimientos para protección contra caídas en la industria de la construcción, de modo que el uso de cinturones de seguridad (o sea, no arneses completos) fue prohibido en enero de 1998. Cuando se deba desempeñar trabajos a 1,8 metros [6 pies] o más o, desde un andamio, a 3 metros [10 pies] o más de altura, los sistemas contra caídas (arneses de cuerpo entero, cuerdas, líneas de vida) o medidas de prevención de caídas, tales como rieles de guarda, redes de seguridad o cubiertas para tapar huecos, deben ser usados. Los requerimientos generales para las escaleras [de mano] usadas en las operaciones de pintado, incluyen:

- El reemplazo de todos los escalones sueltos, doblados o divididos.
- Zapatos de seguridad en todas las escaleras rectas o retráctiles.
- Nunca se debe usar escaleras metálicas cerca de líneas de conducción eléctrica.
- Nunca se debe usar las escaleras de mano como partes horizontales de los andamies.
- Sólo se debe usar escaleras de mano siempre que la parte más alta de estas suba hasta por lo menos un metro [3 pies] por encima del punto de apoyo más alto.

Además, estas escaleras requieren un mínimo de 175 mm [7 pulgadas] de luz por detrás del usuario y 765 mm [30 pulgadas] por encima del escalón más alto. Los escalones deben ser paralelos y separados por lo menos 250 a 350 mm [10 a 14 pulgadas].

Las escaleras portátiles deben seguir los siguientes criterios:

- Los costados deben extenderse por lo menos un metro [3 pies] por encima del punto de apoyo más alto, o la escalera debe estar amarrada si se va a subir a un nivel mayor.
- Deben tener patas seguras y asentarse en una superficie segura.
- Deben configurarse en una relación de 4 a 1, es decir que la base de la escalera debe ser colocada a 1 pie de la pared por cada 4 pies de altura.
- Debe evitarse el balanceo mientras se usa.

Las escaleras de mano [tipo tijera] deben usarse en posición abierta con la bisagra asegurada. Además nunca se debe trabajar pisando su parte más alta, a menos que esté diseñada para ello.

Requisitos generales para los andamiajes:

- Se los debe asegurar con firmemente.
- Deben tener rieles rígidos (no cuerdas) y plataformas también rígidas.
- Se los debe mantener limpios y libres de abrasivos, lodo, grasas o otros restos.
- No se debe colocar en ellos equipos que no sean estrictamente necesarios.
- Se debe mantener la plataforma nivelada en todo momento.
- Se requiere inspección y mantenimiento constante de forma obligatoria.
- Nunca se debe usar cajas o escaleras de mano desde las plataformas de andamiaje para alcanzar alturas mayores.

Requisitos adicionales para andamios suspendidos mediante poleas:

- Se debe fijar líneas de vida de protección para los trabajadores.
- Nunca se debe permitir su libre balanceo.
- Debe haber un máximo de dos personas en cada andamio colgante.
- Debe seguirse las normas de la OSHA para la suspensión de andamios.

Algunos requisitos para andamios rodantes:

- Siempre colocar frenos de bloqueo en las ruedas del andamio cada vez que se trabaje en ellos.
- Nunca debe haber ninguna persona durante el movimiento del andamio rodante.
- Se debe retirar siempre todo objeto de la plataforma del andamio antes de movilizarlo.

Se debe construir andamiaje permanente para ejecutar operaciones de mantenimiento de rutina en aeronaves y para otros propósitos estandarizados. Muchos contratistas compran o alquilan plataformas elevadoras a motor para alcanzar sitios altos. Algunas se extienden hasta 30 m [100 pies] de altura. Los elevadores de tijera, los más comunes, sólo suben en línea recta. Otros permiten mayor altura cuando existen obstrucciones en el camino.

Cuando se efectúa el pintado de puentes, torres u otras estructuras altas, y cuando no hay andamios para ello, se debe usar arneses y redes de seguridad. No sólo proporcionan la seguridad adecuada, sino que resultan en una mejor mano de obra. Ahora se exige arneses de seguridad en lugar de cinturones porque los primeros distribuyen la fuerza conducida por las líneas de seguridad durante una caída. Existe una gran variedad de arneses en el mercado.

### **Espacios Confinados**

Los espacios confinados están definidos como suficientemente grandes y configurados de manera tal que un trabajador pueda ingresar en él y desempeñar el trabajo asignado, con medios limitados para el ingreso, y no están diseñados para ser ocupados permanentemente. Las áreas confinadas pueden tener los siguientes riesgos:

- Ambiente o materiales inflamables o explosivos.
- Ambiente o materiales tóxicos.
- Oxígeno insuficiente para conservar la vida.
- Exceso de oxígeno, con riesgo de fuego o explosión.

Los espacios confinados con ventilación y acceso limitados pueden presentar peligros que no son de fácil detección. Deben ser revisados siempre en busca de amenazas a la seguridad por un ingeniero antes de cualquier ingreso. Ejemplos de espacios confinados que pueden ser encontrados durante operaciones de pintado son tanques de almacenamiento, alcantarillas, calderos, tuberías, volquetes y vagones de trenes, tolvas, pozos, recámaras de buques y fosos. Las herramientas y las máquinas a emplearse en estas tareas no deben generar chispas y ser a prueba de explosiones. Dado que los vapores de los solventes son más

pesados que el aire, la ventilación de los espacios confinados requiere una salida o fuga para el aire contaminado, desde el punto más bajo.

Antes de ingresar a un espacio confinado, se debe tener un programa escrito para ese tipo de sitios. Sus elementos incluyen un plan de rescate, permisos escritos y equipos adecuados de seguridad, tales como instrumentos de vigilancia del aire, equipos de ventilación y equipos de recuperación.

Los arneses de seguridad con líneas de vida que permitan llevar a una persona fuera del espacio confinado en caso de un rescate, deben ser usados en casos de emergencias.

### **Iluminación de Proyectos de Pintado Industrial**

Se deberá buscar guías (como por ejemplo la SSPC 12) que proporcionen información acerca de la cantidad y la calidad de luz necesaria para lograr una preparación de superficies y una aplicación de recubrimientos con calidad, así como controles óptimos de inspección, de calidad y de prevención de accidentes. Uno de los requisitos tiene que ver con la iluminación temporal de tanques y otros espacios confinados.

### **Ubicaciones Remotas**

Cuando se lleve a cabo trabajos de campo en ubicaciones remotas, el personal debe estar preparado para reaccionar ante posibles accidentes. Debe desarrollarse e implementarse un plan de respuesta ante las emergencias, para todos los proyectos, sin importar su ubicación.

Dicho plan debe incluir el acceso a teléfonos y tratamiento médico, así como conocimientos de primeros auxilios, especialmente de resucitación cardíaca. Los empleadores deben asegurar la disponibilidad de personal médico para asesoría y consultas en materias de salud y seguridad ocupacional.

Ante la ausencia de médico, enfermeros, centros de salud u hospitales accesibles, los trabajadores deben tener a su disposición a una persona con un certificado vigente de capacitación en primeros auxilios (por ejemplo, los emitidos por la Cruz Roja).

### **Lugares Resbalosos**

Muchas áreas de trabajo son resbalosas porque son muy lisas y se contaminan con agua o aceite. Se puede aplicar recubrimientos anti deslizantes a tales áreas hechas de acero, concreto, etc, mediante aspersión, rodillo o espátula. Se añade escoria como la de óxido de aluminio a los recubrimientos epóxicos, de poliuretano o alquídicos para dar una superficie anti deslizante.

## **Equipo de Protección Personal (PPE)**

Los riesgos en las operaciones de pintado pueden ser reducidos en gran medida mediante el uso de vestimenta, respiradores, y otros equipos de protección personal especialmente diseñados.

### **Vestimenta**

Las prendas protectoras deben resistir el ataque químico proveniente de tres posibles rutas de entrada:

- Permeabilidad - Los químicos pueden atravesar el traje.
- Penetración - Ingreso a través de imperfecciones físicas (daños)
- Degradación - Las propiedades de los químicos los degradan.

La vestimenta contaminada debe ser descartada en el mismo sitio de trabajo o sino minuciosamente limpiada antes de volver a ser usada. El personal expuesto a contaminación debe ducharse minuciosamente y ponerse ropas limpias antes de abandonar el lugar de trabajo. La ropa rota ya no debe ser usada, porque sus filamentos colgantes, etc., podrían ser cogidos por la maquinaria o quedar atrapados en las estructuras. Las botamangas de los pantalones y las corbatas presentan un problema similar.

### **Protección de la Cabeza**

Los protectores de la cabeza pueden prevenir devastadoras heridas a la cabeza. La elección de la protección más apropiada para la cabeza de diferentes peligros es especialmente importante.

La protección de la cabeza incluye:

- Cascos
- Cubiertas para el pelo

Los cascos están hechos de materiales rígidos, resistentes a los impactos y no inflamables, como son la fibra de vidrio y los termoplásticos.

Un entramado de correas y arneses sostiene la cubierta sobre la cabeza, sirviendo como colchón contra impactos. Un casco orillado en todo su borde ofrece protección general a la cabeza, el cuello y los hombros, mientras que las viseras, que no protegen tanto, se usan en espacios confinados. Se debe exigir:

- Los cascos deben ser usados en toda situación en la que exista el peligro de un impacto, caída de objetos por los aires, choque eléctrico o quemaduras.
- Los cascos deben cumplir con las normas de seguridad.
- La conformidad de los cascos con las normas de seguridad.

### **Protección Ocular**

La protección ocular está disponible en muchas formas para proteger a los ojos de partículas suspendidas en el aire, polvo, chispas, salpicaduras y radiación dañina. Para cada trabajo se debe usar la protección adecuada. Los anteojos de seguridad poseen marcos resistentes a los impactos y visores que deben cumplir con los estándares de la OSHA y ANSÍ. También los hay con cubiertas laterales, anteojeras y lentes de colores para proporcionar protección adicional. Los anteojos de seguridad con lentes de

prescripción deben estar a la disposición de todas las oficinas de seguridad. Deben mantenerse limpios, de acuerdo con las indicaciones del fabricante y guardados en un lugar limpio y seco.

Las gafas de seguridad también son resistentes a los impactos. Forman un sello seguro alrededor de cada ojo para dar protección por todos los lados. Pueden tener ventilación directa o indirecta para evitar que se empañen.

Hay cubiertas y cascos de seguridad para dar protección contra salpicaduras o para cuando se efectúan trabajos de limado, soldadura o cuando se trabaja con materiales fundidos. Usualmente se usan junto con gafas o anteojos de seguridad.

### **Protección Auricular**

La protección del oído frente a compresores u otros equipos muy ruidosos puede prevenir la pérdida del sentido auditivo, lo cual puede ocurrir a lo largo del tiempo a causa de una prolongada exposición a ruidos excesivamente altos. El ruido se mide en decibeles. Los criterios para la protección auditiva en decibeles se encuentran en los estándares generales y de construcción. Cuando los trabajadores se vean expuestos a los niveles de ruido indicados abajo, se debe usar los controles administrativos o de ingeniería o los equipos de protección personal pertinentes.

#### **Niveles de Ruido Permisibles**

|               |                              |
|---------------|------------------------------|
| 90 decibeles  | 8 horas de duración al día   |
| 92 decibeles  | 6 horas de duración al día   |
| 95 decibeles  | 4 horas de duración al día   |
| 97 decibeles  | 3 horas de duración al día   |
| 100 decibeles | 2 horas de duración al día   |
| 102 decibeles | 1,5 horas de duración al día |
| 105 decibeles | 1 hora de duración al día    |
| 110 decibeles | 0,5 horas de duración al día |

Nunca se debe exceder de 140db. Los silenciadores, orejeras y tapones ofrecen una variedad de dispositivos de protección auditiva.

Los silenciadores vienen en una gran variedad de estilos. La mayoría poseen sujetadores con resortes y bandas para la cabeza para asegurarlos en su lugar y cubren la oreja entera. Pueden reducir niveles de ruido en 15 a 30 decibeles. Son aun más eficaces cuando se usan junto con tapones para los oídos.

Los tapones de goma deformable o de materiales plásticos son colocados en la parte externa del oído. Pueden ser descartables o reutilizables. Los últimos deben ser limpiados y guardados apropiadamente después del uso. Los tapones para los oídos pueden reducir niveles de ruido en hasta 50 decibeles. Tapones de canal (bandas de cabeza con tapones) cierran el canal auditivo desde su entrada. Una banda flexible en la cabeza la asegura en su sitio. Estos también deben ser limpiados y guardados apropiadamente después del uso.

### **Programa de Conservación de la Audición**

Los trabajadores expuestos a niveles iguales o mayores a un promedio de tiempo ponderado (TWA) de ocho horas de 85 decibeles, deben ser incluidos

en un programa de conservación auditiva. Los elementos mínimos de un programa de este tipo, son:

- La vigilancia de la exposición cuando la información indique que la exposición del trabajador puede igualar o exceder el límite de exposición permitido (PEL).
- Notificaciones de los trabajadores de que los niveles de exposición al ruido superan el PEL.
- Inicio de un programa de prueba audiométrico anual para vigilar la pérdida auditiva.
- Protección auditiva que reduzca los niveles de exposición al ruido debajo del PEL.
- Capacitación de los trabajadores en cuanto a los elementos del programa de conservación auditiva, incluyendo el uso correcto del equipo protector personal (PPE)
- Acceso de los trabajadores a la información y a los materiales de capacitación.
- Mantenimiento de registros de estudios sobre la exposición al ruido, los resultados de las pruebas audiométricas e información acerca de la conservación auditiva.

### **Protección de los Pies**

Los calzados de seguridad pueden reducir las múltiples heridas en los pies causadas por accidentes que ocurren todos los años, y son exigidos para el trabajo en áreas industriales.

Los zapatos reforzados con acero son diseñados para proteger los pies de accidentes comunes con maquinaria, tales como objetos que caen o que ruedan, cortes y pinchazos. Por lo general, toda la caja que protege los dedos del pie y la plantilla es reforzada.

Las botas de seguridad brindan más protección frente a los riesgos de salpicaduras y chispas. / Botas de neopreno o nitrilo son requeridas a menudo cuando se manipula cáusticos, solventes o aceites. Los sujetadores de desabrochado rápido permiten quitarse prestamente el calzado en caso de que una sustancia peligrosa entre en la bota. Las suelas anti deslizantes son requeridas para zapatos y para botas si existe riesgo de resbalar.

### **Protección de la Manos**

Los guantes de seguridad vienen en diferentes diseños, tamaños y composiciones químicas. La longitud debe dar protección completa, y el material debe ser resistente a las sustancias químicas con las que entrará en contacto. La selección del guante de trabajo correcto puede proteger al usuario de lesiones superficiales o de contaminación. Los guantes protectores más usados incluyen:

- Guantes descartables, generalmente de plástico ligero, protegen de irritantes moderados.
- Guantes de tela, algodón u otra tela, mejoran el manipuleo, aunque dan protección mínima contra los contaminantes
- Guantes de goma, pueden estar hechos de diferentes gomas.
- Guantes de cuero, protegen de la abrasión.

- Guantes de malla metálica, protegen de cortes y raspaduras, se usan con herramientas cortadoras.
- Guantes aluminizados, aíslan las manos del calor intenso.

### **Protección de la Piel**

Las cremas protectoras pueden servir como barreras para prevenir que los materiales transportados por el aire (pinturas, polvo, etc.) entren en contacto directo con la piel expuesta. Deben ser usados junto con ropa de protección, de modo que toda el área de la piel se encuentre protegida.

### **Protección Respiratoria**

La protección respiratoria puede minimizar los riesgos de exposición a materiales tóxicos. Máscaras de polvo descartables y filtros no son considerados apropiados para operaciones industriales. En general, existen dos categorías de respiradores consideradas apropiados:

- Purificadores de aire (usan cartuchos)
- Suministradores de atmósfera
  - Suministro externo de aire (compresor)
  - Auto contenedores de aire

**Purificadores de aire.** Las máscaras purificadoras de aire encajan sobre la nariz y la boca y emplean cartuchos para absorber gases y vapores y filtrar materiales particulados. El cartucho es seleccionado especialmente según la naturaleza del riesgo enfrentado. Las máscaras que cubren toda la cara también protegen los ojos y la cara. Pueden tener filtros de polvo además de cartuchos. Estos respiradores no proporcionarán aire y no se los puede usar en ambientes deficientes en oxígeno. Para este peligro se necesita un respirador con suministro de aire.

### **Suministradores de atmósfera**

**Suministradores de aire.** Los respiradores con suministro de aire pueden ser de un cuarto de máscara, de media máscara o máscara total (que cubre toda la cara). Todos estos tipos se encuentran disponibles en configuraciones de demanda de aire, de presión por demanda de aire y de flujo continuo. Los respiradores de casco utilizados por los arenadores están disponibles solamente en configuraciones de flujo continuo, y deben cumplir con los requisitos de la Asociación de Aire Comprimido y ser inodoros. Protegen del abrasivo. La protección incluye un mandil pesado, casco, y protección ocular. Con cualquiera de los respiradores suministradores de aire, la OSHA especifica que el aire proporcionado debe cumplir con los requisitos de aire Grado D. Como especifica la Asociación de Aire Comprimido, se trata de aire que contiene la cantidad normal de oxígeno, no más de 5 mg/m<sup>3</sup> de contaminación por hidrocarburos, no más de 10 ppm de monóxido de carbono, y un máximo de 1000 ppm de dióxido de carbono.

**Aparatos de respiración auto-contenidos.** Los aparatos auto-contenidos pueden ser operados independientemente de una línea de aire, dando mayor movilidad al usuario. Sin embargo, el recipiente de aire añade peso al usuario, y por ello tiene sus propias imitaciones.

El personal que use respiradores debe hacer lo siguiente para la protección completa frente a los peligros respiratorios:

- Debe recibir información acerca del peligro respiratorio.
- Debe recibir entrenamiento con el respirador correcto.
- Debe recibir las pruebas del respirador correcto.
- Debe guardar y limpiar el respirador apropiadamente.
- Debe usar el respirador/cartucho correcto para el trabajo.
- Debe recibir observación médica periódica.

## Otros Temas de Seguridad

### **Estrés por Calor**

El estrés debido al calor podría plantear un problema potencial en proyectos de pintado y de remoción de pintura. Los ejemplos de los trastornos de calor incluyen el sarpullido, los calambres debidos al calor y a la insolación. La insolación es la forma más seria de estrés por calor. Es caracterizada por una temperatura corporal alta, piel colorada y en sudoración disminuida. La cantidad de estrés por calor experimentada por un trabajador es determinada por su estado físico y nivel de actividad física, y por las condiciones ambientales, como temperatura, humedad, y distribución de aire.

### **Control de Tráfico**

Un aspecto importante de la seguridad en operaciones de pintado es el control de tráfico. Los proyectos de recubrimiento a menudo involucran estructuras (como puentes) que interfieren con el tráfico. El programa de seguridad corporativa del contratista debe incluir un plan de control de tráfico que proporcione protección tanto a trabajadores como al público en general. Este plan debe incluir requerimientos para el marcado de carriles, tranqueras, banderistas, capacitación de personal y la inspección periódica para la conformidad.

### **Riesgos Eléctricos**

Los riesgos eléctricos en las operaciones de recubrimiento incluyen cables pelados, incorrecta conexión a tierra, inadecuadas conexiones eléctricas y choques eléctricos.

El uso de interruptores de circuito de tierra (GFCIs) ayuda a prevenir los choques eléctricos. Si no se usan GFCIs, la OSHA requiere a los empleadores que establezcan un programa de conducción a tierra de todo equipo conectado con cables y enchufes.

### **Peligro de Incendio**

Muchos solventes y pinturas diluidas con solventes y que son usadas en las operaciones de pintado son muy inflamables. Los líquidos combustibles

inflamables deben ser guardados en gabinetes especialmente diseñados. No más de 4200 litros [1100 galones] de líquido inflamable o combustible debe ser admitido en áreas de almacenamiento a la vez. Siempre se debe tener al menos un extintor portátil (con una clasificación de por lo menos 20-B unidades) ubicados a no menos de 8 metros [25 pies], y no más de 24 metros [75 pies] de cualquier área de almacenamiento de inflamables. Los empleadores son responsables por el desarrollo de un programa de protección contra el fuego que debe ser seguido en todas las fases del trabajo de construcción y demolición.

### **Desconexión de Equipos**

Los requisitos relativos a la desconexión o el corte de electricidad o equipos para la protección de los trabajadores frente a altos voltajes durante operaciones de mantenimiento y servicio cerca de aparatos eléctricos. Los elementos de un programa escrito de apagado / corte requerido son:

- Procedimientos para cumplir con requisitos mínimos para los cortes de energía y dispositivos de aislamiento.
- Capacitación de trabajadores en operaciones de corte de energía.
- Por lo menos una inspección o verificación anual de los procedimientos de control de energía.

## GLOSARIO

### **Abrasivo:**

- (1) Material usado para desgastar una superficie por fricción
- (2) Material fino y granulado usado para la limpieza con chorro

**Adherencia:** El grado de atracción entre un recubrimiento y un sustrato o entre dos recubrimientos de pintura que son mantenidas juntas por fuerzas químicas o mecánicas, o ambas. La adherencia es llamada a menudo “fuerza adherente” de un recubrimiento. La adherencia no debe ser confundida con la “cohesión”, la cual es la fuerza que mantiene unido una capa simple de un recubrimiento.

**Agregado:** Un grupo de partículas de pigmento seco mantenidas unidas por fuerzas de su superficie; los espacios entre las partículas son ocupados por el aire

**Alcalinidad:** Magnitud en la que la solución dada es alcalina (básica).

**Alifático:** Es una clase de compuesto de hidrocarburo orgánico formados por cadenas abiertas. Estos incluyen las parafinas, olefinas, etc.

**Alto espesor:** Propiedad de un material de recubrimiento que permite su aplicación en un espesor mayor al considerado normal para ese tipo de pintura.

**Altos sólidos:** Término usado para describir un material con un volumen de sólidos superior al normal para ese tipo de pinturas.

**Amino:** Compuesto orgánico derivado del amoníaco por reemplazo de uno o más de sus átomos de hidrógeno por radicales de hidrocarburo. Es usado como agente de curado para las resinas epóxicas.

**Ampollamiento Osmótico:** Contaminación salina (sales solubles depositadas en el sustrato).

**Aromático:** Hidrocarburo que contiene una cadena no saturada de átomos de carbono, tipificada por la estructura anular de la bencina. El xileno, el tolueno y la nafta de alta descarga son solventes aromáticos usados en pinturas.

**Asfalto:** Material cementoso marrón oscuro o negro sólido o semi sólido que gradualmente se licua cuando se calienta. Los constituyentes predominantes son los bitúmenes todos los cuales existen en forma sólida o semi sólida en la naturaleza o son obtenidos por la refinación del petróleo.

**ASTM:** American Society for Testing and Materials, (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales).

**Atmósfera:** Mezcla de gases, acompañadas normalmente por aerosoles y partículas que rodea un objeto determinado.

**Atmósfera industrial:** Atmósfera contaminada por contaminantes corrosivos (especialmente dióxido de azufre), producidos por industrias locales o regionales.

**Atmósfera marina:** Atmósfera existente sobre o cerca del mar. Este tipo de atmósfera se extiende a cierta distancia dentro del suelo firme, dependiendo de la topografía del lugar y de la dirección prevalenciente del viento. Está generalmente cargada de un aerosol de agua de mar, en la que prevalecen los cloruros.

**Atmósfera rural:** Atmósfera que prevalece en áreas rurales y pequeñas ciudades, sin significativa corrosión producida por dióxido de azufre y/o cloruros.

**Atmósfera urbana:** Atmósfera contaminada que prevalece en zonas densamente pobladas, sin industrias. Se pueden encontrar moderadas concentraciones de dióxido de azufre y cloruros.

**Capa:** Película continua de un material metálico o película continua de pintura, resultado de una aplicación simple.

**Capas de acabado:** La última capa de un sistema de pinturas, diseñada para proteger las capas anteriores del medio agresivo, contribuyendo a la protección total suministrada por el sistema y cumpliendo con los requisitos de color.

**Capa de adhesión (tie coat):** Una capa diseñada para aumentar la adhesión y/o evitar ciertos defectos durante la aplicación.

**Capa suplementaria (stripe coat):** Película suplementaria aplicada para asegurar la adecuada protección de áreas críticas como perforaciones, soldaduras, etc.

**Clima:** Las condiciones del tiempo que prevalecen en un área o ubicación dada, establecidas estadísticamente por parámetros meteorológicos registrados a través de largo tiempo.

**Compatibilidad:**

{I} De productos en un sistema de pinturas: La capacidad de 2 o más productos para ser usados dentro de un sistema de pinturas sin que aparezcan efectos no deseables.

{II} De un producto con el sustrato: La capacidad de un producto para ser aplicado sobre un sustrato sin que aparezcan efectos no deseables.

**Compuesto orgánico volátil (VOC):** Todo líquido orgánico y/o sólido que se evapora en forma espontánea en las condiciones de temperatura y presión existentes en el medio con el que está en contacto. Para el uso corriente que se le da al término en pinturas, ver párrafo siguiente.

**Contenido de compuesto orgánico volátil:** La masa de compuestos orgánicos volátiles presentes en una pintura o revestimiento, determinado bajo condiciones especificadas.

Nota: El término "volátil" depende de la esfera de aplicación del material y las condiciones en el lugar de aplicación y no del método que se emplea. Para cada esfera de aplicación, los valores límites para el contenido de VOC's y los métodos

para su determinación o cálculo, están determinados por regulaciones o convenios.

**Corrosión:** Interacción fisicoquímica entre un metal y su medio ambiente, lo que resulta en cambio en sus propiedades

**Corrosividad:** Aptitud de un medio para producir corrosión en un sistema corrosivo determinado.

**Corrosión atmosférica:** Corrosión producida por la atmósfera terrestre como medio corrosivo y a temperatura ambiente.

**Corrosión instantánea:** Ligera formación de herrumbre que aparece rápidamente sobre una superficie de acero preparada.

**Deterioro por corrosión:** Efecto corrosivo perjudicial para las propiedades del metal, el medio o el sistema técnico del cuál forma parte.

**Diseño:** Planificación a seguir durante la construcción de una estructura, que comprende un plan detallado e incluye medidas a seguir para la protección anticorrosiva.

**Durabilidad:** Vida esperada de un sistema de pinturas antes de realizar el primer pintado de mantenimiento.

**Escama de laminación:** Capa de oxido densa formada durante la fabricación en caliente o durante los tratamientos térmicos de los aceros.

**Espesor de película seca (DFT):** El espesor de pintura que permanece sobre la superficie cuando la película ha endurecido.

**Espesor de película nominal (NDFT):** El espesor de película especificado para cada capa o para el total del sistema de pintura y que es necesario para asegurar los requerimientos de durabilidad.

**Espesor de película máximo (MDFT):** El mayor espesor de película seca al cuál la pintura o sistema de pinturas aseguran su capacidad protectora.

**Factores de corrosión:** Factores ambientales que promueven los fenómenos de corrosión.

**Fosfato de plomo:** Es un polvo blanco o incoloro. Se utiliza como estabilizador para plásticos.. puede causar daños a los riñones y el cerebro, y anemia al dañar los glóbulos sanguíneos.

**Fuerzas de corrosión:** Factores ambientales que promueven la corrosión.

**Granalla (grit):** Partículas predominantemente angulares, que tienen caras fracturadas y ángulos agudos.

**Granalla (shot):** Partículas predominantemente esféricas, que tienen un diámetro menor que el doble del ancho máximo de partícula y no tienen filos cortantes, caras partidas u otros defectos de forma.

**Herrumbre:** Productos de corrosión visibles que, para el caso de los aceros, están formados por óxidos de hierro hidratados.

**Herrumbre blanca:** Productos de corrosión de color blanco a gris oscuro, que se forman sobre la superficie de sustratos protegidos con cinc.

**Imprimación:** Pintura formulada para usar como primera capa, comúnmente usada debajo de las capas siguientes.

**Imprimación de pre-fabricación:** Una pintura de secado rápido que es aplicada sobre superficies chorreadas con abrasivos y protege al acero durante la etapa constructiva, permitiendo además su soldadura.

**Limpieza con abrasivos:** Golpeteo de una corriente de abrasivos con alta energía cinética sobre la superficie a preparar.

**Medio ambiente local:** Condiciones atmosféricas que prevalecen alrededor de un elemento constituyente de la estructura. Estas condiciones determina la categoría de corrosividad e incluye ambos parámetros: meteorológicos y de polución ambiental.

**Metaborato de bario:** Se usa como ajuste de ph para mejorar estabilidad cuándo un látex se aplica sobre metales ferrosos.

**Microambiente:** El medio ambiente existente en la interface entre un elemento constituyente de la estructura y su entorno. El microambiente es uno de los factores decisivos en la determinación de los factores de corrosión.

**Oxidación con aire:** Reacción química con el oxígeno del aire

**Película de imprimación:** Primera capa de un sistema, obtenida por aplicación de un "primer". Este tipo de capa provee de buena adhesión sobre metales con suficiente rugosidad, metal limpio y/o pinturas viejas limpias, asegurando la adhesión de las capas subsiguientes. También provee protección contra la corrosión durante los intervalos del repintado y toda la vida útil del sistema en servicio.

**Películas intermedias:** Capas existentes entre la imprimación y la pintura de acabado. En inglés el término "undercoat" se suele usar como sinónimo.

**Pintura:** Material pigmentado, presentado en forma líquida, pastosa o de polvo la cuál, aplicada sobre un sustrato, forma una película opaca que tiene propiedades protectoras, decorativas u otras específicas.

**Polvo:** Materia de partículas sueltas depositada sobre una superficie de acero preparada para pintar, que aparecen luego de una operación de chorro de

abrasivos o por otro proceso de preparación, o como resultado de la acción del medio ambiente.

**Preparación de superficie:** Todo método aplicado para preparar la superficie antes del pintado.

**Punto de rocío:** La temperatura a la cuál la humedad del aire condensa sobre una superficie sólida.

**Resistencia a la abrasión:** La habilidad de un recubrimiento de resistirse a ser desgastado y mantener su apariencia original y estructura cuando se ve sometido al frotamiento, a raspado o desgaste por uso

**Revestimiento:** Pintura protectora aplicada sobre la parte interior de un tanque.

**Sistema de revestimiento protector:** Suma total de capas de un material metálico y/o pinturas o productos relacionados, los que han sido aplicados o se aplicarán para proveer protección anticorrosiva.

**Sistema protector de pinturas:** Suma total de capas de pintura o productos relacionados, los cuales han sido aplicados o se aplicarán para proveer protección anticorrosiva.

**Sustrato:** Superficie sobre la cuál el revestimiento o la pintura han sido aplicados o se aplicarán.

**Sistema en corrosión:** Sistema compuesto de dos o más metales y todas las partes del medio agresivo que influyen sobre la corrosión.

**Tipo de atmósfera:** Caracterización de la atmósfera sobre la base de los agentes corrosivos presentes y su concentración. Los agentes corrosivos considerados son gases (dióxido de azufre) y sales (cloruros y sulfatos).

**Tiempo de humectación:** Período durante el cuál una superficie metálica permanece cubierta por una capa fina de electrolito, capaz de producir corrosión atmosférica. Valores guía del tiempo de humectación se pueden calcular por valores de temperatura y humedad (punto de rocío), por suma de las horas durante las cuales la estructura se mantiene por encima de 80% de HR, al mismo tiempo que la temperatura se mantiene alrededor de 0°C.

**Tixotropía:** Se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, y su posterior recuperación con el tiempo. Las pinturas tixotrópicas, cuando son mezcladas, bajan su viscosidad. Si, a continuación, se las deja en reposo, recuperan la cohesión y su comportamiento original.

**Vida útil ("pot life"):** Tiempo máximo durante el cuál un material de dos componentes que se provee en dos envases puede ser usado luego del mezclado de ambas partes.

**Vida útil en el envase ('Shelf life'):** Tiempo durante el cuál una pintura se mantiene en buenas condiciones para su uso, almacenado en sus envases originales y en condiciones normales de temperatura (entre + 3 y + 30 ° C).