



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**RECUBRIMIENTOS ORGANICOS EMPLEADOS
PARA LA PROTECCION DEL ACERO USADO EN
CONSTRUCCION**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA MECANICA)

P R E S E N T A :
ARMANDO SANCHEZ MARTINEZ

DIRECTOR DE TESIS: M.C. ARTURO BARBA PINGARRON



MEXICO, D. F.

1993

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I n t r o d u c i o n

El objetivo de este escrito es exponer con sencillez los hechos que gobiernan la protección mediante pintura de las estructuras de acero contra la corrosión.

Durante muchos años se ha experimentado el comportamiento de los metales y aleaciones en la atmósfera, tanto a través de ensayos de exposición, como por la conducta de estructuras y componentes metálicos en su utilización práctica, con lo cual se ha logrado desarrollar cierto número de principios básicos; las posibilidades de los métodos de lucha anticorrosiva han sido igualmente lentos, muchas veces por caminos empíricos, aunque últimamente, el caudal de conocimientos sobre este tema ha crecido más de prisa que nunca debido al interés despertado por el estudio de mecanismos fundamentales de la corrosión y la protección de los materiales.

Dado que algunos metales se han empleado desde hace siglos y el deterioro por corrosión ha sido y es siempre un factor que debe de tenerse en cuenta.

Así nuestra industria exige que el problema se estudie con mayor ahínco, tanto debido al hecho de que los ambientes en que la corrosión tiene lugar, son cada vez más frecuentes e intensos, motivo por el cual la sustitución de las estructuras y de la maquinaria metálica, unido al gasto que representa la interrupción de las operaciones industriales exigida por la

reparación de los desperfectos y la mano de obra necesaria, representan una carga económica mas pesada que antes.

En la batalla que se libra para conservar nuestros recursos metalíferos, uno de los factores mas importantes es la creciente conciencia de los enormes perjuicios resultantes de la corrosión y el desarrollo de materiales y métodos eficaces para combatirla.

El método mas importante de conservación del estado metálico se basa en recubrimientos protectores.

Los metales se degradan inexorablemente con el tiempo de muy diversas formas, dejando de ser funcionales. La mayoría de los metales son inestables en muchos de los ambientes encontrados en la tierra, la misma atmósfera, el agua de mar, salmueras, soluciones ácidas, neutras, alcalinas, etc.

Uno de los métodos mas importantes del control de la corrosión se basa en el empleo de recubrimientos orgánicos anticorrosivos, en este caso la pintura es nuestro tema, el cual se realiza con el fin de tener una defensa contra la corrosión de los metales, puesto que este fenómeno, es el que en muchos casos condiciona la posibilidad de aplicación de los mismos y el que pone un límite a la vida de los diversos objetos o construcciones metálicas.

Las pérdidas económicas que ocasiona el ataque de los diferentes agentes químicos sobre los metales son muy cuantiosos, es evidente por lo tanto, el interés que el tema de la protección de los metales ofrece.

En general cabe catalogar a las investigaciones de la corrosión y protección de los materiales dentro de dos grupos: las que estudian casi siempre a escala laboratorio, el fundamento de los

procesos de corrosión y protección, y las que ensayan 'sobre el terreno' metales y recubrimientos frente a las mas variadas atmósferas.

A temperatura ambiente y en una atmósfera perfectamente seca la corrosión metálica progresa a velocidad infinitesimal, por lo que puede ser ignorada a efectos prácticos; pero adquiere especial importancia sobre superficies húmedas, el mecanismo es electroquímico, el electrolito esta constituido por una película de humedad extremadamente delgada o una película acuosa, cuando el metal aparece perceptiblemente mojado.

La magnitud de la corrosión depende fundamentalmente del tiempo durante el cual la superficie aparece húmeda, aunque en realidad queda fijada por una combinación de factores como son; la lluvia, humedad relativa, temperatura, propiedades del óxido formado, etc.

Uno se pierde en detalles y no es raro concluir con excesivo pesimismo que los datos no tienen mas alcance que el que se refiere a las condiciones precisas de la realización de los ensayos (lugar, período y hasta fecha). No obstante, cualquier relación aproximada, que se establezca entre climatología y contaminación, por un lado, y la magnitud de los daños producidos por otro, ofrece la posibilidad de hacer predicciones sobre la corrosión en otros lugares cuya climatología y contaminación sean también conocidas, claro esta que estas estimaciones no serán mas que meras aproximaciones, pero de mucho valor practico a falta de datos directos.

Desafortunadamente el problema de la corrosión de los metales en

la atmósfera se ha agravado últimamente a causa del empeoramiento del medio ambiente paralelo al continuo avance de la civilización.

El autor

I n d i c e

Introducción

Capítulo 1	No.
Problemas de la Corrosión en la Industria de la Construcción	1
1.1.- Medidas Protectoras	
1.2.- Peculiaridades del Sector de la Construcción	
1.3.- Materiales que Necesitan Protección	
1.4.- Problemas Frecuentes en la Industria de la Construcción	
1.5.- Predicción de la Vida de Servicio	
1.6.- Principales Preocupaciones Actuales	

Capítulo 2

Medidas Anticorrosivas en la Exposición de los Metales	28
2.1.- Materiales Metálicos Resistentes a la Corrosión	
2.2.- Recubrimientos Metálicos	
2.3.- Recubrimiento de Pinturas	
2.4.- Economía en la Elección del Sistema Protector	
2.5.- Condiciones Ambientales en el Comportamiento de los Recubrimientos Orgánicos	

- 3.1.- **Bosquejo Histórico de los Recubrimientos**
- 3.2.- **Principales Tipos de Recubrimientos**
- 3.3.- **Razones por las Cuales Emplear Recubrimientos**
- 3.4.- **Características Generales**
 - A).- **Recubrimientos Obtenidos por Conversión**
 - A1.- **El anodizado**
 - B).- **Recubrimientos Obtenidos por Inmersión**
 - B1.- **Deposición de sales acuosas**
 - B2.- **Deposición en baños de sales fundidas**
 - B3.- **Recubrimiento en metales fundidos**
 - C).- **Metalización**
 - C1.- **La metalización por proyección**
 - C1.1.- **Proyección a la flama**
 - D).- **Proyección por Arco Eléctrico**
 - E).- **Recubrimiento de Capas Duras Superficiales Obtenidas en Vacío Mediante Plasma**
 - E1.1.- **Ionización**
 - E1.2.- **Pulverización catódica**
 - F).- **Pintura por Conversión**

4.1.- Clases de Recubrimientos Orgánicos

- A).- Pinturas
- B).- Esmaltes
- C).- Lacas o acabados de resinas disolventes
- D).- Recubrimientos plásticos

4.2.- Propiedades Generales

- A).- Pigmentos
- B).- Aglutinantes
- C).- Disolventes
- D).- Aditivos
- E).- Plásticos

Sistemas de Aplicación

5.1.- Métodos de Aplicación de Recubrimientos Orgánicos

- A).- Pintura
 - A1.- Aplicación a brocha y rodillo
 - A2.- Aplicación aerográfica o a pistola
 - A3.- Pintado electrostático
 - A4.- Aplicación a pistola sin aire
 - A4.1.- Aplicación en caliente
 - A4.2.- Aplicación a pistola de dos componentes
 - A5.- Sistema de aplicación mediante aerosoles

- A6.- Aplicación por inmersión
- A7.- Aplicación por chorreo
- A8.- Aplicación mediante cinta
- A9.- Sistema de recubrimiento centrífugo y mediante barriles oscilantes
- A10.- Aplicación mediante rodillos
- B).- Plásticos
- B1.- Inmersión
- B2.- Aspersión
- B3.- Proyección
- B4.- Electroforesis

Capítulo 6

98

Defectos de los Recubrimientos Orgánicos

- 6.1.- Fallas que Presentan Durante su Almacenamiento
- 6.2.- Fallas Debidas a los Utiles Empleados
- 6.3.- Defectos de Oxidación en las Estructuras de Acero

Capítulo 7

Factores Condicionantes en Recubrimientos de Pinturas

113

- 7.1.- Mecanismos de Protección
- 7.2.- Importancia del Diseño de la Estructura
- 7.3.- Efecto de la Base Metálica
- 7.4.- La Agresividad Atmosférica en el Comportamiento del Recubrimiento de Pintura

- 7.5.- Efecto de la Contaminación
- 7.6.- Selección de Esquemas Protectores
- 7.7.- El Pintado de Superficies de Acero Imperfectamente Limpias
- 7.7.1.- Efecto de la Preparación de Superficie

Capítulo 8

La Pintura en la Corrosión

161

B.1.-Uso de los Recubrimientos Organicos en Aceros Empleados en la Construcción

A).- Preparación de la Superficie

A1.- Desengrasado

1.- Fase líquida

2.- Fase vapor

3.- Proyección

A2.- Flameado

A3.- Decapado químico

A3.1.- Decapado electroquímico

A4.- Chorro de arena

B.- Elección del Sistema Adecuado de Pintura

B1.- Tipos de pintura

1.-Evaporación del disolvente

2.- Oxidación

3.- Curado

B2.- Pinturas de imprimación

B3.- Pinturas de acabado

B4.- Sistemas de pintado resistentes a productos químicos

C.- Sistema de Pintado

C1.- Importancia de las correctas condiciones de pintado

C2.- Métodos de aplicación de pintura

C3.- Espesor de películas de pintura

C4.- Repintado de estructuras de acero

C4.1.- Preparación de la superficie para el repintado

C4.2.- Elección del sistema de pintado

1.- Pintura vieja en buenas condiciones

2.- Pintura vieja con algunos puntos de corrosión

3.- Pintura vieja en malas condiciones

C5.- Protección del acero sometido a altas temperaturas

C5.1.- Sistemas de pintado de recubrimientos metálicos

D.- Efecto del Modo y Condiciones de Aplicación de la Pintura

E.- Mantenimiento de los Recubrimientos de Pintura

F.- Aspectos Económicos en la Selección de los Recubrimientos de Pintura

Conclusiones

Bibliografía

A n e x o

210

1.- Pruebas de Aceptación de un Recubrimiento Anticorrosivo

1A.- Condiciones de exposición

1B.- Preparación de superficie

1C.- Recubrimientos anticorrosivos

1D.- Sistema

- 2A.- Inspeccion
- 2B.- Revision de equipo
- 2C.- Metodo de la prueba de la viscosidad
- 2D.- Espesor de la pelicula
- 2E.- Continuidad de la pelicula
- 2F.- Adherencia
- 2G.- Determinacion de la resistencia a altas temperaturas
- 3A.- Sistemas para cada tipo de exposicion

C a p í t u l o 1

Problemas de Corrosión en la Industria de la Construcción

Introducción

Evaluaciones llevadas a cabo por comites de expertos en corrosión y protección contra la corrosión, fijan las pérdidas anuales causadas por la corrosión entre el 1.25% y el 3.5% del P.N.B.

Estas cifras pueden considerarse todavía como muy conservadoras pues, en la mayoría de los casos, incluyen sólo los costos directos de corrosión ocasionados por las medidas preventivas, de mantenimiento, o por la sustitución de las partes corroídas, siendo así que una evaluación más real debería incluir las ramificaciones primarias, como pérdida de producción, costo de las plantas durante el paro, coeficientes de seguridad en el diseño para prevenir los desgastes provocados por la corrosión, o disminución de la calidad en la producción a consecuencia de la impurificación con los productos de la corrosión, entre otras.

El informe Hoar, modelo del que parten todos los estudios sobre costos sociales de la corrosión, dado a conocer en 1971, se estimaba que las pérdidas por corrosión ocasionadas en el sector de la construcción representaban el 18.3% del total, siendo superadas exclusivamente por las pérdidas atribuibles a los sectores del transporte y de las aplicaciones marinas.

En la Figura 1.1 Se condensan los datos fundamentales del citado informe, admitiendo que los costos de corrosión puedan ascender hasta un 3.5% del P.N.B. Los debidos al sector de la construcción

se sitúan algo por encima de 0.6% de dicho índice, cifra con la cual resalta la importancia del tema que nos ocupa.

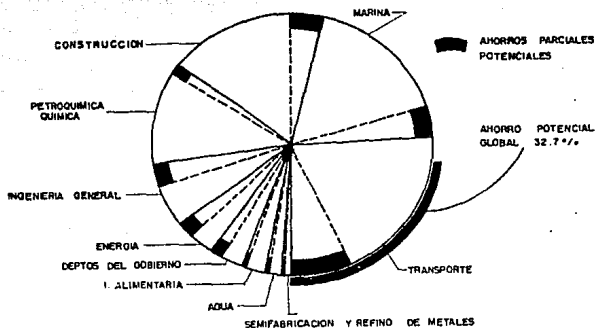


Figura 1.1.- Costos porcentuales de la corrosión y estimación de los ahorros potenciales derivados de un uso correcto de los conocimientos en corrosión y protección.

1.- Medidas Protectoras

1.1.- Recomendaciones Generales

Nunca gente pensaría que la mejor manera de luchar contra las pérdidas por corrosión sería "descubriendo" nuevos materiales resistentes a ella, o nuevos métodos de protección.

Sin embargo, aunque tal objetivo sea importante, el máximo ahorro factible resulta de la correcta aplicación de los

conocimientos y técnicas ya existentes, citándolo en un 22.7% de los costos de la corrosión y recomendando como medidas fundamentales para alcanzar tal logro; las siguientes:

- 1.- Mejor información sobre corrosión y protección.
- 2.- Necesidad de una mayor educación en materia de corrosión.
- 3.-Aumento de la preocupación o consciencia sobre los riesgos de la corrosión.

1.2.- Peculiaridades del Sector de la Construcción

En la industria de la construcción los problemas se agravan, debido a que sus ingenieros y técnicos, si no han recibido formación en este campo, son incapaces de suministrar información sobre la forma de realizar una protección eficaz de las estructuras, o sobre el mantenimiento adecuado de un determinado sistema protector: formación que por otra parte tampoco se adquiere en la práctica, ya que al ser el periodo de garantías demasiado corto para que los daños de corrosión se manifiesten en las estructuras, el mantenimiento es problema casi exclusivo del usuario y el ingeniero no suele recibir información sobre el éxito o fracaso de las medidas de protección adoptadas. Se entiende, pues, una formación de los ingenieros en construcción suficiente, si no para resolver los problemas de corrosión, al menos para prevenirlos y reconocerlos, con objeto de que se preocupen de conseguir la información o el asesoramiento convenientes.

La realidad es que la buena protección de una estructura es

previa a la estructura misma. O sea que debe comenzar con el proyecto; cuando la construcción no pasa de ser un producto mental, se debe pensar ya en los riesgos que se pueden derivar eventualmente de la corrosión y en las soluciones capaces de minimizar tales, en ocasiones, inevitables riesgos.

La elección de un sistema de protección adecuado es casi la última medida, no la primera, de una protección correctamente concebida y su éxito o fracaso vienen condicionados, en menor o mayor grado, por etapas previas irreversibles de la construcción. Entre tales etapas pueden citarse:

- a.- Una elección y combinación apropiada de los materiales de construcción.
- b.- Un diseño de los perfiles que facilite la preparación superficial, la aplicación de una protección y los trabajos de mantenimiento. Figura 1.2
- c.- Evitar unas condiciones ambientales o una situación de la estructura desfavorables desde el punto de vista de la corrosión.
- d.- Elección de un sistema de protección adecuado.

Los dos primeros puntos son en realidad previsiones que deben tomarse ya durante el diseño, cuya importancia no ha sido, hasta ahora, muy notoria.

Es cierto que existen numerosas reglas de diseño, y en un intento de sintetizar al máximo dichas reglas de diseño, podrían, reducirse a las dos siguientes:

- I.- Incluir una formación básica en corrosión en los planes de estudio de los ingenieros que mas tarde se van a ocupar del

diseño, fabricación y mantenimiento de las estructuras metálicas.

II.- Prever y evitar al máximo todo tipo de contaminantes; en los materiales metálicos, en el medio, o que puedan generarse en el servicio.

La primera de ellas no es propiamente una regla, pero sí la condición, necesaria para que se tenga en cuenta las verdaderas, mientras que la última es una especie de compendio de todas las reglas de diseño.

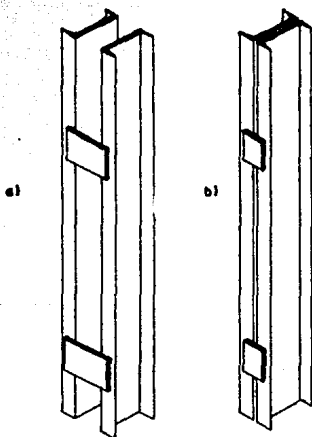


Figura 1.2.- Ejemplos de piezas compuestas, correcta a) y equivocadamente concebidas b), desde el punto de vista de la facilidad de protección y mantenimiento.

1.3.- Materiales que Necesitan Protección: Estructuras de Acero

El comportamiento de los materiales metálicos puede variar enormemente con las condiciones de exposición, por lo que el sistema a considerar en cada caso será:

materiales metálicos-productos de corrosión-medio ambiente en especial las fases extremas, pues las características de los productos de corrosión quedan ya condicionadas por el material metálico y el medio que actúa sobre él.

Un porcentaje elevadísimo de estructuras queda sometida a la acción de los medios ambientes naturales, atmósferas, aguas o terrenos, siendo las expuestas a la atmósfera las más numerosas: puesto que el 80% aproximadamente. De las estructuras metálicas están sometidas a condiciones de exposición atmosférica, lo que explica el porque, el 50% de los costos de la lucha contra la corrosión se empleen en combatir la corrosión atmosférica.

En la selección de métodos de protección habría que partir, en cualquier tipo de ambiente, de la distinción entre materiales que no precisan protección y aquellos que sí la exigen. En la tabla I se ofrece una clasificación aplicable a estructuras expuestas a la atmósfera. Para medios naturales más agresivos resultaría necesario extender la protección a otros materiales metálicos.

En la tabla II se ofrecen datos cuantitativos sobre el comportamiento del Al, Cu, Fe, y Zn en distintas atmósferas.

El material estructural por excelencia lo constituyen los aceros al carbono, cuya desventaja esencial, que tiene que aceptarse y

combatirse. Duesto que, por razones de precio y resistencia mecánica, no es suficiente para limitar su uso, es la susceptibilidad frente a la corrosión en los más variados ambientes.

Los métodos de protección más difundidos en la práctica se enumeran en la tabla III.

La aplicación de recubrimientos de pintura es el método más ampliamente utilizado en la protección contra la corrosión, estimándose que por cada 100 metros cuadrados de superficie metálica expuesta, unos 85-90 metros cuadrados están protegidos por recubrimientos de pintura. Actualmente hay una gran variedad de recubrimientos de pintura, muchos de ellos formulados especialmente para cumplir requerimientos específicos, cubriendo la totalidad de ambientes naturales y muchos industriales.

Aparte de ser el método de protección más importante de los utilizados para evitar la corrosión de las estructuras enterradas y de las sumergidas en medios acuosos, la protección catódica es, en muchas circunstancias el único método disponible para detener un proceso ya iniciado de corrosión.

Pero un análisis de las pinturas o de la protección catódica excede con mucho las posibilidades y pretensiones de este trabajo.

En corrosión uno de los métodos de protección más difundidos son los recubrimientos de zinc, pues mientras la corrosión del acero sin proteger representa generalmente un serio problema de mantenimiento en todos los ambientes húmedos, la del acero

cubierto con hormi6n queda limitada a unos cuantos casos
 especiales. lo que ocurre es que las propiedades de los
 constituyentes, acero y hormi6n, hacen que los productos mltos
 resultantes, (hormi6n armado, post y pretensado) hagan que se
 olviden los efectos individuales del hormi6n y del acero, entre
 ellos la protecci6n de uno por el otro, sin la cual es impensable
 el tremendo desarrollo adquirido por este tipo de estructuras.

1.4.- Problemas Frecuentes en la Industria de la Construcci6n

Los problemas mas frecuentes de corrosi6n en la industria de la
 construcci6n se anotan en la tabla IV divididos en: problemas
 conocidos y practicamente resueltos, problemas no resueltos a
 pesar de resultar conocidos y problemas insuficientemente
 conocidos y por lo tanto, no resueltos o resueltos
 deficientemente.

La mayor parte de los problemas de corrosi6n, que afectan al
 sector de construcci6n, se encuentran entre los conocidos pero no
 resueltos. Esto quiere decir, que se conocen para ellos
 soluciones, mas o menos eficaces, que dejan de aplicarse por
 desconocimiento.

En la actualidad y desde hace tiempo el material de construcci6n
 mas difundido es el hormi6n, cuyo consumo supera al de todos los
 materiales de construcci6n considerados conjuntamente. Una parte
 muy importante de las estructuras de hormi6n esta reforzada con
 armaduras de acero y la corrosi6n de estas armaduras es la causa
 principal del deterioro de las estructuras.

Se podría aceptar como resuelto el problema de la corrosión en las estructuras de hormigón armado, si se considera que los dos únicos factores, de importancia práctica causantes de la corrosión en este tipo de estructuras son: la presencia de iones despasivantes (esencialmente los cloruros) en cantidad suficiente para romper la pasividad de las armaduras y la carbonatación del hormigón.

Y efectivamente, se pueden conseguir hormigones de buena calidad, prácticamente incarbonatables y se puede, por lo general, excluir a los cloruros de la fabricación y puesta en obra de las estructuras de hormigón, con lo cual parece resuelto el problema.

Sin dejar de ser cierto, la carbonatación deja de representar un riesgo en la práctica para hormigones de alta dosificación, bien compactados y con pequeña relación agua-cemento, pero cuando los cloruros se encuentran en el medio, como sucede en las estructuras marinas, penetraran por difusión en el hormigón y aunque originalmente no los contenga, será cuestión de tiempo que lleguen a nivel de las armaduras en cantidad suficiente para forzar la transición de estas del estado pasivo al activo.

Sobre este tiempo de iniciación de la corrosión se puede actuar modificando la penetrabilidad del hormigón y utilizando un espesor de recubrimiento (de hormigón) suficiente sobre las armaduras, de forma que se demore el comienzo de la corrosión lo necesario para superar la vida en servicio prevista para la estructura.

No obstante, no es sencillo definir en cada caso lo que es un hormigón de buena calidad, saber regular la penetrabilidad del mismo, o precisar cual es el espesor suficiente de recubrimiento.

Tales conceptos cambian con la finalidad y condiciones de servicio de la estructura y son función de múltiples factores como: la penetrabilidad que depende de la dosificación del hormigón, de las relaciones agua-cemento, Figura 1.3.- y cemento-arena, de las condiciones del curado (grado de hidratación) y de la compactación.

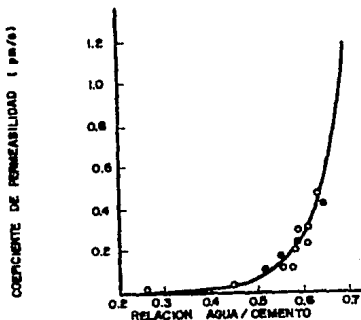


Figura. 1.3.- Efecto de la relación agua/cemento sobre la permeabilidad de las probetas de mortero de cemento

Desafortunadamente los conocimientos necesarios solo los atesoran unos cuantos especialistas en la materia con muchos años

de estudio y experiencia. Lo que nos lleva a considerar el problema de la corrosión de las estructuras de hormigón lejano aun a una solución satisfactoria para todos los casos.

Contra el efecto de los cloruros se adoptan medidas preventivas muy variadas: la galvanización de las armaduras, la protección catódica de las mismas, la utilización de revestimientos impermeabilizantes, o el empleo de nitritos como inhibidores de la corrosión. No obstante, el recurso a un espesor suficiente de hormigón de buena calidad sigue siendo la medida preventiva más eficaz, proporcionando las mayores garantías de durabilidad a las estructuras. Las medidas protectoras ante daños posibles o presentes pueden, como máximo, restablecer la situación previa a la rotura de la pasividad, pero no mejorarla, o bien dilatar el tiempo de iniciación de la corrosión.

1.5.- Predicción de la Vida de Servicio

Al ingeniero en construcción le preocupa la durabilidad de las estructuras y la predicción de la misma resulta difícil por el hecho de que a las obras se les exigen, por lo general, vidas de servicio de 50 o más años y los deterioros, en periodos tan prolongados de tiempo, suelen estar asociados a fenómenos de corrosión.

En el caso de las estructuras de hormigón armado la vida en servicio responde al modelo esquematizado en la Figura 1.4, siendo necesario estimar o medir los siguientes parámetros:

-el tiempo de iniciación durante el cual permanecen pasivas las

armaduras (11).

-La velocidad de corrosión media una vez que el fenómeno se ha iniciado, es decir la pendiente de los tramos inclinados de la Figura 1.4.

-El máximo grado de corrosión tolerable por unidad de área (C_{max}) antes de proceder a la reparación o sustitución de la estructura.

El tiempo de probación (t_2), es igual a (C_{max} / V_{corr}) y la vida en servicio prevista (t_1+t_2) o (t_2) en el caso en que los cloruros se introduzcan durante la fabricación de la estructura y se parta del supuesto de una misma velocidad de corrosión.

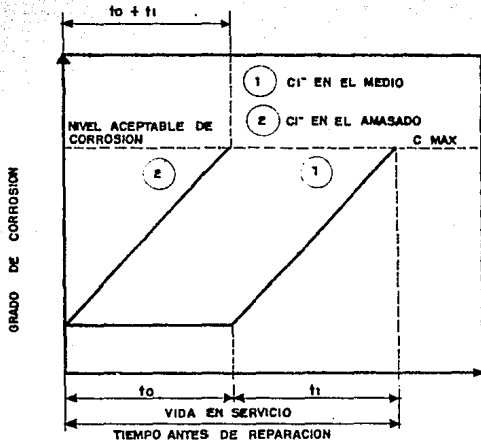


Figura 1.4.- Modelo de la vida en servicio de la relación con la corrosión de las armaduras en las estructuras de hormigón.

En hormigones de elevada densificación y pequeñas relaciones agua-cemento la penetración del frente de carbonatación es prácticamente nula, pudiendo conseguirse (T1) superiores a la vida prevista en proyecto si el riesgo de corrosión proviene de la carbonatación.

Cuando los cloruros son la causa de la corrosión, (T1) puede variar desde cero, para contaminaciones iniciales elevadas, hasta fracciones sustanciales de la vida en servicio, para estructuras marinas o expuestas a sales de deshielo. En ambientes menos agresivos (T1) puede superar la vida exigida a la estructura.

Para la estimación de (T1) hay que suponer un umbral de cloruros a partir del cual empieza a contar (T2), existiendo un amplio consenso en fijar el límite en un 0.4% de cloruros en relación al peso del cemento.

Aceptando un valor umbral se puede determinar (T1) por estudios de la cinemática de penetración de los cloruros en hormigones de diferentes características. La experiencia práctica con estructuras expuestas periódicamente a las sales de deshielo sugiere que es extremadamente difícil extender el periodo de iniciación de la corrosión, (T1), más allá de 5 años con recubrimientos de hormigón de espesor y calidad normales.

Para llegar al conocimiento de la velocidad de corrosión existen diferentes procedimientos:

- A) El control de la corrosión en las condiciones reales de servicio por procedimientos visuales o físicos.
- B) Ensayos acelerados de corrosión.

C) La determinación de la velocidad instantánea de corrosión por técnicas electroquímicas en modelos de dimensiones reducidas.

D) Determinación de la velocidad instantánea de corrosión en las estructuras reales.

Debido a la tremenda lentitud del procedimiento A) y la falta de fiabilidad del B), el desarrollo del C), en el decenio de los 70, los a desplazado totalmente. El procedimiento D) sería la solución ideal y es un objetivo aún no conseguido, pero que persiguen con ahínco investigadores de muchos países.

La enorme sensibilidad de estos procedimientos y el no estar bien informado de los tradicionales en cuanto a su duración, la exigencia de acceso directo a las armaduras y necesidad de romper las probetas para obtener un solo dato han propiciado grandes avances recientes en la ciencia de la corrosión.

La pérdida del estado pasivo se revela por llamativos cambios en los parámetros electroquímicos de las armaduras, como muestra la Figura 1.5. Para el caso de la carbonatación de probetas de mortero.

Se puede determinar así la evolución de la i_{corr} (v_{corr}) con el tiempo, Figura 1.6 y conocer el factor de corrosión por separado sobre la cinemática del proceso Figura 1.7 y 1.8.

La satisfactoria concordancia entre las estimaciones electroquímicas y las determinaciones gravimétricas en condiciones idénticas demuestran la fiabilidad de las primeras. Figura 1.9. Todo esto ha hecho posible el dotar de contenido cuantitativo a los conocimientos tradicionales que se tenían

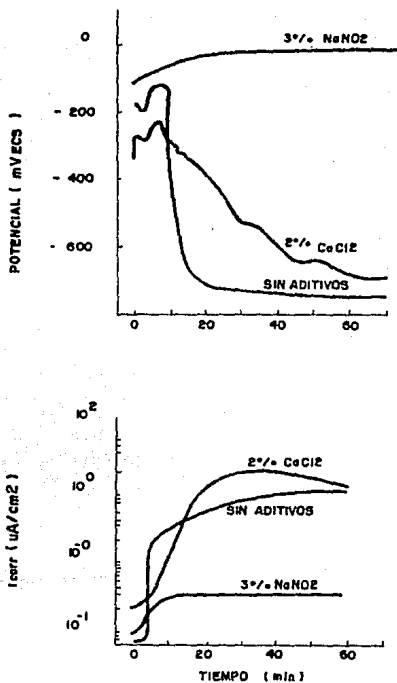


Figura. 1.5 Efectos combinados de los aditivos y la carbonatación del mortero en atmósfera de CO_2 sobre el potencial e i_{corr} de redondos de acero negro, al iniciarse la carbonatación acelerada del mortero.

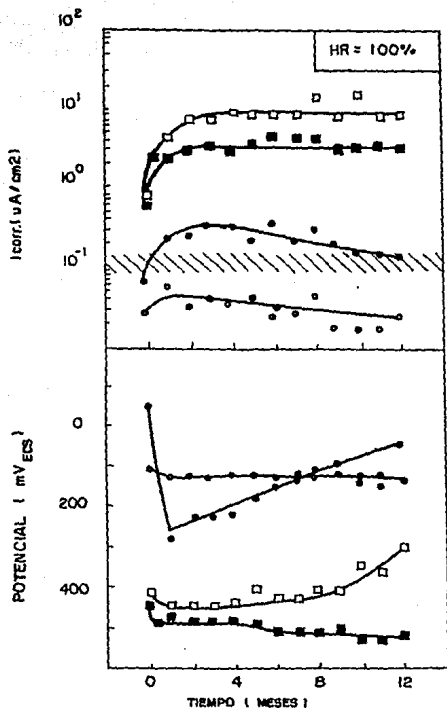


Figura. 1.6 Efecto de la carbonatación y las adiciones de cloruros sobre la i_{corr} y el E_{corr} de armaduras de acero negro embebidas en probetas de mortero y mantenidas en una HR=100%.

mortero sin aditivos
 mortero carbonatado y sin aditivos
 mortero con un 2% $CaCl_2$
 mortero carbonatado y con un 2% $CaCl_2$

sobre el riesgo de corrosión de las armaduras, meramente cualitativos, con lo cual queda abierto el camino hacia una predicción razonable de la vida en servicio de las armaduras en las mas variadas circunstancias.

La cantidad máxima tolerable de corrosión, C_{max} , depende, como es obvio del tipo de estructura y de su entorno.

Si se designa por (r) a la capacidad resistente residual de un elemento o sistema dañado por la corrosión y (s) a la requerida según las normas, se puede establecer una relación de capacidades, $(v = r/s)$, en función de la cual se establecen los diferentes grados de deterioro relacionados en la Tabla V.

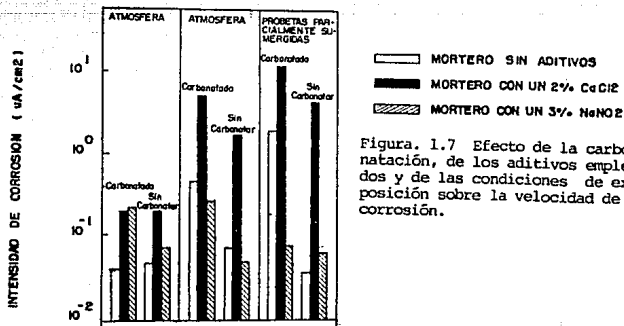


Figura. 1.7 Efecto de la carbonatación, de los aditivos empleados y de las condiciones de exposición sobre la velocidad de corrosión.

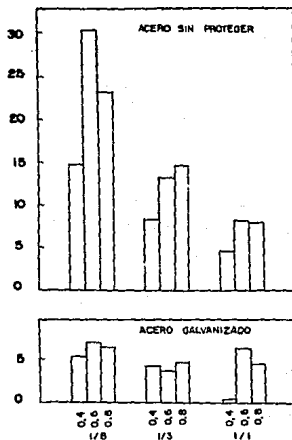


Figura. 1.8 Valor de las i_{corr} a los 12 meses de inmersión de morteros con distintas relaciones cemento/arena y agua/cemento, en función de la naturaleza de las armaduras.

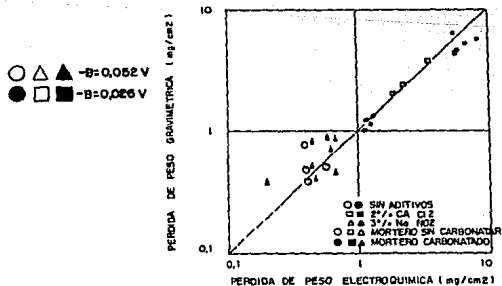


Figura 1.9.- Relaciones entre las pérdidas de peso gravimétricas y las estimaciones electroquímicas.

El tiempo de espera máximo tolerado antes de aplicar el refuerzo o la reparación depende de la relación (v) de capacidades.

Para valores más bajos de 0.5 se requerirá una intervención inmediata, es decir en construcciones antiguas para niveles de daños iguales o superiores a (c).

Valores más altos al indicado permiten retrasar la intervención hasta 1 año, mientras que los próximos a la unidad permiten esperas que pueden llegar hasta 10 años.

Otro problema de corrosión más frecuente de la vida cotidiana es el de las redes de distribución de agua para usos domésticos, tanto por el interior como por el exterior de las tuberías, problema que, aumenta día con día.

Quizás al considerar los problemas de corrosión de las tuberías de acero galvanizado como insuficientemente conocidos, al menos como insatisfactoriamente resueltos, pues se conoce como influyen sobre la corrosión los diversos factores y se sabe que el éxito o fracaso está ligado a la formación o ausencia de capas protectoras de servicio, pero no se está en situación de garantizar la formación de dichas capas protectoras en todas las circunstancias.

Con respecto a las tuberías de cobre, este muestra un comportamiento excelente en la mayoría de las aguas naturales, existen unos pocos tipos de aguas que provocan la perforación rápida de las conducciones de cobre por picaduras, que responden a dos morfologías bien características: picaduras de tipo 1: son de contorno grande y redondeado, picaduras de tipo 2: son

profundas y de pequeña sección. Aunque los problemas se reduzcan a aguas de naturaleza definida y queden por tanto, limitados a zonas geográficas precisas, el problema no está resuelto.

En cuanto a la corrosión externa, el problema no existiría siquiera si se evitara el contacto de las conducciones con el electrolito, con aislantes adecuados por ejemplo.

En cambio las prácticas usuales en construcción son tan deficientes que fomentan todo tipo de heterogeneidades que, actuando sobre las conducciones empotradas, son responsables de que los casos de corrosión de las tuberías por el exterior sea tan grande.

En el momento actual, desgraciadamente, no se está en situación de indicar unas reglas claras para eliminar la corrosión en las conducciones, si no sugerir unas recomendaciones, para reducir la probabilidad de que el fallo se presente, tal como las resumidas en la tabla VI para el caso de tuberías de acero galvanizado.

Después del acero, el aluminio (anodizado o desnudo) es el material metálico más utilizado en el sector de la construcción.

La tabla VII expone el reparto del consumo de aluminio, atendiendo a su utilización final, para diversos países y cabe de manifiesto la considerable fracción, que del total de aluminio se destina a la construcción, siendo muy significativo que en países de notable desarrollo tecnológico, económico y social como E.E.U.U., Japón y Suecia, sea este el sector de mayor consumo de aluminio, en México la industria de la construcción consume aproximadamente un 25% de la producción y junto con la del

transporte son las que mas consumen aluminio.

Aunque los problemas de corrosion de aluminio expuesto a la atmosfera en aplicaciones tales como paneles, barandillas, cortinas y carpinteria metalica estén resueltos por el propio metal, con las capas protectoras naturales de oxido, existe desconfianza sobre el comportamiento frente a materiales de construcción tan basicos como el hormigón. experiencias llevadas a cabo con técnicas electroquímicas, han permitido comprobar que si bien el aluminio se corroe en morteros de cemento a velocidades superiores a 1 mm/año mientras dura el fraquado, al cabo del primer día las velocidades ya son de un orden de magnitud inferior y a los 6 meses de exposición inferiores a 10 micras/año, en el peor de los casos. Figura 1.10

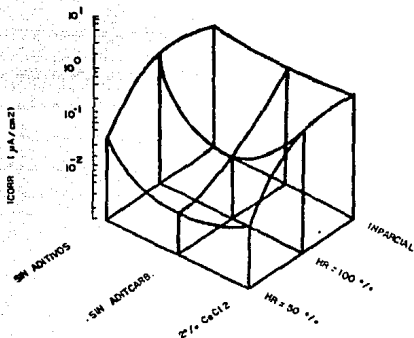


Figura 1.10.- Variación de la I_{CORR} de redondos de aluminio desnudo embebidos en mortero, en función de las características intrínsecas del mismo. (6 meses de ensayo).

La capa de anodización se destruye en el plazo de pocos minutos por un químico no detectable por vía electroquímica, lo que tiene una enorme trascendencia negativa en los elementos estructurales decorativos.

En conclusión, puede afirmarse que los morteros de cemento producen el deterioro estético y solo estético, de los artículos de aluminio y que estos son prácticamente inalterables en contacto con el yeso. Sin que resulte dañada su apariencia.

1.6.- Principales Preocupaciones Actuales

Análisis del caso de las estructuras de hormigón armado.

No se quiere silenciar algunos hechos destacados, como el interés que parece revivir, a escala mundial, por los productos transformadores o convertidores de óxidos, que permiten prescindir de la cooperación más costosa en aplicación de sistemas protectores de pintura, la preparación superficial.

También se han dedicados grandes esfuerzos recientemente al establecimiento de métodos alternativos de los ensayos naturales de exposición atmosférica, para liberarse de la tremenda lentitud de estos: sin que hasta el momento se haya llegado a una solución totalmente satisfactoria en la medida instrumental de la velocidad instantánea de corrosión atmosférica, si bien se han logrado avances interesantes con sensores electroquímicos multilaminares. Figura 11.

Volviendo a las estructuras de hormigón armado, las inquietudes que llaman la atención son:

-En EE.UU y Canadá el problema que más preocupa es la corrosión derivada del empleo de NaCl como sal de deshielo, persiguiendo el perfeccionamiento de los procedimientos de diagnóstico a pie de obra y en los sistemas de protección de armaduras. Los métodos de reparación no parecen preocupar desde el punto de vista técnico, sino desde el económico, pues las reparaciones son muy costosas, por ejemplo, los puentes tienen una vida media de 10-15 años.

En el resto del mundo se tiende a sustituir el NaCl por la urea a pesar de su mayor precio y los problemas planteados por las

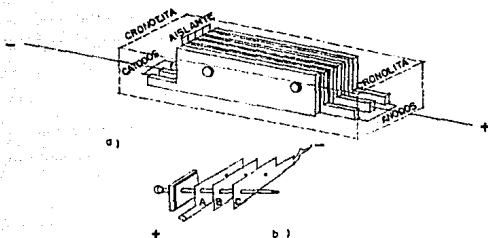


Figura. 1.11 Modelo de sensor electroquímico utilizado como medidor del tiempo de humectación, cuando las láminas son de dos metales diferentes y para medir la velocidad instantánea de -- corrosión atmosférica, cuando todas las láminas son del -- mismo metal.

- a) Esquema del sensor electroquímico.
- b) Detalle de la construcción.
- A) Anodo.
- B) Aislante (lámina de plástico).
- C) Cátodo.

sales de deshielo son muy localizados. También esta en auge la protección de los puentes desde su fabricación con membranas impermeables.

-Un tema que atrae la atención es el de la durabilidad de las estructuras vistas de hormigón: los hormigones de mala calidad suelen presentar fallas por corrosión de las armaduras, a partir de los 15-20 años. En estructuras bien ejecutadas también se plantean problemas cuando las exigencias de las normas permiten espesores de recubrimiento de 2-3cm situación habitual en Europa, salvo Gran Bretaña, cuyas normas son mas estrictas.

-Mayores espesores de recubrimiento incrementan la fisuración en el hormigón, por lo que empieza a manifestarse tendencia hacia la protección del hormigón con pinturas, revestimientos ceramicos, ladrillos, etc., o hacia la protección directa de las armaduras.

-El objetivo que atrae mayor atención de investigadores e ingenieros es, en el momento actual, el desarrollo de procedimientos no destructivos y aplicables a las estructuras reales, de medida de la velocidad de corrosión de las armaduras.

El método de predicción mas difundido a pie de obra, da una información sobre la probabilidad de ataque de estado activo y su localización lo que esta muy lejos de satisfacer las exigencias mínimas para realizar predicciones fiables a largo plazo.

De cuanto antecede se deduce la necesidad de los ingenieros en construcción conozcan bien las causas que generan los fallos, pues muchas veces diseñan metodos de reparación costosos y poco duraderos, al no tener en cuenta cuestiones fundamentales, por

ejemplo, que en estructuras contaminadas con cloruros estos difunden de las partes viejas a las restauradas.

Tabla I.- Materiales usuales en la construcción y necesidad de protección cuando se exponen a distintos tipos de atmósferas.

Tipo de material	Protección contra la corrosión		
	necesaria	no imprescindible	no necesaria
Metálicos			
acero	x	---	---
acero galvanizado	---	x	---
acero patinable	---	x	---
acero esmaltado	---	---	x
acero inoxidable	---	---	x
cobre	---	---	x
latón	---	---	x
aluminio	---	x	x
No metálicos			
madera	x	---	---
(morteros, cemento y normiçones)	---	x	---

Tabla II.- Corrosión atmosférica del: Al. acero. Cu y Zn
en distintos tipos de atmosfera.

Estación de ensayo	Corrosión al cabo del primer año de exposición			
	acero	cinc	cobre	aluminio
Alicante	93	5.8	4.0	2.78
Aviles	51	12	5.3	3.66
Barcelona	51	3.2	3.2	2.5
Escorial	9.4	0.7	1.0	0.05
Madrid	46	1.3	1.2	0.14

Tabla III.- Métodos de protección contra la corrosión de
maxima utilización en la industria de la construcción

Tipo de exposición	Método de protección
Atmosférica	Pinturas (recubrimientos de normigon)
Estructuras sumergidas	Protección catódica. sola o en combinación con recubrimientos protectores compatibles con ella
o enterradas	(recubrimientos de normigon)

Tabla IV.- Estado actual de los problemas de corrosión más frecuentes en la industria de la construcción.

Tipos de problemas frecuentes en la industria de la construcción.	Conocidos		Insuficientemente conocidos
	Resueltos	No resueltos	
Estructuras			
-hormigón armado	X	-	-
-hormigón pretensado	-	-	X
-acero ordinario	-	X	-
-acero patinable	-	X	-
Tejados, fachadas, carpintería metálica			
-aluminio	X	-	-
-zinc	X	-	-
-acero galvanizado	-	X	-
-hormigón celular	-	X	-
-acero ordinario	-	X	-
-acero patinable	-	X	-
-acero inoxidable	-	X	-
Instalaciones sanitarias (corrosión interior)			
-distribución de agua caliente y fría:			
.acero galvanizado	-	-	X
.cobre	X	-	-
.evacuaciones	X	-	-
Calefacción			
-tuberías (corrosión interior)	-	X	-
-radiadores	-	X	-
-convectores	-	X	-
-producción de agua caliente	-	-	X
-calderas	-	X	-
Acondicionamiento de aire			
-sistema de humidificación	-	X	-
Conducciones empotradas (corrosión exterior)	-	X	-
Conductor enterrados en el suelo	-	X	-

Tabla V.- Niveles de daños en los elementos de hormigón armado en función de la relación de capacidades resistentes $v=r/s$

Construcción	Niveles de daños en los elementos de H.A.			
	a	b	c	d
nueva	0.95	0.80	0.60	0.35
vieja	0.65	0.70	0.50	0.25

Tabla VI.- Recomendaciones para reducir el riesgo de corrosión por el interior y exterior de las conducciones de distribución de aguas potables.

Corrosión interna de las tuberías

- 1- Evitar en lo posible los tramos totalmente horizontales.
- 2- Suprimir el empleo de bombas capaces de introducir aire en el circuito.
- 3- Sellar perfectamente las uniones para evitar las fugas.
- 4- Evitar la coexistencia de materiales metálicos diferentes en contacto directo.
- 5- Si la recomendación anterior no es posible, recurrir a un eficaz aislamiento entre los distintos materiales.
- 6- Calcular los diámetros internos necesarios para conseguir las velocidades adecuadas en cada caso.
- 7- En las conducciones de acero galvanizado la temperatura del agua caliente no debe pasar de los 60 grados centígrados.
- 8- Disponer de pozos de decantación para recolección y

eliminación de lodos y productos de corrosión, si es posible.

9- Cuando la naturaleza del agua lo requiera someterla a un tratamiento anticorrosivo adecuado.

Corrosión de las tuberías por el exterior

1- Evitar el contacto, en presencia de humedades, de:

-plomo con morteros de cemento Portland.

-Acero inoxidable con morteros de cemento siderúrgicos.

2- Evitar la inclusión de agentes agresivos, en los componentes de mortero (iones de Cl)

3- Rodear a las tuberías con una capa de mortero de buena calidad, de espesor, dosificación y compactación lo más uniforme posible.

4- Realizar una prueba hidráulica de presión especialmente cuidadosa en aquellos tramos que deban ir empotrados.

5- Cuando las tuberías de agua fría y caliente corran paralelas, situar encima la de agua caliente y separarlas entre sí al menos 4cm. para evitar condensaciones.

6- De ser posible, realizar el tendido de tuberías vistas o por falsos techos, de forma que sea fácilmente accesibles.

Tabla VII.- Consumo de aluminio por sectores de utilización final. (Los datos son porcentajes de consumo global)

Año 1978	EE.UU.	Francia	Inglaterra	Japón	R.F.A	Suecia
Transportes	23.5	43.4	22.7	22.5	26.3	10.7
Electricidad	10.2	17.0	11.6	12.4	6.8	19.9
Construcción	23.8	10.2	12.9	33.3	19.5	33.0
Appl. Mec.	6.1	5.4	5.2	18.1	8.2	12.4
Embalaje	22.0	9.5	10.6	----	10.4	10.2
Varios	14.4	23.5	36.8	13.7	26.8	13.9

Capítulo 2

Medidas Anticorrosivas en la Exposición de los Metales

Los componentes metálicos podrán alcanzar una prolongada vida en servicio bajo condiciones de exposición en la atmósfera únicamente si resisten la activación de este medio. Es obvio que esta acción, aun cuando moderada, lleve a ocasionar con el paso del tiempo graves daños a las estructuras proyectadas para durar muchos años.

Un requisito esencial para un sinnúmero de aplicaciones prácticas es la utilización de materiales estructurales que resistan la acción corrosiva de la atmósfera o, por lo menos, que se hallen protegidos por recubrimientos.

Algunos materiales metálicos muestran un alto grado de estabilidad en la atmósfera, como el aluminio y el acero inoxidable, que desarrollan espontáneamente películas delgadas y protectoras de óxido, así como el cobre y los aceros patinables, que se cubren de capas compactas de productos de corrosión que frenan el ataque ulterior.

De los metales y aleaciones que, en principio, no necesitan protección especial y cuyo precio no es tan elevado cabe citar a: los aceros inoxidables, aceros patinables y de baja aleación, aluminio y sus aleaciones, cinc y acero galvanizado, cobre y sus aleaciones, plomo.

Con los aceros patinables y de baja aleación, el aluminio, cinc y acero galvanizado, esto es cierto cuando las atmósferas son de

moderada agresividad. En otras circunstancias mas drásticas, puede hacerse el pintado del acero, aun cuando este galvanizado, y el anodizado del aluminio, o su recubrimiento con lacas.

Los aceros al carbono precisan casi siempre de algun tipo de protección, que pueda conseguirse por medio de recubrimientos metalicos y de tipo organico o inorganico: los metodos mas comunes para las estructuras expuestas al exterior son el pintado y el galvanizado en caliente, o una combinación de ambos.

2.1.- Materiales Metálicos Resistentes a la Corrosión

La propiedad de resistir la corrosión atmosférica la poseen, en grado sumo, los aceros inoxidable de alto contenido en cromo o en cromo-níquel, cuyas formulaciones óptimas son prácticamente incorrosibles en la atmósfera.

Por ejemplo, la reflectividad original de una probeta pulida de acero inoxidable Cr-Ni-Mo (18-8-2.5), se conserva casi inalterada a lo largo de 5 años de exposición en Sheffield y su pérdida de peso fue solo el 0.03% de la sufrida por un acero ordinario.

En atmósferas muy contaminadas, el acero inoxidable puede mancharse, si bien, limpiándolo y puliéndolo es posible devolverle el lustre original. Componentes arquitectónicos instalados al comienzo de los años 30 en el edificio de Chrysler en Nueva York permanecen virtualmente intactos a pesar de la grave contaminación industrial.

Aun cuando el acero inoxidable cuesta 5 a 9 veces mas que el acero al carbono, existe la compensación de los insignificantes

costos de mantenimiento. Una gran ventaja del acero inoxidable sobre el acero al carbono es que no necesita pintarse ni protegerse por otros tipos de recubrimientos.

Sin embargo, la utilización del acero inoxidable esta inevitablemente restringida ya que, por desgracia, suele ser demasiado caro para que se pueda pensar en el como elemento de construcción de pesados elementos estructurales, como un puente. En cambio, se utiliza en situaciones clave, donde es imperativa la maxima resistencia a la formación de herrumbre.

Aparte de la cuestión del costo, existe un tecnó por el limitado suministro (o disponibilidad) de los elementos de aleación que intervienen en su composición. Por ejemplo, no habría bastante níquel en el mundo para cambiar la producción de acero ordinario a acero inoxidable.

En general, los aceros pueden clasificarse dentro de los tres siguientes grupos: aceros inoxidables, virtualmente inatacados frente a la mayoría de las atmósferas y condiciones; aceros de baja aleación, que se corroen lentamente en la atmósfera; y aceros ordinarios, sin propiedades especiales que eviten una continua formación de herrumbre.

Puesto que no es posible superar los aspectos económicos de las aplicaciones prácticas, convendrá no olvidar que el acero inoxidable puede costar hasta unas 9 veces más y el acero de baja aleación (o patinable) unas 1.5 veces que el acero ordinario.

Debido a su bajo costo y notable resistencia mecánica, el acero ordinario es el material metálico más utilizado. Esta demostrado

que pequeñas diferencias en la composición de estos aceros (constituídos por Fe combinado con bajos porcentajes de C, Si, Mn, S, P) no ejercen ningún efecto marcado en la resistencia a la corrosión atmosférica. Por su inestabilidad se suele emplear convenientemente protegido.

Mientras que los aceros inoxidable incluyen en su formulación fuertes cantidades de Cr y Ni, los aceros de baja aleación, del tipo patinable se distinguen por reunir cantidades mucho más discretas de varios elementos aleantes. (0.3% Cu, 1% Ni, 1% Cr y 0.5% Si). El acero patinable no posee las propiedades de alta resistencia a la corrosión del acero inoxidable, pero puesto que se corroe unas 3 o 4 veces más lentamente que el acero corriente, puede proporcionar una solución económica y práctica para el proyecto de grandes estructuras exteriores.

La herrumbre formada sobre el acero patinable es mucho más compacta, impermeable y adherente que la que cubre el acero ordinario. Se ha comprobado que el mecanismo de formación protectora opera solo pienamente cuando estos aceros quedan expuestos al aire libre, bajo la acción de la lluvia y del sol.

Ya que con los aceros de baja aleación además de que en resistencia mecánica, son muy empleados en grandes estructuras al aire libre, en las que suelen exponerse desnudos, aunque no es raro verlos pintados, no solo por alargarnos la vida, sino también por razones de estética.

A causa del menor espesor exigible del acero patinable, consecuencia de sus mejores propiedades mecánicas, la relación de

costos para utilizar a uno de estos aceros y un acero al carbono es menor de lo que indica la relación de sus precios por unidad de peso. sin embargo, sobre este punto conviene tener presente que toda reducción de espesor puede mermar la vida de la estructura a menos que mejore proporcionalmente la resistencia a la corrosión.

En caso que se decida pintar el acero patinable, la diferencia entre costos de estructuras construidas con este acero y con una corriente dependerá fundamentalmente de lo que dure más la pintura sobre el primero que sobre el segundo.

Si el incremento no pasa de un 25%, no parece que este clara la justificación económica de cambiar un acero por otro.

Desde luego, los mayores ahorros se consiguen cuando es posible la utilización del acero patinable desnudo. Los costos crecientes de los recubrimientos protectores y la necesidad de un mantenimiento periódico justifican que se examine siempre con el mayor interés dicha alternativa, aunque las posibilidades de utilizar el acero de baja aleación sin pintar en ambientes corrosivos son bastantes limitadas. Solo cuando los aceros patinables se exponen a medios de baja corrosividad se puede suprimir sin temor la operación de pintado. En esta última situación, un factor con repercusión económica desfavorable es que tenga que chorrear la superficie del acero patinable para que la capa de herrumbre que se forme con el tiempo sea uniforme y adherente. Como es lógico, las implicaciones técnicas y económicas de cualquier opción tendrán que valorarse

cuidadosamente para conseguir el máximo provecho de estos aceros.

El aluminio y sus aleaciones se utilizan cada vez más en estructuras y construcciones de la más diversa índole. Un problema técnico es su resistencia mecánica inferior a la del acero y un problema económico, su precio algo más elevado. Sin embargo, ofrece una elevada estabilidad frente a la acción de gran número de atmosferas, con tal de que no sean estas excesivamente industriales (ácidas) o excesivamente marinas.

Las superficies de aluminio y sus aleaciones conservan, por lo general, el aspecto metálico, si bien pierden el brillo inicial.

El deterioro suele estar motivado por la formación de picaduras, que afectan solo a una pequeña porción del total de la superficie.

La resistencia a la corrosión atmosférica del aluminio se hace mayor si se protege el metal con un recubrimiento anódico de óxido, que retrasa la formación de picaduras.

El espesor que debe tener la capa anódica depende de la agresividad de la atmósfera. (tablas 2.1 Y 2.2

Tabla 2.1.- Clasificación de agresividades del medio ambiente y ejemplos de correspondencia con las condiciones de utilización.

Agresividad del medio	Ejemplos
Suave	Interiores secos Exteriores en atmósfera rural. Atmósfera
Moderada	Urbana, marina o industrial con limpieza frecuente, sin desgaste o corrosión en todos los casos
Severa	Atmósfera urbana, marina o industrial atmósferas fuertemente marinas o de elevada contaminación industrial. Atmósferas marina o
Muy severa	Industrial con desgaste. Simultaneidad de atmósferas marina e industrial.

Tabla 2.2.- Espesores mínimos de los recubrimientos anódicos sobre aluminio obtenidos en baños de ácido sulfúrico en función de agresividad del medio.

Agresividad del medio	Espesor mínimo de la capa de óxido (micras)
Suave	5-10
Moderada	15
Severa	20
Muy severa	25

El cinc y el cobre, y gran número de aleaciones de este último metal, son relativamente estables en las atmósferas naturales. El cinc, uno de los metales más baratos después del acero, tiene la desventaja práctica de sus pobres propiedades mecánicas. Las aleaciones de cobre, mejor dotadas en este sentido, tienen el inconveniente, por otro lado, de su precio más elevado.

El plomo es un metal barato y con una excelente resistencia a la corrosión atmosférica. Sin embargo, su manifiesta debilidad mecánica lo excluye de muchas aplicaciones. El plomo resiste la acción de las atmósferas, aun cuando estén fuertemente contaminadas por gases sulfurados; en este último caso la velocidad de ataque puede ser de 0.8 micras/año y en una atmósfera rural, alrededor de 0.3 micras/año.

La experiencia práctica confirma estas bajas velocidades de corrosión, ya que todavía prestan servicio tejados de plomo instalados en iglesias hace centenares de años.

2.2.- Recubrimientos Metálicos

Los factores de costo y las propiedades mecánicas deben estar siempre en la mente del proyectista, principalmente cuando se tratan de grandes construcciones. El acero estructural con una adecuada protección ofrece grandes ventajas frente a cualquier otro material, pues ninguno como aquel reúne tan buenas relaciones de resistencia mecánica a peso y costo.

Esto explica el porqué se le dedique gran atención al tema de la protección del acero.

El acero, actuando de metal base, y el cinc como recubrimiento protector, ofrecen una combinación excelente por cuanto proporcionan, simultáneamente y de un modo económico, las propiedades de rigidez mecánica y resistencia a la corrosión que requieren una construcción. Este tipo de combinación se da en el acero galvanizado por inmersión en baño de cinc fundido y el metalizado por proyección de partículas de cinc. Cabe señalar que la galvanización en caliente y el pintado son los métodos más comunes de protección del acero exterior.

También tiene importancia técnica la metalización del acero con aluminio que, lo mismo que la metalización con cinc, proporciona una eficaz protección a bajo costo.

Los recubrimientos metálicos resisten la abrasión mejor que los de pintura y a la vez pueden ofrecer protección catódica al acero cuando son anódicos frente a él, bastan 75 micras de cinc o aluminio para una dilatada protección en atmósferas rurales, pero en medios más corrosivos habrá que incrementar el espesor del recubrimiento o pintarse este. La vida de los recubrimientos desnudos de ambos metales se alarga con el peso del recubrimiento por unidad de superficie. Los recubrimientos de cinc pueden aplicarse por varios métodos, siendo en la práctica los más importantes la galvanización y metalización, los recubrimientos de aluminio se aplican por proyección.

El pintado del acero galvanizado o metalizado ofrece una doble protección a la estructura metálica, la cual está especialmente indicada en los casos de estructuras proyectadas para una larga

duración en servicio o de atmósferas especialmente agresivas. Se dice que la vida de una superficie galvanizada y pintada es unas dos veces mayor que la suma de las vidas por separado de los recubrimientos de cinc y pintura.

Aun cuando sean muchos los factores a tener en cuenta en la selección de un sistema protector, el objetivo básico debe ser siempre, alcanzar una solución eficaz, práctica y económica, es tanta la variedad de recubrimientos protectores que cuesta trabajo muchas veces escoger de entre ellos. Bajo condiciones atmosféricas favorables, un recubrimiento metálico, tal como un galvanizado por inmersión o una capa metalizada por proyección de cinc o aluminio puede construir un completo sistema protector. En este caso la vida del acero base se extiende a lo largo de un periodo delimitado por la propia velocidad de corrosión del metal que forma el recubrimiento y el espesor de este.

La mayoría de los recubrimientos metálicos tienen que aplicarse en el taller, por lo que son poco aptos para la protección de grandes estructuras, a menos que se decida y sea factible recubrir primero, por separado, las diferentes partes de la estructura que después serán ensambladas. Uno de los métodos que mejores posibilidades muestra para ser aplicado a los elementos estructurales de gran tamaño es la galvanización en caliente, que cuenta con talleres capaces de tratar vigas de hasta 27 mts. de longitud. Desde luego, la metalización a pistola es el procedimiento más versátil, pues puede aplicarse en el sitio y sin restricciones en cuanto a tamaño de la obra, si bien tiene el

inconveniente de que suele resultar mas cara que la galvanización. Cuando se quiere proteger una gran superficie de acero con un recubrimiento metalico, la elección se centra entre galvanizado en caliente y metalización con cinc o aluminio, si el recubrimiento de cinc va a dejarse sin pintar, la galvanización en caliente reúne las ventajas de dar un recubrimiento mas liso, libre de porosidad y facilita la consecución de un espesor uniforme. Una limitación esta en el tamaño de los componentes que pueden ser sumergidos en el baño de galvanización.

Los metalizados a pistola con cinc de buena calidad son comparables, en cuanto a resistencia a la corrosión, a los recubrimientos obtenidos con galvanización en caliente. Sin embargo, el chorreado previo con granalla, necesario para la metalización, contribuye a encarecer este, que puede resultar desde un 5% a un 100% mas caro que la galvanización. No es este el caso cuando se trata de proteger componentes o ensambles de longitud superior a 20 mts, que no puedan sumergirse totalmente de una sola vez, pues entonces las ventajas pueden inclinarse del lado de la metalización.

2.3.- Recubrimientos de Pinturas

El acero se pinta con fines anticorrosivos, incluso se pintan los recubrimientos metalicos, ya que el metal protector es también corrosible, y por lo mismo, se beneficia de la acción de barrera de la pintura frente al medio.

El recubrimiento de pintura protege en tanto este integro. Su

deterioro por simple daño mecanico o por envejecimiento a la intemperie lo incapacita para detener el proceso corrosivo, cuyo desarrollo precipita, a su vez, el fallo completo de la pintura: a la propia acción directa de los elementos atmosfericos sobre el recubrimiento de pintura se añade ahora la de la cuña de los productos de corrosion formados entre el metal y el recubrimiento, que acaban desprendiendolo.

Anotaremos algunos de los factores de mayor efecto en la vida de los recubrimientos de pintura.

-Capacidad intrinseca de la pintura para actuar, de barrera aislando el metal del medio agresivo.

-Corrosibilidad del propio sustrato metalico.

-Agresividad del medio, tanto hacia a la pintura como hacia el metal.

-Adherencia de la pintura al sustrato metalico (el recubrimiento debe permanecer intimamente unido al metal).

La composición de la pintura repercute en el comportamiento del recubrimiento por influir en su impermeabilidad (poder aislante), en su capacidad inhibidora de la corrosion, adherencia y estabilidad frente a la acción directa de los elementos atmosfericos.

El espesor del recubrimiento es primordial pues aumenta la capacidad de aislamiento de este. La preparación de la superficie del metal es otro factor de capital importancia por sus efectos sobre la adherencia del recubrimiento. No solo es esencial que dicha superficie no este contaminada ni sucia por la presencia de

sustancias que estorben el contacto íntimo metal-pintura, sino que es necesario, que posea un determinado grado de rugosidad, pues aumenta la superficie real mojada y la adherencia. La presencia de humedad, contaminantes salinos o gaseosos y restos de herrumbre sobre la superficie del acero en el momento de pintar provocan el desprendimiento del recubrimiento protector al acelerar el proceso corrosivo debajo de la capa (cortocircuitando los ánodos y cátodos locales).

La conveniencia de una limpieza total de la superficie metálica depende mucho del tipo de pintura a utilizar, de modo que en ciertos casos es tolerable una preparación imperfecta mientras que en otros se hace completamente imprescindible la más rigurosa preparación superficial. Desde luego, cuando la adherencia del recubrimiento no es muy buena se impone un chorreado del metal, que incremente la superficie de contacto, y un control de las condiciones de aplicación de pintura, que asegure una superficie constantemente seca y libre de contaminación.

2.4.- Economía en la Elección del Sistema Protector

Se escoge el sistema que garantice a más bajo costo la protección de la estructura metálica durante su vida de servicio.

Puesto que el precio anual a pagar disminuye al extenderse la duración del efecto protector, será necesario tener información sobre la influencia de las condiciones ambientales del lugar de emplazamiento en la vida del recubrimiento y en el ciclo del mantenimiento. Únicamente a la vista de todos los antecedentes

disponibles sera posible decidir que opcion es la mas interesante: incluso dejar el acero desnudo.

Este recurso de utilizar el metal sin recubrir, evitando asi el gasto inicial del pintado, esta supeditado a las condiciones ambientales, pues es sabido que la corrosión del acero se mantiene a un nivel despreciable si la "HR" no pasa jamás de 70-80%. Aun a humedades mayores, la corrosión es baja si la atmosfera permanece libre de contaminantes.

En ensayos llevados a cabo en Khartoum (Sudan), Basra (India), Singapur (Malaya) y Abisko (Suecia) se han medido velocidades de corrosión del acero desnudo menores de 20 micras/año, en comparacion con las 50-170 micra/año normales en el Reino Unido.

Siempre que se den condiciones tan favorables merece ser considerada la posibilidad de omitir el recubrimiento protector.

Otras veces se provee en el proyecto un grosor extra al acero para compensar el desgaste por corrosión; aumentar en 1.6 mm el espesor de las planchas delgadas de acero en los lugares donde no sea posible aplicar una adecuada proteccion.

Habrà siempre que sopesar y a veces con sumo cuidado, todas la variables que afectan a los procedimientos anticorrosivos para hallar la solución optima. Por ejemplo, se encontrara justificado el empleo de un acero galvanizado en lugar de uno pintado en el ahorro resultante del menor numero de operaciones de mantenimiento durante la vida de la estructura galvanizada (una cada 20-80 años frente a una cada 3-12 años para los recubrimientos de pintura).

2.5.-Condiciones Ambientales en el Comportamiento de los Recubrimientos Anticorrosivos.

El dióxido de azufre es uno de los contaminantes de mayor influencia en la corrosión atmosférica, especialmente cuando la humedad es elevada. Los efectos del NaCl, que es otro contaminante con repercusiones sobre la corrosión que normalmente se encuentra en la atmósfera, decrecen con rapidez al alejarse del mar. La acción de estas sustancias se hace sentir lo mismo sobre los metales desnudos que sobre los recubrimientos metálicos, cuya duración se reduce sensiblemente en las atmósferas severamente contaminadas. Como es lógico, el comportamiento de un recubrimiento metálico guarda estrecha relación con la estabilidad del metal que lo forma, sobre todo tratándose de recubrimientos gruesos.

En el caso de recubrimientos metálicos delgados, estos pueden fallar simplemente a causa de la corrosión del sustrato metálico, lo cual es particularmente cierto con los recubrimientos de acción catódica frente al metal que lo soporta. La formación de focos aislados de herrumbre sobre el acero base, a través de las discontinuidades del recubrimiento, crea en este tensiones mecánicas, que favorecen su amollamiento, rotura y levantamiento.

La capacidad protectora se pierde mucho antes de lo que sería previsible de considerar únicamente la velocidad de corrosión del recubrimiento en sí.

En las especificaciones sobre recubrimientos, los espesores

propuesto suelen garantizar un comportamiento satisfactorio durante un tiempo de 5-10 años como mínimo.

Tabla 2.3. Espesores mínimos especificados para los recubrimientos Ni-Cr y Cu-Ni-Cr sobre acero frente a diversos grados de agresividad ambiental.

Agresividad del medio	Espesor mínimo (micras)				
	Recubrimiento níquel-cromo		Recubrimiento cobre-níquel-cromo		
Suave	10	0.3	10	5	0.3
Moderada	20	0.3	20	10	0.3
Severa	25-40	0.3-0.8	15-20	20-30	0.3-0.3
Muy severa	30-40	0.3-0.8	20	25-30	0.3-0.8

Cuando el recubrimiento es anódico respecto al metal base, el factor principal que fija la duración del recubrimiento es su propia corrosión. Un caso típico es el de los recubrimientos de cinc sobre acero, obtenidos por cualquiera de los métodos disponibles al efecto, cuya esperanza de vida se puede calcular directamente a partir de la velocidad de corrosión del cinc.

La metalización con aluminio parece proporcionar una larga protección al acero. Pues ensayos realizados han demostrado que los recubrimientos metalizados de aluminio pueden resistir un ambiente agresivo durante 20 años sin necesidad de mantenimiento, es de esperar duraciones mayores en otros ambientes. Sin embargo,

por ser este un recubrimiento relativamente nuevo, falta información en que basar los pronósticos sobre su actuación en servicio frente a las más variadas condiciones ambientales. A diferencia de lo que ocurre con el cinc, no es seguro que con los recubrimientos de aluminio se de una relación lineal entre espesor y duración. No obstante, cabe pensar que un grueso espesor, digamos 25 micras, proporcionara protección a lo largo de muchas décadas en la mayoría de ambientes, sin necesidad de conservación.

La mayoría de las obras metálicas se hallan protegidas de la acción atmosférica por medio de pinturas. En el caso de atmósferas muy contaminadas hacen falta pinturas de muy alta calidad para una eficaz protección. Es indudable que unas condiciones ambientales rigurosas afectan de modo adverso la vida de las pinturas anticorrosivas, pero hasta el presente no están bien definidas las relaciones cuantitativas entre estas condiciones y el comportamiento del recubrimiento. Factores que complican la cuestión son la decisiva influencia del estado de la superficie metálica en el momento de pintar, de las condiciones de aplicación de pintura y de realizar o no la operación de mantenimiento en el momento oportuno.

Contrariamente a lo que sucede en el acero ordinario y el cinc, materiales estos para los cuales existe información acerca de como la humedad y el contenido de contaminantes afectan a su estabilidad en la atmósfera, no se tiene conocimiento de relaciones similares sobre la influencia de los parámetros

ambientales en el comportamiento de los diversos tipos de pinturas anticorrosivas. Desde luego, sería muy interesante profundizar sobre este punto por medio de una amplia labor experimental de exposición de probetas pintadas en estaciones con distintos niveles de contaminación y humedad.

La aplicación combinada de un recubrimiento metálico con uno de pintura permite hacer frente, la mayoría de las veces, a los casos más difíciles de agresividad atmosférica.

C a p í t u l o 3

Característica de los Recubrimientos

3.1.- Bosquejo Histórico de los Recubrimientos.

Los recubrimientos se hicieron necesarios con el empleo de armas y herramientas de hierro, por primera vez el hombre tuvo el problema de la corrosión. Ya que las herramientas de bronce del período histórico anterior duraban un plazo de tiempo más o menos o igual a la vida del hombre de aquella época.

Así el hombre se encontró con el dilema de como alargar la vida útil de sus herramientas y como consecuencia llegó a la idea del recubrimiento, ya fuera con otros metales más resistentes a la corrosión o por medio de recubrimiento orgánico como lo es la pintura.

Antiguamente plaqueaban y maquinaban los metales básicos con oro y plata, o con una mezcla de los dos, parece ser que estos recubrimientos de metales nobles se adherían a las superficies del bronce, del cobre o del hierro previamente calentadas, martillándolos sobre estas.

Los Romanos recubrían los recipientes de cobre con estaño, muy probablemente sumergiendo dichos recipientes en estaño fundido.

El recubrimiento de los metales con panes de oro y el dorado con el polvo de este metal, suspendido en un líquido, son artes muy antiguas.

Las primeras operaciones de electroplaqueado eran del tipo de dorado por inmersión en que el metal o metales base, sumergidos

en disoluciones de sales de oro, de plata o platino se recubrían, por sustitución, con películas muy finas de dichos metales nobles.

Desde principios del presente siglo se ha ideado un crecido número de nuevos procesos para el recubrimiento de metales.

Entre estos los más importantes son los de proyección y de olaqueado con metales.

La cementación: es un método para obtener capas superficiales, con la consecuente modificación de la superficie del metal, entre las cementaciones más conocidas está la cementación en caja del acero.

Nosotros veremos la protección del acero usado en construcción por medio de recubrimientos orgánicos, específicamente, pintura.

El empleo de pintura con finalidades decorativas o protectoras se ha venido utilizando durante miles de años con un incremento gradual de su consumo a medida que la civilización se ha ido desarrollando.

En la prehistoria, la pintura se limitaba casi exclusivamente a la decoración de cavernas y otras moradas, como se ve en las paredes de las cuevas de Europa Occidental, dichas pinturas fueron aplicadas hace miles de años y aun se conservan en buen estado.

En forma un poco más somera se aplican estas pinturas como recubrimiento a las armas, barcos, utensilios, instrumentos musicales, momias y palacios, la magnífica calidad de estos trabajos se ponen de manifiesto en las cajas de las momias

conservadas en sus museos.

Desde el punto de vista funcional estas pinturas estan constituidas unicamente por tres componentes :

i) un aglomerante o vehiculo.

ii) un pigmento

iii) y un diluyente para permitir su aplicacion.

Probablemente el vehiculo era un extracto de raiz soluble en agua, que podia transformarse en un solido inerte, el diluyente volatil, el agua.

Tenian gran variedad de pigmentos, como son los pigmentos blancos que constaban del blanco de plomo, o tierras blancas naturales como la arcilla, el yeso, el blanco de españa, etc.

Los pigmentos negros eran carbon, negro de humo, carbon animal, grafito natural y polvo de carbon, entre los pigmentos amarillos habia ocre, polvo de oro y litargirio. Como pigmentos rojos se usaban oxidos de hierro, minio y tintas naturales, contaban con varios azules, como el azul de egipto lapislazuli (ultramar), carbonato de cobre e indigo, verdes como la tierra verde, malaquita y tintes naturales.

A traves de la edad media y aun despues de haber empezado la era industrial; el volumen de pinturas fabricadas era insignificante, comparado con el de ahora, mas que nada a causa del bajo nivel de vida de la inmensa mayoria de habitantes del mundo.

Mucha gente se sorprenderia al saber que aun en la America Colonial la pintura era considerada un lujo, puesto que una casa pintada en aquellos dias era una señal de distincion, ya que la

clase baja y media vivían en casas de troncos o tablonés aserrados a mano sin pintar.

En el siglo XIX fueron puestas en marcha las primeras fábricas de pinturas y barnices.

Anteriormente los pintores tenían que elaborarse sus pinturas, convirtiendo sus pigmentos en líquidos por medio de toscos molinos que estaban constituidos por una bola de piedra que rodaba de un lado a otro contra otra piedra.

Los pintores compraban sus materias primas en boticas. La formulación era casi un arte, ya que guardaban sus limitados conocimientos que habían obtenido lenta y pacientemente a través de prueba y error, esos conocimientos pasaban de padres a hijos a lo largo de las generaciones. Por lo que el progreso técnico de la pintura era muy lento, cuando funcionaron las primeras fábricas dicha técnica era muy elemental.

La primera fábrica de alvalde (carbonato básico de plomo) de los Estados Unidos se construyó en Filadelfia en 1804, y la primera planta de barniz apareció alrededor de 1815, aunque la fabricación de pinturas preparadas comenzó hasta 1867.

Fueron esos en realidad los comienzos de la moderna era de la pintura. Rápidamente otros irrumpieron en el nuevo campo y la competencia se adueñó del mercado entonces existente.

Las pinturas no eran de muy buena calidad en su mayoría, puesto que como dijimos la técnica de la industria era todavía muy limitada y los químicos y los laboratorios de investigación eran, para entonces, desconocidos. La lucha en la competencia tuvo como

consecuencia adulteraciones, reclamos por medio de propaganda y muchas practicas comerciales inseguras.

Alrededor de 1890 los fabricantes de pinturas empezaban a emplear quimicos tratando de hallar el modo de producir pinturas y barnices realmente de buena calidad. Este periodo tambien se caracterizo por la formación de asociaciones comerciales para un intercambio mutuo de conocimientos, extensión de mercados y supresión de abusos. de ahí surgió la "National Paint Varnish and Lacker Association", segun la conocemos hoy en dia.

Los quimicos y los productores eran al principio de 1914 pequeños grupos, que finalmente desembocaron en la moderna Federación de Sociedades para la Técnica de Pinturas, diseñada en principio, para el estudio mutuo de la tecnología de los revestimientos de superficies. Como resultado en las practicas comerciales, así como la calidad de los artículos producidos comenzaron a mejorar.

Desde aquellos primeros dias del siglo XX la industria de la pintura ha ido en constante y acelerado crecimiento en tecnología, así como en la cantidad de los artículos vendidos.

Cierta numero de recubrimientos de superficies tales como las lacas, que eran virtualmente desconocidas hace 80 años, se producen ahora en grandes cantidades. las pinturas modernas estan muy por encima de aquellas fabricadas a principio de siglo en cuanto a calidad y comportamiento; posiblemente dentro de 50 años los recubrimientos de superficies actuales parecieran muy pobres de calidad a las técnicas de pintura del futuro.

Es muy interesante este avance de la técnica de la pintura y el gran incremento del volumen comercial. Este acelerado progreso ha sido principalmente el resultado de la gran cantidad de investigaciones que ahora se llevan a cabo, en comparación con las que se hacían hace 80 años. Los frutos de esas investigaciones han permitido que las industrias antiguas aumenten sus actividades, así como el establecimiento de muchas industrias nuevas. Se han creado nuevos puestos de trabajo y el nivel de vida se ha elevado, lo cual incrementará aun más el poder adquisitivo y la expansión de mercados de pinturas y productos afines.

3.2.- Principales Tipos de Recubrimientos

Como en nuestro caso el metal a recubrir es el acero, anotaremos las principales clases de recubrimientos que se usan en acero.

El recubrimiento puede ser un metal no ferreo depositado según distintas formas.

En algunos casos, el artículo de acero se puede sumergir en un baño de metal fundido y extraerlo con la capa (baño caliente).

En otros puede hacer de cátodo en un baño que contenga un compuesto de metal a depositar (electrodeposición). Y también puede recibir un rociado de diminutas gotas de metal fundido, proyectadas por una pistola, que se depositan como polvo o filamentos (metalización por proyección). El metal puede además depositarse a partir del estado gaseoso o por calentamiento del artículo a proteger en una masa de polvo que

suele dar una capa de aleación (cementación).

Un tipo de recubrimiento no metálico, es el que está constituido por una capa transparente conocida como barniz o laca.

Si se aplica a pistola o brocha una solución de resina en un disolvente volátil, al evaporarse este queda sencillamente una capa, si bien de capacidad protectora limitada y a menudo poco adherible; generalmente se añade un aceite secante y la conversión en capa sólida depende solo en parte de la evaporación del disolvente y si mucho, en cambio, de la oxidación o polimerización de los constituyentes no volátiles.

En general, se mejora la protección introduciendo un polvo o pigmento en la mezcla a aplicar, que recibe entonces el nombre de pintura. El secado de la pintura suele tener lugar sin calefacción.

Lo normal es aplicar varias capas de pintura a la superficie que necesita protección: la inferior con pigmentos de inhibidor (una sustancia que tiene propiedades de pasivación) esta apenas tiene que ser soluble pues de lo contrario desaparecería pronto, y las demás excepto las de acabado, están destinadas a proteger aquellas de la erosión mecánica. La última puede elegirse con fines decorativos.

3.3.- Razones por las Cuales emplear Recubrimientos

Las aleaciones de hierro, conocidas normalmente como acero comprenden algunos de los materiales de construcción más baratos de que dispone la raza humana, y en conjunto, los más adecuados

bajo el punto de vista mecánico, la alta resistencia, combinada con la ductilidad o maleabilidad apropiada haría que fueran los materiales preferidos para la mayoría de los propósitos aunque no tuvieran ventaja en el precio.

La razón principal y valedera para usar recubrimientos en el acero es simple y sencillamente para tener una defensa contra la corrosión, ya que las pérdidas económicas que ocasiona el ataque de los diferentes agentes químicos sobre el metal es muy cuantioso.

La corrosión metálica representa anualmente una pérdida enorme de dinero. Un estudio metódico al respecto puso de manifiesto que el costo directo de corrosión asciende a más de cinco mil millones de dólares/año solo en Estados Unidos.

La corrosión por desgracia también a veces es causante de pérdidas mayores ya que cuando hay explosiones, o fugas ya sea de petróleo, gases, gasolina, etc., esas pérdidas se suman a las ya logradas por la corrosión en el material metálico. Eso sin tomar en cuenta que las explosiones o fugas de gases pueden ocasionar pérdidas de vidas humanas por lo que las pérdidas toman magnitud de catastrofe.

Un componente metálico alcanzara una prolongada vida en servicio bajo condiciones de exposición al medio ambiente, únicamente, si resiste la acción de este medio.

Es obvio que esta acción aunque moderada, llega a ocasionar con el paso del tiempo graves daños a las estructuras proyectadas para durar muchos años. Por lo que un requisito esencial para un

sin número de aplicaciones prácticas es usar material estructural que resista la acción corrosiva del medio: como esto resulta muy caro se recurre a protegerlos por medio de un recubrimiento, aunque se ha llegado a la conclusión de que por más que se tomen las previsiones posibles, no se puede impedir completamente las pérdidas de metales por corrosión, pero cabe lograr una disminución en la magnitud de los perjuicios y esto basta para que todos los esfuerzos sean justificados.

El conocimiento de los fenómenos de corrosión y la puesta a punto de medidas eficaces contra ella es una exigencia económica mundial, por el enorme consumo de materiales metálicos y también vital para la independencia de los estados, esto por que permite asegurar el suministro, de las muchas veces escasas materias primas; a través del ahorro que supone el aumento de la vida útil de los productos manufacturados, el aumento de su valor comercial.

3.4.- Características Generales

A).- Recubrimientos obtenidos por Conversión

La importancia de este tipo de recubrimientos es que no son metálicos ni pinturas y que constituyen barreras aislantes de solubilidad muy baja entre los metales y el medio ambiente en que se encuentra, mediante la conversión de la superficie metálica a una forma no reactiva y resistente a la corrosión.

Esta conversión es una modificación química o electroquímica de la superficie metálica, por lo que el recubrimiento así obtenido

es parte integrante del metal base. Por ejemplo el aluminio y el cromo tienen tendencia a formar película de óxidos relativamente estables en su superficie al estar en contacto con la atmósfera.

Esas películas son el resultado de cierta pasividad y reducen una vez formadas, considerablemente la velocidad de corrosión del metal en medios corrosivos. Este comportamiento es debido a la formación de recubrimientos obtenidos por conversión.

En la práctica los recubrimientos obtenidos por conversión se consiguen reaccionando la superficie metálica con la disolución que está en contacto con el metal.

En casos como el anodizado, esta reacción tiene lugar con el concurso de la corriente eléctrica. Así se forman óxidos, fosfatos, cromatos, etc., que protegen a los metales de posterior corrosión.

Una característica general de este tipo de recubrimientos es la buena adherencia que suelen presentar, sobre todo si se comparan con otros tipos de recubrimientos metálicos y orgánicos.

Al.-El anodizado es una capa de óxido, más o menos hidratada, que recubre la superficie metálica después de haber conectado el metal al ánodo de una celda electrolytica, dentro de una disolución iónica adecuada. Fig.3.1

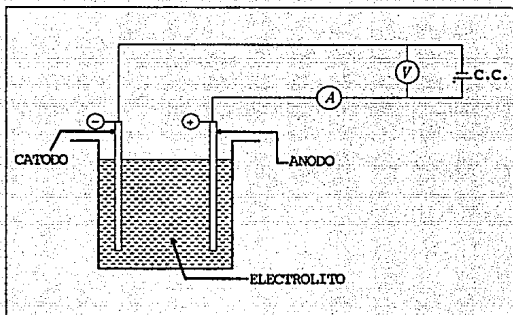


FIG. 3.1.- Representación esquemática de la instalación del anodizado del aluminio.

El proceso del anodizado u oxidación anódica consta en realidad de tres etapas:

a).- La oxidación del metal y formación sobre su superficie de una película dura de óxido.

b).- La disolución del metal en el electrolito.

c).- Y el desprendimiento de oxígeno en el ánodo.

En la oxidación anódica el proceso tiene lugar entre el óxido formado al comienzo y el metal base. Este óxido inicial no actúa como aislante entre el metal situado debajo de él y la disolución electrolítica que lo rodea. La porosidad que es una propiedad intrínseca de la película de óxido, permite penetrar a esa

disolución-electrolito a través de la película y establece contacto con el metal base situado debajo de él.

Así pues el fundamento de la anodización no es otro que la oxidación anódica que consiste en la producción de una capa de óxido más o menos hidratada en la superficie metálica sumergida en un medio electrolítico y con la intervención de una corriente eléctrica.

Si la fuente de corriente externa es de corriente continua se coloca la pieza a anodizar al electrodo positivo, es decir al ánodo; en estas condiciones al aplicar una fuerza electromotriz a la celda tienen lugar tres reacciones:

- 1) Descomposición del agua. En el cátodo se genera hidrógeno y en ánodo oxígeno.
- 2) Disolución parcial del metal del ánodo. El líquido de la celda electrolítica se va enriqueciendo en iones del metal.
- 3) Oxidación superficial del material del ánodo. Este fenómeno se traduce en la formación de una película continua y porosa la cual es térmica y eléctricamente aislante. El valor de la intensidad de corriente llegaría a anularse si no fuera por que la capa de óxido hidratado contiene cierta porosidad y la tensión aplicada es superior a la tensión de rotura de esta capa aislante. Esta resistencia eléctrica, que es la capa de óxido hidratado del material depositada en la superficie de la pieza a anodizar aumenta la temperatura de esa zona y se produce una deshidratación parcial de la misma capa, a la que se llama capa barrera.

Manteniendo constante la densidad de corriente, la temperatura y la agitación del baño, la capa barrera alcanza un valor límite y sobre ella va creciendo una capa de óxido del material a anodizar más deshidratada y porosa que la capa barrera pero también continua. Por su carácter poroso se llama capa porosa y permite que su espesor crezca con el tiempo, mientras que el espesor de la capa barrera prácticamente permanece constante.

Durante el proceso electrolítico parece ser como si se respetase un hipotético equilibrio durante el cual, por un lado, se transforma en porosa, de tal manera que el aumento del espesor total parece producirse al penetrar la película barrera desde el exterior hacia el interior del metal, dejando atrás la película porosa. Este tipo de crecimiento diferencia a los recubrimientos de conversión de los depósitos electrolíticos en los metales.

La capa de óxido del material no constituye una barrera suficientemente protectora para evitar la corrosión del metal base. Pero si protege la capa obtenida por la transformación de este óxido monohidratado en otro mucho menos poroso y más protector, ya que se ha originado un aumento de volumen. Esto se consigue calentando el anodizado en agua hirviendo.

B).- Recubrimientos obtenidos por Inmersión

En esos grupos se reúnen los procesos en los que el objeto a recubrir se introduce en un baño líquido, ya sea en una solución acuosa, una mezcla de sales fundidas o un metal fundido.

El recubrimiento se forma por reacción de intercambio con el

metal o por adherencia del metal fundido con formación de una aleación como capa intermedia o de mejor adherencia.

B1).- Deposición en Soluciones Acuosas

El objeto se sumerge en una solución de sales metálicas, con ello se logra una caída de potencial que permite reducir el metal más noble que existe en la solución.

B2).- Deposición en baños de Sales Fundidas

También de un baño de sales fundidas se puede precipitar un metal por una reacción de intercambio. Esta forma de trabajar tiene las ventajas de que por la elevada temperatura el precipitado se difunde en el metal base y se pueden obtener capas más gruesas.

B3).- Recubrimiento en Metales Fundidos

Uno de los métodos más antiguos para proveer a un metal, sobre todo al acero, de un recubrimiento protector contra la corrosión, es el de inmersión en un baño de metal fundido. Puesto que el metal en fusión es muy reactivo: se tiene la posibilidad de que se forme una aleación con el metal base.

Esta posibilidad es con frecuencia tan grande que han de tomarse medidas para evitar una formación excesiva de capas de aleación entre el recubrimiento y el metal base. Como ejemplo veremos:

La galvanización en caliente: este es un proceso en el que se

obtiene recubrimiento de zinc, sobre el acero por inmersión en un baño de zinc fundido a una temperatura aproximada de 450 grados centígrados. A esta operación se le conoce también como galvanización por inmersión o galvanización al fuego.

El galvanizado es el resultado de un proceso físico-químico que consigue una verdadera unión entre el acero y el zinc; de este modo se consigue que el acero adquiera unas propiedades superficiales equivalentes a las del zinc lo que conjunta una mejor resistencia frente a determinados medios corrosivos por las características mecánicas del material base.

C).- Metalización.

En sentido amplio es la deposición en un metal en la superficie de cualquier material. En sentido estricto, la metalización abarca dos procedimientos distintos de deposición.

- 1) La proyección de un metal en estado líquido, el cual solidifica en la superficie.
- 2) La solidificación de una fase gaseosa también en la superficie a proteger.

Estos procedimientos de la metalización, tienen en común el que no afectan en absoluto la masa del metal sobre el que se aplican con la finalidad de mejorar las propiedades superficiales del sustrato.

E1).- La metalización por proyección: es un procedimiento de deposición metálica que se caracteriza por la proyección del

metal en estado fundido mediante presión gaseosa y su posterior solidificación en la superficie del material a recubrir, Fig. 3.2

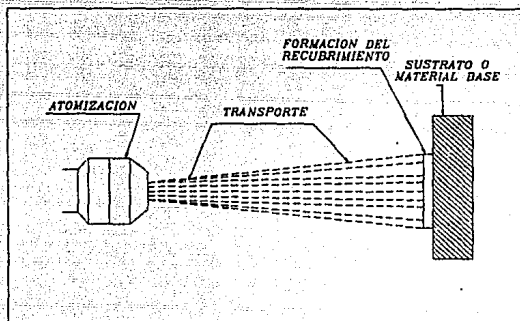


Fig. 3.2.- Esquema de la metalización por proyección.

Esta metalización por proyección puede ser:

C1.1.- Proyección a la flama: donde el equipo se caracteriza por la necesidad de un combustible que origina la fuente térmica destinada a fundir el material: la fusión y proyección tienen lugar en la pistola que es componente del equipo de metalización de la cual existen dos tipos para metalizar a la flama: la que utiliza el material a proyectar en forma de alambre y la que funciona con el material en forma de polvo.

Cuando se trata de pistola alimentada con alambre, la fusión y atomización del material tiene lugar en la pistola, la cual

contiene una boquilla con un orificio central y unos orificios más pequeños dispuestos angularmente alrededor del mismo, por los orificios pequeños sale la mezcla oxiacetilénica, se inflama mediante una chispa y se forma una llama continua. El alambre avanza con una velocidad uniforme a través del orificio central de la boquilla, la llama lo funde y ahí, incide un chorro de aire comprimido que lo atomiza, proyectándolo al exterior, el aire comprimido suministrado es dirigido mediante un cabezal que envuelve la boquilla. Fig. 3.3

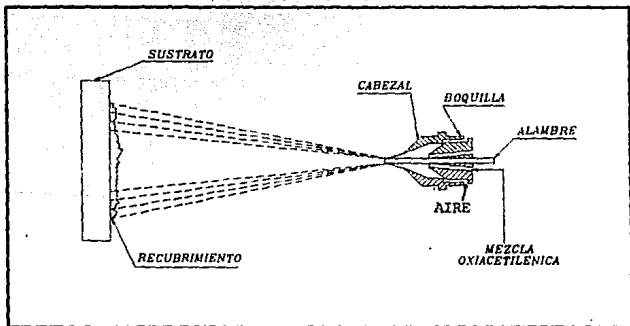


Fig. 3.3.- Esquema de la proyección metálica a la llama con suministro de alambre.

Para que el alambre adquiriera una velocidad uniforme, la pistola posee un mecanismo de avance que permite su regulación. Las

partículas dispersas son aceleradas por el chorro de aire comprimido y llegan al material a recubrir en estado pastoso o semifundido. Al chocar con el material a recubrir las partículas adquieren una forma aplanada y se unen a las ya adheridas por cohesión formando una capa sobre la superficie a recubrir.

En el caso de la pistola alimentada con polvo. Fig. 3.4 Esta contiene una boquilla a través de cuyo centro circula por aspiración mediante inyección gaseosa el material en forma de polvo que al salir de la boquilla, atraviesa una llama oxiacetilenica y alcanza una temperatura próxima a la de fusión adquiriendo estado semifundido. estas partículas son aceleradas hacia la superficie a recubrir por la velocidad de los gases de combustión.

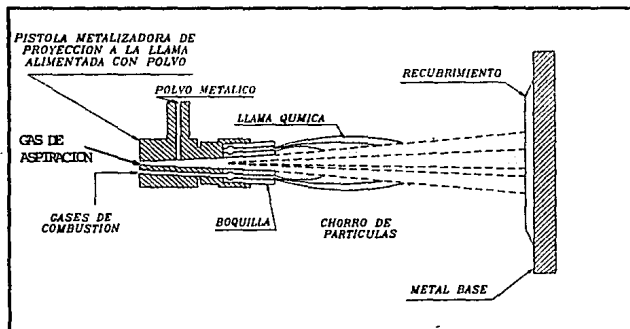


Fig. 3.4.- Esquema de un equipo de proyección a la llama con suministro del metal en forma de polvos.

D).- Proyección por Arco Eléctrico

En la proyección por arco eléctrico: dos alambres del mismo material se funden y las partículas fundidas se proyectan sobre la superficie que se va a recubrir. La energía térmica necesaria para fundir los alambres se consigue por aplicación de un arco eléctrico de los mismos. Sin embargo, en este tipo de proyección se requiere introducir al sistema un gas atomizador. Puesto que se ha comprobado que la utilización de un gas atomizador inerte mejora las características del recubrimiento.

Un equipo de proyección por arco eléctrico consta fundamentalmente de:

La pistola, la fuente de alimentación de corriente continua, el alambre, y el mecanismo de control para la automatización del proceso. Fig. 3.5

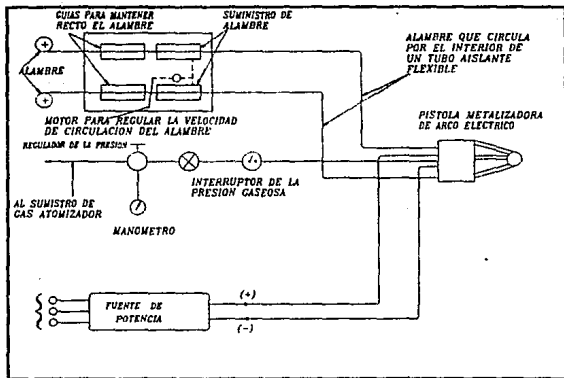


FIG. 3.5. ESQUEMA DE UN EQUIPO DE PROYECCION METALICA POR ARCO ELECTRICO

El funcionamiento del equipo es el siguiente:

Dos alambres que actúan como electrodos consumibles, se mantienen rectos mediante un conductor de doble alambre, conforme salen de sendos carretes, devanadoras o tambores de almacenamiento.

Después se envía a través de conductores aislados hasta la pistola, al pasar por la pistola están en contacto con los electrodos entre los que existe una diferencia de potencial elevada. En la pistola los electrodos forman entre sí un ángulo pequeño aproximadamente de 35 grados.

El conducto que transporta el gas atomizador está colocado en la bisectriz del ángulo que forman los electrodos. El arco eléctrico establecido entre los alambres hace que estos se fundan de un modo continuo conforme van entrando a la pistola. El chorro de gas atomiza el alambre fundido y al mismo tiempo, acelera las partículas hasta que chocan contra la superficie a recubrir y va formándose el recubrimiento.

E).- Recubrimiento de Capas Duras Superficiales Obtenidas en Vacío mediante Plasma:

Estos tipos de recubrimiento son para cubrir las actuales exigencias tecnológicas de disponer de materiales metálicos con elevadas prestaciones de trabajo bajo condiciones de servicio críticas. Además no es extraño el caso de solicitaciones que requieran propiedades del núcleo contradictorias a las necesarias a la zona superficial, o bien propiedades de materiales

excesivamente costosos.

Por lo tanto es necesario disponer de métodos que permitan modificar la zona superficial sin alterar las propiedades del núcleo o depositar materiales metálicos sobre otros materiales con un fuerte anclaje entre ambos.

Veremos aquellos tratamientos que permiten modificar el comportamiento de los materiales mediante la deposición de capas metálicas o la modificación de la composición y estructura de la zona superficial del material base utilizando el bombardeo de partículas cargadas de un plasma sobre la superficie del propio material que se deposita.

Es conveniente hacer notar que se considera estado de plasma a aquel estado físico formado por partículas de materia eléctricamente cargadas (iones y electrones) que conservan la neutralidad eléctrica del conjunto.

El - La ionización puede producirse por descargas eléctricas a través de una atmósfera de gas, y una vez producida, las partículas pueden confinarse en una zona reducida de espacio o ser aceleradas contra otras porciones de materia, debido a la aplicación de campos eléctricos y magnéticos.

El - El recubrimiento por pulverización catódica es un proceso donde se utiliza el intercambio de momento que tiene lugar entre las partículas aceleradas del plasma y los átomos que forman el material que actúa como blanco. Fig. 3.6., de esta forma los átomos adquieren suficiente energía para abandonar el material produciendo un efecto microscópico de pulverización del material.

Este material que puede ser un metal o una aleación suele presentarse en forma de pequeñas tarjetas intercambiables conectadas al catodo del campo electrico aplicado al plasma atravesando hacia si las particulas positivamente.

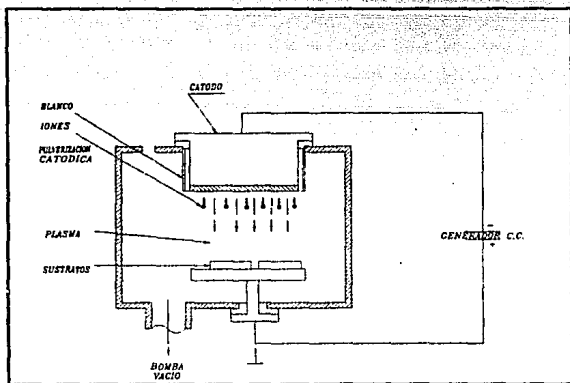


Fig. 5.6.- Esquema del procedimiento de la pulverización catódica

La superficie a recubrir debe colocarse en posición tal que intercepte el flujo de átomos que abandonaban la tarjeta y dotara en su caso de movimiento para que toda la superficie sea expuesta de igual forma. Para así evitar, la deposición no uniforme en las zonas ocultas al flujo.

Este proceso se lleva a cabo en cámaras donde primeramente se cargan las piezas a recubrir y las tarjetas del material que se utilizará. se realiza la evacuación de los gases en la cámara

hasta presiones que fluctúan entre 10^{-3} y 10^{-5} Pa, alcanzada esta presión la cámara se llena parcialmente con el gas utilizado hasta la presión de trabajo ($0.1-10$ Pa). En estas condiciones se produce una descarga eléctrica al aplicar la diferencia de potencial (0.5 y 5 kV), entre el ánodo y el cátodo; los iones de gas son acelerados por el campo eléctrico existente en forma de ondas positivas que chocan contra las tarjetas produciendo la erosión de átomos del material con una energía que se distribuye entre 1.0 y 10 eV. El gas utilizado normalmente es el argón, debido a que su peso atómico es lo bastante elevado para alcanzar un alto momento durante la aceleración suficientemente elevado para no interferir en la composición química del material de la tarjeta y formar un recubrimiento de conjunto sobre la superficie.

F).- Pintura

Las pinturas y los materiales de acabados orgánicos proporcionan el medio más ampliamente utilizado para proteger los metales en contra de la corrosión. Puesto que las pinturas protegen a los metales mediante la interposición de una película continua, inerte y adherente entre la superficie del metal y el medio ambiente.

Las pinturas y los materiales de acabados orgánicos consisten esencialmente de una fase líquida continua formadora de la película y el vehículo, en la que se encuentra en dispersión un pigmento o una combinación de pigmentos.

La conversión de la fase líquida a sólido es esencial, tanto para aplicar el recubrimiento, como para lograr una estructura inmóvil. Dicha estructura debe adherirse al material que se aplica y ser inerte frente a las acciones químicas y físicas del medio ambiente. Esta definición funcional de la pintura en el sentido más amplio de la palabra, no se refiere para nada a la composición química de los materiales formadores de la película o a los mecanismos que intervienen en el proceso.

Por ello podemos decir que la pintura es una composición líquida pigmentada que se convierte en una película sólida y relativamente opaca, después de su aplicación en película fina.

Los pigmentos son las finas partículas sólidas empleadas en la fabricación de pinturas y fundamentalmente insolubles en el vehículo.

El vehículo es la porción líquida completa de una pintura, que incluye el contenido sólido del barniz, que corresponde al aglomerante del pigmento y producto formador de película, el disolvente volátil y cualquier otro producto disuelto que se halle en la fase líquida.

Capítulo 4

Los Recubrimientos Organicos

4.1.- Clases de Recubrimientos Organicos

Aunque, hasta ahora, era costumbre clasificar los materiales organicos en: pinturas, esmaltes y lacas, estos nombres son cada vez menos concretos, a medida que los componentes de las formulaciones modernas han aumentado en diversidad y en complejidad, la distincion es cada vez mas pequeña y cada una de estas clases incluye componentes que son muy distintos a los de antes.

En el estudio de los materiales de acabado se acentúan mas los conceptos del tipo resina, vehiculos y pigmentos, así como también las propiedades de recubrimiento.

No obstante, conviene señalar lo que hoy se entiende por pintura, esmalte, lacas, etc.

Las definiciones aceptadas para estas principales clases de recubrimientos organicos son de tipo muy general y nos proporcionan escasa información sobre su naturaleza química o propiedades. Por ejemplo, las pinturas se definen como "composiciones liquidas que se convierten en una película solida opaca después de aplicarse en capa fina."

Los esmaltes son "pinturas que se caracterizan por su aptitud para formar una película excepcionalmente lisa", mientras que la definición algo mas concreta, de las lacas de celulosa, describe a estas como "composiciones de recubrimientos liquidos, que como

ingredientes básicos de formación de película, contienen ésteres o éteres de celulosa y plastificantes con o sin resinas".

A).--Pinturas

Una pintura consta esencialmente de la dispersión de un pigmento, o combinación de pigmentos, en un vehículo que consiste en un aceite secante, al que generalmente, se le añade un diluyente, para ajustar la mezcla a la viscosidad más adecuada para proceder a su aplicación.

La formación de la película implica la evaporación del disolvente y concretamente, la conversión del aceite secante al estado gel. Esta conversión lleva consigo una reacción de oxidación, que transcurre a temperaturas normales.

En las fases iniciales, la oxidación o secado, suele acelerarse por la adición de pequeñas cantidades de catalizadores conocidos con el nombre de secantes.

El aceite secante puede estar parcialmente polimerizado o reaccionar con resinas sintéticas, para aumentar la resistencia de película y la velocidad de transformación en gel. Este caso es el de las pinturas en las que los aceites entran a formar parte en proporciones elevadas.

Las pinturas se obtienen triturando los pigmentos en aceite con molinos de rodillos de velocidad diferencial. En el caso de ciertos pigmentos duros y abrasivos se emplean molinos de piedra y en muchos casos se emplean molinos de bolas y de guijarros.

Las partículas individuales de los pigmentos, realmente no

llegan a molerse, sino que se separan y dispersan con objeto de lograr una humectación íntima por el vehículo líquido, estas pinturas suelen ser de aspecto mate.

El principal empleo de las pinturas aplicadas a las superficies metálicas es el de protección y decoración de grandes estructuras fijas, tales como puentes, depósitos de aceite y de gases, tuberías, fabricas, etc. En estos casos los recubrimientos se aplican en el lugar, si bien puede darse en fabrica un recubrimiento preliminar para evitar la corrosión durante los periodos de almacenamiento y de instalación.

B).-Esmaltes

Un esmalte esta constituido por la dispersión íntima de pigmentos en un vehículo de barniz o de resina.

El secado es decir, la conversión a estado del, puede ocurrir a temperatura ambiente en virtud de la oxidación, o a temperaturas elevadas, tanto en presencia como en ausencia de oxígeno.

Prescindiendo del grado mas elevado de dispersión del pigmento en el vehículo, la diferencia esencial entre una pintura y un esmalte estriba en la naturaleza del vehículo. El vehículo de esmalte puede ser una mezcla de aceite-resina, que contenga resinas naturales, sintéticas o simplemente, una resina sintética sin mezcla alguna. Los vehículos oleoresinosos suelen conocerse corrientemente con el nombre de barnices.

Los esmaltes se secan con mayor rapidez que las pinturas, y los recubrimientos obtenidos con ellos son bastante mas duros y

resistentes. En el caso de composiciones adecuadas, el empleo del calor acelera considerablemente el proceso de gelación y al mismo tiempo, aumenta las características de dureza y de resistencia hasta que el esmalte puede adquirir un carácter que se aproxime al vítreo. Por lo que es en esta clase de recubrimientos en los que la mayor parte de las resinas que se han desarrollado durante los últimos años han encontrado aplicación.

Como se sabe no es sencilla la fabricación de un barniz oleoresinoso, pues se requiere una habilidad considerable, ya que después de someterlos al tratamiento previo adecuado, las resinas y los aceites secantes se mezclan en presencia de calor y se dejan reaccionar hasta que se obtiene una mezcla compatible, clara y de la consistencia deseada.

El tiempo y la temperatura son dos factores que se deben vigilar atentamente, debido a las diversas reacciones que tienen lugar, tales como la despolimerización de la resina, la polimerización de los aceites secantes y la formación de polímeros cruzados de estos componentes, son excesivamente complejos. Una vez que ha tocado a su fin esta reacción a elevada temperatura, se añaden los secantes y diluyentes necesarios; a continuación el barniz enfriado se clarifica en centrifugas y se almacena en depósitos grandes, con objeto de unirse con cargas sucesivas y de formar la clarificación lenta posterior.

Sin embargo, los barnices que se han desarrollado en época reciente no se ajustan a esta regla, por lo general, la relación de aceite a resina se expresa en función del número de litros de

aceite secante que se incorporan a 45kg o 100 lbs. de resina.

Los barnices abundantes en aceite suelen contener mas de 95 litros de aceite por 45kg de resina. Los medios en aceite de 57 a 95 litros, y los reducidos en aceite menos de 57 litros.

Los esmaltes que han de emplearse para recubrir articulos o estructuras que se encuentran al aire libre, requieren una cantidad de aceite superior a los 95 litros, por regla general. la proporción de aceite o resina influye de un modo muy señalado sobre las propiedades físicas de la película curada.

Las mezclas cortas en aceite tienden a ser duras, frágiles y a poseer propiedades de secado rapido, mientras que cuando las proporciones de aceite son elevadas, las películas obtenidas son blandas, flexibles y poseen una buena resistencia a la intemperie.

Con la gran variedad de resinas sintéticas de que hoy se dispone, es posible obtener acabados cuyas propiedades físicas y de resistencia a la humedad, a los productos químicos y a los contaminantes atmosféricos varían en una escala muy amplia.

Los esmaltes se emplean extensamente en los acabados de tipo industrial, debido no solo a la mayor dispersión de los pigmentos, sino, a su brillo atractivo. Pues, así cumple simultáneamente las funciones de protección y de decoración.

Teniendo en cuenta que los esmaltes son muy resistentes a la acción mecánica, se emplean en acabado de los productos e instalaciones mecánicas usadas en casa, en la oficina y en la fabrica, los mayores usuarios de la industria de estos acabados

son los fabricantes de automoviles, instalaciones electricas y material telefonico.

C).-Lacas o acabados de resinas de tipo disolvente.

Se dice que los ingredientes formadores de pelicula de una laca de celulosa son esterres o eteres de celulosa y plastificantes provistos o carentes de resina. actualmente se tiende a clasificar los acabados de resinas no celulasicas de tipo secante-disolvente dentro de las lacas.

La pigmentacion de los vehiculos de laca dan lugar a la obtencion de los llamados esmaltes de laca, que son muy utiles como recubrimientos protectores. Muchas resinas de tipo disolvente como los vinilos, los acrilatos, las siliconas, el caucho clorado, las resinas alquidicas no secantes y las gomas ester, se han combinado con los derivados de la celulosa para obtener recubrimientos de propiedades mejoradas.

Tomando en cuenta que el mecanismo de "secado" de las lacas depende de la volatilizacion de los disolventes, se debe proceder con extremo cuidado al seleccionar las combinaciones de disolventes adecuados. Ya que la mezcla disolvente no solo debe ser capaz de mantener en solucion al ester celulosico, a la resina y al plastificante, antes de proceder a su aplicacion, sino que, al evaporarse, debe estar calculada de tal modo, que en ninguna de las fases de separacion del disolvente se sobrepase el limite de compatibilidad de ninguno de los componentes permanentes, ya que si esto ocurriese, tendria lugar una

segregación, la cual, a su vez, evitaría la formación de una película homogénea. Afortunadamente ahora para la formulación de estos productos se cuenta con una gama muy amplia de disolventes, que pueden variar mucho entre sí, tanto desde el punto de vista de su composición química (ésteres, alcoholes, cetonas, éteres, etc.) como del físico en lo tocante a sus puntos de ebullición y velocidades de evaporación.

Debido a sus rápidas características de secado, las lacas encuentran un extenso uso en la protección y decoración de casi todos los productos en los que es factible una aplicación por proyección con pistola o por inmersión, ya que debido a la propiedad de formar rápidamente una película seca, hace que sea difícil su aplicación con brocha.

D).-Recubrimientos Plásticos

Un plástico es una materia orgánica fácilmente deformable por plasticidad bajo la influencia de la presión, de la temperatura o de ambos factores conjuntamente, en una cierta etapa o estado de su elaboración, estos plásticos son derivados de resinas sintéticas, resinas naturales, celulosa, brea, productos petrolíferos, etc.

Los recubrimientos plásticos son aquellos que tienen naturaleza orgánica, pero a diferencia de la pintura o laqueado, estos no se depositan por medio de un vehículo o disolvente.

Los recubrimientos con plásticos de superficies metálicas se usan con la finalidad de crear una capa barrera para aislar,

química y eléctricamente, al metal protegiendo del medio ambiente, mediante una película de plástico. Esta plastificación se realiza envolviendo la superficie metálica con hojas o cintas de plástico o con partículas de polvo de plástico. Aunque los recubrimientos con polvos de plástico son en realidad pinturas en polvo termoendurecibles.

Los principales tipos de polvos son:

Las resinas epoxi: que se usan principalmente para revestir tuberías de gas, de petróleo, de agua potable o como aislamiento térmico en motores.

Las epoxi-poliéster, que su principal aplicación reside en la línea blanca de los electrodomésticos.

Los poliuretanos; con los que se consigue un mejor acabado superficial y la poliamida 11; que logra acabados resistentes a la corrosión y abrasión. también se logra un excelente aislamiento eléctrico.

4.2.-Propiedades Generales

Las pinturas protegen a los metales mediante la interposición de una película continua, inerte, y adherente entre la superficie del metal y el medio ambiente.

Las propiedades de una pintura dependen de la naturaleza y proporción de sus ingredientes. Estos se dividen básicamente en cuatro clases fundamentales; pigmentos, disolventes, aglutinantes y aditivos.

A)- Pigmentos

Los pigmentos son los que definen más propiedades en los recubrimientos, estas propiedades son:

Color básico: es el que pone de manifiesto el color de los pigmentos cuando se dispersan solos en un vehículo.

Color secundario: es el que se obtiene mezclando diferentes pigmentos.

Intensidad: esta propiedad se refiere al poder colorante, cuando con otros pigmentos de tono secundario se combina.

Poder cubriente: es la capacidad de un pigmento para cubrir las superficies cuando se extiende.

Dispersabilidad: es la facilidad con que los aglomerantes de pigmentos se pueden separar mediante la dispersión en los vehículos del recubrimiento.

Brillo: propiedad importante es el grado de brillo real, logrado en un acabado que se espera tenga el mayor brillo posible.

Fluidez y homogeneidad: facilidad para aplicarse y que la película sea continua.

Solubilidad: solubilidad limitada que tienen ciertos pigmentos orgánicos en aceite, resinas o disolventes.

B)- Aglutinantes

Realizar una formulación acertada de los componentes de los filmógenos de los recubrimientos, es un tanto difícil, se requiere conocimientos generales de las características de comportamiento de los diferentes tipos de materiales disponibles.

Normalmente se necesitan, mínimo de dos y a veces hasta media docena de materiales filmógenos (resinas duras) para obtener la combinación conveniente de propiedades en el producto acabado, bastantes de las propiedades de los filmógenos son también las de los pigmentos, como es el color, viscosidad, solubilidad, compatibilidad.

C)- Disolventes

Se requiere siempre una viscosidad adecuada para cada aplicación; para obtener dicha viscosidad, son fundamentales los disolventes volátiles, puesto que reducen los componentes no volátiles de los recubrimientos de superficies. Se sabe que no permanecen en las películas una vez secas, pero son básicos en el proceso de aplicación de las mismas, las cuales secarán con el debido brillo y exhibirán uniformidad de espesor de la película y carencia de irregularidades en la superficie.

En los disolventes debe tenerse en cuenta las siguientes propiedades para su selección y son: color, velocidad de evaporación, olor, capacidad de disolución, toxicidad, influencia en la viscosidad del vehículo, punto de inflamación e índice volumétrico.

D)- Aditivos

Los aditivos son productos adicionados a las pinturas en porcentajes relativamente pequeños para introducir cambios considerables en las propiedades de las mismas.

Se emplean aditivos para multitud de finalidades, pero principalmente para facilitar la dispersión de los pigmentos y modificar las características de viscosidad del producto final.

Si el aditivo no es soluble en el vehículo, pero lo es sin embargo en agua, tenderá a disminuir la humectación a la vez que puede inducir una posible floculación del sistema. Si el agente humectante es soluble en el vehículo, pero insoluble en agua, puede mejorar las condiciones de humectación y prevenir los efectos de floculación.

Una sustancia con solubilidad limitada en ambos, vehículo y agua, su comportamiento es altamente variable, ya que puede actuar como un agente dispersante o humectante, pero puede sin embargo, causar la floculación.

Existen tres productos aditivos que pueden servirnos de ejemplo para justificar esa generalización: estos aditivos son: agua, ácido oleico y alcohol butílico normal.

El agua no es soluble en los vehículos oleoresinosos, generalmente dificulta la dispersión, favoreciendo la floculación del sistema disperso.

El ácido oleico, es soluble en los vehículos normalmente utilizados, pero insoluble en agua, sirve como agente dispersante en muchas composiciones pigmentadas.

El alcohol butílico presenta una solubilidad limitada en los vehículos y en el agua, con pequeñas adiciones sirve en muchos casos para favorecer la dispersión, mientras que grandes cantidades llevan a flocular el sistema.

E).-Plásticos

Los plásticos como recubrimientos tienen algunas propiedades importantes: como el cloruro de polivinilo (pvc), el caucho y el teflón que resisten la acción de los ácidos, de las sales, de las lacas, de los aceites y de la acción de la intemperie; el pvc y el teflón se utilizan bastante por su elevada resistencia eléctrica, y también tiene ventajas sobre las pinturas como: la facilidad de aplicación, posibilidad de automatización, elevado rendimiento, ausencia de polvos debido a la evaporación del disolvente.

Capitulo 5

Sistemas de Aplicacion de recubrimientos Organicos

5.1.- Métodos de Aplicacion de Recubrimientos Organicos

A.- Pintura

Existen muchos métodos de aplicación de pintura, por lo que veremos los principales o mas usados.

A1.- Aplicacion a Brocha y Rodillo

Esta es una de las formas mas usuales y cotidianas de efectuar la aplicacion de pintura, pero hay que tomar en cuenta que no es un método tan sencillo como parece.

Se prepara la pintura siguiendo las especificaciones del fabricante y se inicia la aplicacion de dicha pintura.

Tomando en cuenta que la brocha debe sumergirse en la pintura a una profundidad no mayor de la mitad de la longitud de las cerdas que la constituyen, esto es para evitar escurrir el exceso de pintura sobre el borde del recipiente que la contiene, ya que eventualmente, el exceso de pintura fluye por el exterior de la brocha, ocasionando perdida de pintura sin necesidad alguna.

Ademas, cuando se utiliza la brocha con exceso de carga de pintura esta penetra a través de la cabeza de la brocha, mermando los rendimientos de los productos que se aplican, la pintura pierde rapidamente parte de disolvente, adquiere mayor viscosidad y puede llegar a secarse, ocasionando que el brocheo sea mas duro y dificil de mantener limpia la brocha.

Se debe tener idea o experiencia en cuanto al área aproximada

que puede cubrirse con cada brochada, y hacer fluir la pintura sobre esta area con el minimo numero de pasadas a fin de producir un espesor uniforme de pelicula. puesto que si excede en el numero de pasadas para aplicar determinada cantidad de pintura, la accion de barrido sobre la pintura húmeda acelera la evaporación del disolvente, aumentando la viscosidad de la pintura, dificultando la extensibilidad o nivelación de la misma convenientemente.

Es muy importante usar el tamaño y tipo de brocha según las necesidades de cada momento, evitar el empleo de brochas económicas, ya que estas nos llevaran a la realizacion de malos trabajos con rendimientos inferiores. Por consiguiente y de manera general si se emplean herramientas de mejor calidad, nos facilitara sensiblemente la aplicacion de la pintura y conseguiremos el maximo efecto de calidad.

Con el desarrollo de los rodillos se ha disminuido el tiempo necesario para la aplicacion de pintura sobre grandes superficies lisas, se han realizado muchas mejoras en el diseño y tipos de rodillos. un factor importante en dicho diseño es la profundidad del pelo, así como la capacidad que el mismo tiene para absorber pintura, ambos factores condicionan la tersura de la superficie final obtenida en el recubrimiento. Los rodillos de pelo corto producen terminaciones más lisas. aparte de que con este tipo de instrumentos puede removerse la cubierta para cambiarla por otra nueva o simplemente para proceder a la limpieza de la misma. existen varios tipos de rodillos, los mas comunes son de 15 cm de

longitud, aunque en trabajos de grandes dimensiones se emplean hasta de 40 cm.

A2.-Aplicación Aerográfica o a Pistola

El principio básico del pintado aeroográfico o a pistola, es atomizar la pintura en una niebla fina y aplicar esta sobre la superficie del objeto a recubrir.

El método de pintado a pistola es muy usado debido a que la aplicación a brocha es demasiado lenta para los sistemas en cadena, tomando en cuenta que la mayor parte de los acabados sintéticos secan demasiado rápido como para que puedan ser aplicados a brocha en forma satisfactoria.

El método más usado es el que utiliza el recipiente de presión, la pintura se sitúa en dicho recipiente y se aplica una presión determinada, esta presión fuerza a la pintura a pasar a través de un orificio que la hace llegar hasta la pistola de pulverización.

La pintura sale de la pistola a través de una válvula con aguja y la cantidad de pintura se regula mediante un tornillo situado en la parte superior de la pistola, así como por la presión de aire que se aplica en el interior del recipiente.

La corriente fina de pintura sale de la pistola y por la acción de unos chorros de aire comprimido situados convenientemente, se atomiza la pintura de tal forma que salga en forma de abanico de cono o de círculo, este en ocasiones se utiliza para aplicaciones especiales. El tipo de pistola a que nos referimos es conocido como de mezcla externa, fig 5.1. Pero existen otras variedades que mezclan el aire y la pintura en el interior de la pistola y

se conocen como de mezcla interna. Fig. 5.2.

Las personas experimentadas en aplicación de pintura pueden conseguir mediante el empleo de la pistola un recubrimiento prácticamente uniforme y con ello mantener un espesor de película preestablecido dentro de unos márgenes correctos.

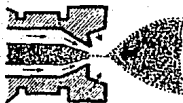


Fig. 5.1.- Pistola de mezcla externa. la pintura fluye a través del cabezal y al llegar a la salida de este, es atomizada por efecto de los chorros de aire a presión que pueden ser orientados a voluntad. (para secado rápido)

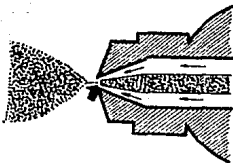


Fig. 5.2.- Pistola de mezcla interna, la pintura se mezcla en el interior con el aire a presión y la mezcla es expedida al llegar al exterior. (secado lento)

A3.-Pintado Electrostatico

El proceso de pintado con campo electrostatico precisa de una conexion electrica, mediante la cual se establece una diferencia de potencial, entre la pistola atomizadora y el objeto que se pretende recubrir. La pintura se suministra a los atomizadores a traves de una conduccion y la rotacion de las cabezas de dispersion provocan la distribucion de la pintura, que es atomizada y transportada por el campo electrostatico, la cual llega en forma de particulas diminutas a la superficie del objeto a recubrir como consecuencia de la atraccion electrostatica existente.

A4.-Aplicación a Pistola sin Aire

El metodo de aplicacion a pistola sin aire no precisa la utilizacion de aire comprimido para realizar la atomizacion, ya que esta depende de la elevada presion que soporta la pintura, o de su combinacion con calor desarrolladas en el equipo.

Este equipo consta de una bomba, un calentador, una pistola de aplicacion y los controles necesarios para mantener los limites de temperatura y presion constantes. La pintura esta sometida a una continua circulacion en el equipo, incluso cuando no esta pulverizando. La velocidad de recirculacion se controla mediante una valvula de aguja, esta permite que una cantidad precisa de pintura regrese desde la pistola a traves del sistema de succion de la bomba.

Cuando la pistola es disparada, la pintura se pulveriza, la bomba automaticamente aumenta su velocidad y por consiguiente, se

mantiene una presión constante en el sistema. La pintura se calienta para disminuir su viscosidad y facilitar así su atomización, la temperatura se controla mediante un sistema termostático adecuado. La atomización de la pintura se consigue por los efectos de presión y calor. La alta presión existente fuerza a la pintura líquida a pasar a través de las boquillas de la pistola a velocidad superior a la crítica del líquido, por consiguiente, al salir de la boquilla de la pistola se produce la rotura de la fase líquida en pequeñas gotas, para disminuir la viscosidad y aumentar la presión de vapor del disolvente, se incrementa la pintura.

A4.1.-Aplicación en Caliente

El empleo de temperaturas más elevadas hace posible la aplicación de recubrimientos con un contenido en sólidos superior, aunque se presenta una mayor tendencia a producir una quiverización seca que disminuye las condiciones de flujo.

El proceso de aplicación en caliente da mejores resultados con pinturas basadas en formadores de películas con pesos moleculares elevados. La calefacción del material que va a aplicarse disminuye la viscosidad del mismo y por consiguiente este puede ser aplicado con un contenido en sólidos superior, esto ofrece dos ventajas fundamentales: se aplica un material con mayor contenido en sólidos en cada pasada de pistola y se ahorra el empleo de disolventes caros.

A4.2.-Aplicación a Pistola de Sistema de dos Componentes

Con la llegada a la industria de las pinturas epoxi o similares

que precisan la adición de un catalizador inmediatamente antes de su aplicación, se han desarrollado gran número de ideas para atomizar la mezcla y para la aplicación de los dos componentes simultáneamente: el sistema más usado es el que realiza lo siguiente: los dos componentes se bombean mediante una máquina que permite la mezcla proporcional de ambos a través de conductos separados hasta la pistola de pulverización, se mezclan en la pistola antes de su atomización por la presión que ha sido desarrollada. No es necesario aire comprimido para la atomización, por lo que la pérdida de pintura es mínima o nula, la máquina puede pulverizar igualmente soluciones o líquidos que tengan un 100 % de sustancias volátiles.

A5.- Sistemas de Aplicación Mediante Aerosoles

Los materiales de recubrimiento envasados en recipientes presurizados son generalmente conocidos como aerosoles, en la mayor parte de los casos la presión se obtiene por un hidrocarburo fluorado, este compuesto es gas en las condiciones de temperatura y presión normal, pero puede ser licuado y ese líquido ser empleado para que proporcione la presión suficiente que permita la salida y atomización de la pintura del recipiente a través de un orificio conveniente, cuando la mezcla de pintura y de gas impulsor sale del recipiente en donde han estado envasados, la rápida evaporación del gas impulsor produce la atomización de la pintura. La única ventaja de los sistemas aerosol es su comodidad, la pintura puede aplicarse simplemente mediante la presión del tapón con que está provisto el recipiente

en su cabezal, pero la mayor parte de los casos hay partes iguales de gas impulsor y de pintura en el interior del envase, de tal forma que el rendimiento es mucho menor que el que podría esperarse por el tamaño del recipiente.

H5.- Aplicación por Inmersión

La aplicación por inmersión es el método más simple para conseguir el recubrimiento mediante pinturas. Este método es ampliamente usado para la aplicación de imprimaciones, donde el espesor de la película y el aspecto de la misma no son importantes.

En trabajos de poco número de elementos los objetos pueden ser sumergidos manualmente y colgados convenientemente para su escurrido y secado. Existen también sistemas mecanizados mediante el transporte en cadena para inmersión y escurrido de las piezas.

Como las pinturas de aplicación por inmersión son generalmente de secado al aire, ven a aumentar su viscosidad debido a la oxidación que produce la gran superficie de pintura expuesta al aire y a causa de la aeración producida al sumergir y sacar los objetos del seno de la pintura. La velocidad de flujo de la película puede controlarse mediante la regulación de los disolventes que intervienen en la fórmula y por la viscosidad de la pintura, de manera más general, las viscosidades bajas producen flujos buenos de pintura sobre la superficie y el disolvente deberá evaporar lo suficientemente rápido como para asegurar el que se consiga un espesor de película suficiente sobre las partes superiores de los objetos.

A7.- Aplicación por Chorreo

En este método el material de recubrimiento fluye sobre los objetos y el exceso cae en un recipiente o bandeja a partir del cual se retorna mediante una bomba al flujo inicial. este tipo de aplicación se puede automatizar empleando cadenas transportadoras, para las piezas que van a ser recubiertas, haciéndolas pasar a través de un túnel convenientemente dispuesto para la aplicación de la pintura.

Los objetos suspendidos del transportador pasan a través de una serie de boquillas que distribuyen la pintura en forma uniforme.

El exceso de pintura se recupera y se hace recircular en la forma que se indicó anteriormente.

A8.- Aplicación Mediante Cortina

El método de cortina a presión puede ser considerado como un sistema perfeccionado de aplicación mediante chorreo.

Los objetos a recubrir pasan por debajo de una cortina de pintura que fluye de la maquina de aplicación. Esta cortina cae desde un recipiente de aluminio a presión, que se extiende a todo lo ancho de la maquina de aplicación.

El volumen de pintura que fluye, está controlado mediante el ajuste de la separación de dos cuchillas que forman una abertura en "v". La presión se mantiene constante mediante una bomba provista de un mecanismo de by-pass a lo largo de toda la cortina, debido a que se distribuye mediante una cámara de aire, existente en la cabeza del recipiente que contiene la pintura, el volumen de flujo en la cortina se ajusta para conseguir un

espesor de película correcto, de tal forma que no exista un exceso de pintura sobre los objetos a recubrir. La parte de cortina que cae a los lados del objeto se recoge en un recipiente inferior y se hace volver al tanque original mediante un mecanismo de bombeo y filtración. Al pasar el objeto a recubrir por debajo y a través de la cortina de pintura, este queda recubierto uniformemente por la misma.

Para sistemas de dos componentes, tales como resina base y el catalizador se pueden utilizar dos cabezas de aplicación.

A9.- Sistemas de Recubrimiento Centrifugos y Mediante Barriles Oscilantes

Cuando se trata de recubrir la superficie de objetos pequeños, tales como neblillas, botones, tornillos, etc., así como objetos de joyería. Esta operación puede realizarse mediante el empleo de centrifugas adecuadas o utilizando barriles con un movimiento oscilatorio.

En el sistema mediante barriles oscilantes, la capacidad del recipiente es de 4 a 6 pies cúbicos y está equipado con compartimientos intercambiables, la velocidad de oscilación es generalmente de 23 rpm, pero pueden conseguirse instalaciones con variadores de velocidad que trabajen en una gama de 12 a 36 rpm.

En el interior del barril se sitúa una cantidad cuidadosamente calculada de material de recubrimiento, con cada carga de trabajo y se distribuye sobre los objetos por rotación del recipiente en un ángulo determinado, una vez terminada la rotación que dura un tiempo preestablecido, la carga de piezas se vierte a una cesta

de alambre y el recubrimiento se seca al aire o al horno; según lo amerite el caso.

Las máquinas de aplicación mediante sistema centrífugo se prefieren a los barriles o recipientes anteriores para recubrimiento de objetos; tales como piezas de joyería, debido a que no pueden soportar la acción mecánica oscilante. Las máquinas centrífugas están provistas de un motor en la parte superior que hace girar una cesta de alambre adaptada al mismo. El material de recubrimiento está en un recipiente situado en la parte inferior de la máquina, este recipiente puede ser elevado de tal forma que la cesta de alambre que contiene los objetos a pintar quede sumergida en la pintura, el recipiente desciende a continuación y el exceso de pintura se elimina de los objetos mediante la acción centrífuga creada por la rotación de la cesta, para el caso de productos de secado al horno, la misma cesta utilizada para el pintar y centrifugación se extrae del aparato y se introduce en la instalación de secado. Los objetos tienden a pegarse unos con otros, pero los puntos de contacto suelen ser tan pequeños que se puede fácilmente separarlos y resultará difícil ver después donde estuvieron pegados.

A10.- Aplicación Mediante Rodillos

Las máquinas de aplicación de rodillo se utilizan para aplicar recubrimientos sobre uno o dos lados de superficies planas, tales como laminas de estaño, tiras metálicas, superficies de madera etc.

Un aplicador de rodillo simple, para el recubrimiento de la cara

superior o inferior de la lamina tiene tres rodillos: fig. 5.3. cuando se aplica simultaneamente sobre la cara superior e inferior son precisos cuatro rodillos, fig. 5.4. representando al aplicador de rodillos simple del tipo de recubrimiento superior, el rodillo situado en la posicion mas baja es el de transporte, el situado directamente encima de el, es el aplicador, a la izquierda de este ultimo esta el rodillo distribuidor.

El material de aplicacion esta contenido en el espacio angular existente entre el rodillo distribuidor y el aplicador, el espesor de la pelicula queda determinado por la separacion de los rodillos distribuidor y aplicador. El recubrimiento es transferido a la superficie plana cuando esta pasa entre el rodillo aplicador y el de transporte.

- D. RODILLO DISTRIBUIDOR
- A. RODILLO APLICADOR
- B. RODILLO SECO
- S. RASCADOR

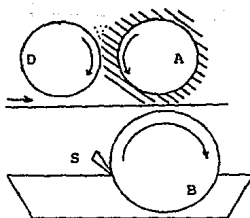


Fig. 5.3.- Sistema de rodillos para recubrir la cara superior.

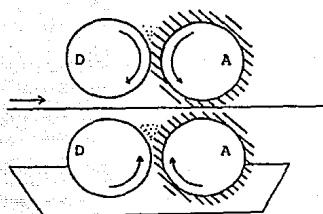


Fig. 5.4.- Disposición de rodillos para el recubrimiento por las dos caras (superior e inferior)

B.- Plásticos

Un método de aplicación muy usual en los recubrimientos, es el que se hace con plásticos. Questo que puede hacerse manual. La clasificación se realiza envolviendo la superficie metálica con hojas o cintas de plástico, estas pueden ser de caucho, de polietileno, poliester, P.V.C. o de teflón con o sin adhesivo.

Al aplicar la cinta en torno de un objeto metálico hay un cierto esfuerzo de tracción, con lo cual se deforma por estirado, y así al envolver el metal a proteger, la cinta se contrae y las zonas en contacto sueldan entre sí.

En la aplicación de polvos de plástico como recubrimiento existen tres formas más usuales o tres métodos principales.

B1.- Inmersión

Este método consiste en calentar la pieza que se quiere

recubrir, la cual se prepara previamente: para calentaria se introduce en un horno a temperatura entre 120 y 450 grados centigrados; esta variación de temperatura depende de la masa de la pieza, la naturaleza del polvo y del metal que esta constituida dicha pieza; salida la pieza inmediatamente se introduce en el polvo fluidificado unos segundos. Fig. 5.5, por lo que el polvo en contacto con la superficie metálica caliente, funde formándose una capa sobre dicha pieza, el espesor depende del tiempo de permanencia en el lecho fluidizado y la temperatura, la pieza se retira del lecho y se enfría al aire, a veces con inmersión en agua fría se logran acabados brillantes.

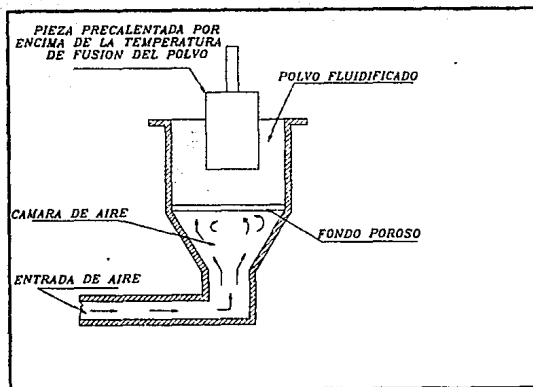


Fig. 5.5.- Lecho fluidizado utilizado para recubrimientos con polvos.

B2.- Aspersión

Este método se lleva a cabo en un túnel, la cantidad de reactivo que incide en la superficie a proteger para la eficacia del tratamiento, así como el ángulo de incidencia y la fuerza. Por esto es de gran importancia la presión de la boquilla, caudal y el tipo de la misma. A la salida del túnel suele haber un soplo de aire frío, finalmente la pieza se hace pasar a la estufa de secado a una temperatura de 120 grados centígrados aproximadamente.

B3.- Proyección

Para realizar la proyección de los polvos de plástico, se necesita una pistola-soplete, para efectuar la doble función de precalentar la superficie a recubrir hasta alcanzar la temperatura necesaria y proceder a la proyección simultánea de polvo y llama, después se enfría al aire, de esta forma se logra recubrir piezas enteras, con espesores de recubrimientos mayores que los alcanzados con otros procedimientos de aplicación y llevar a cabo recubrimientos localizados.

B4.-Electroforesis

Este método conocido también como recubrimiento cataforesico de polvos; requiere de una pistola electrostática provista de un generador capaz de suministrar de 45 000 a 90 000 v. Fig. 5.6.

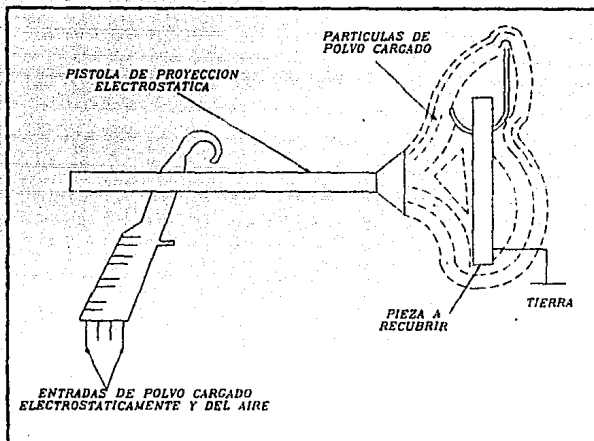


Fig. 5.6.- Esquema de una pistola para el pintado electrostático de polvos.

El polvo cargado positivamente se proyecta contra la superficie a proteger, (catódica), donde se deposita de manera muy regular sobre la pieza a proteger. Para fusionar el polvo sobre la superficie metálica, se calienta en un horno durante los períodos de tiempo necesarios. Este sistema es idóneo para recubrir laminas metálicas de espesor muy delgado.

C a p í t u l o 6

Defectos de los Recubrimientos Orgánicos

Quando se ha realizado un recubrimiento orgánico (pintura) sobre el acero, y este ha sido realizado cuidadosa y hábilmente, siguiendo las indicaciones del fabricante de recubrimientos y en las condiciones propicias, se obtendrá un trabajo duradero y admirable, puesto que aparte de proteger al acero, se puede dar una apariencia estética mejor, debido a la gran gama de colores que existen en los acabados.

Desafortunadamente es difícil obtener trabajos de excelente calidad: esto puede deberse a que la pintura no este en buenas condiciones, porque la temperatura del lugar de almacenamiento no es adecuada, o el envase no fue bien sellado, etc, pero los fallos mas frecuentes se ocasionan: en su aplicación, preparación de superficie, preparación de recubrimiento o tipo y estado del equipo de aplicación.

Quando observamos con detenimiento un trabajo de aplicación de pintura y notamos que en dichas películas de pintura existen cuarteaduras, decoloración, pegajosidad, etc. Es difícil predecir la causa de la falla, puesto que en muchas ocasiones una falla puede deberse a infinidad de causas y en otras ocasiones ocurren simultáneamente varias fallas.

Veremos las principales y mas comunes causas de fallas "[F]" y sus remedios "[R]".

6.1.- Fallas que se Presentan Durante el Almacenamiento

F.- El acceso de la humedad a las pinturas trae como consecuencia la formación de emulsiones. Incluso disolventes como el aguarrás contienen agua.

R.- Los envases deben almacenarse en lugares secos, y si es factible un calentamiento, llevarlo a cabo.

F.- Precipitación como consecuencia de un almacenamiento muy frío y además aumento de la viscosidad.

R.- Es necesario un almacenamiento alrededor de 20 grados centígrados.

F.- Larga exposición de los recubrimientos o bien tenerlos en recipientes mal cerrados o abiertos, puede ocasionar que se forme piel, lo cual puede ser el primer paso hacia la gelificación.

R.- Es vital proteger los materiales contra el acceso de aire, principalmente porque se produce evaporación del disolvente. Las pinturas propensas a la formación de piel no deben envasarse nunca en cubas o barriles, puesto que si por cualquier motivo se forman pieles, estas se mezclarán con todo el contenido de dichos envases al rodarlos.

F.- Excesiva dilución posterior es motivo de que algunas pinturas bien disueltas, se vuelvan a separar.

R.- Se debe diluir con cuidado y con los diluyentes adecuados a manera de evitar la disolución.

F.- Almacenamiento demasiado prolongado.

R.- Para evitarlo lo recomendable es fijar fechas de entrega bien definidas.

F.- Consistencia excesivamente espesa.

R.- Aunque para obtener buenos resultados es aconsejable cierta viscosidad, no debe sobrepasar ciertos límites, pues una consistencia muy espesa, puede provocar; que el secado sea mas difícil, un excesivo consumo del producto y mayor dificultad para redisolver los precipitados.

F.- Gelificación y espesamiento de pintura en relación con sus pigmentos.

R.- Las pinturas que contienen yeso se deben usar solo en interiores, pues si se usan en exteriores, al poco tiempo presentan manchas lechosas como consecuencia de que la humedad disuelve el yeso y lo exuda de la capa de pintura, los fabricantes deben seleccionar los pigmentos mas adecuados.

F.- Almacenamiento excesivamente caliente incluyendo la acción del sol.

R.- La temperatura de almacenamiento de los recubrimientos debe ser alrededor de 20 grados centígrados y tenerse apartada de radiaciones o estufas, puesto que con mayor temperatura aumenta la fluidez del solvente y favorece la sedimentación.

F.- Las pinturas de dos componentes tienen duración limitada, una vez que se ha efectuado la mezcla.

R.- Deben prepararse las cantidades justas para el empleo inmediato, aunque también se emplean pistolas de pulverización con dos alimentadores, de esta forma los componentes se mezclan

en el momento de salir proyectados por la pistola.

F.- Sedimentación por insuficiencia de agitación o mezclado durante su almacenamiento, a mayor tiempo de almacenamiento, mayor sedimentación.

R.- Difícilmente se pueden reincorporar los sedimentos a la masa total por lo que se debe evitar todo tipo de sedimento desde un principio. Los envases redondos o rectangulares deben estar herméticamente cerrados y hacerlos rodar a intervalos regulares, cuando se va a ocupar o pasar cierta cantidad de pintura de un envase a otro, primero debe agitarse hasta hacer una mezcla homogénea.

6.2.- Fallos Debidos a los Utiles Empleados

F.- Frecuentemente se dejan los rodillos en malas condiciones.

R.- Los rodillos deben limpiarse siempre antes que la pintura se haya secado en ellos, puesto que si en un rodillo se tiene que eliminar una capa de pintura que se ha dejado secar, normalmente se estropea su superficie, por lo que se produce una desigual aplicación.

F.- Usar la misma brocha para varias aplicaciones incompatibles. Por ejemplo, diferentes tipos de pintura, de disolventes o de limpiadores.

R.- Se debe utilizar brochas distintas para cada clase de pintura o bien limpiarlas concienzudamente en cada cambio de aplicación.

F.- Las cerdas o pelos de las brochas que se han utilizado y

que se han endurecido por un trato incorrecto, se rompen cuando se doblan violentamente.

R.- Las brochas endurecidas a menudo pueden reblandecerse de las formas siguientes:

- a).- Colocarlas en un jabón blando.
- b).- Colocarlas en un agente de limpieza adecuado.
- c).- Colocarlas en un quitapinturas neutro orgánico.

Inmediatamente después de humedecerlas en algunos de los aditivos mencionados se lavan con agua.

F.- Formación de una capa punteada y no continua debido a la presión excesiva en relación a la boquilla.

R.- O bien es preciso disminuir la presión o bien hay que trabajar con una boquilla más grande.

F.- En tanques abiertos la pintura para inmersión puede presentar problemas de sedimentación o un espesamiento que depende de la velocidad de evaporación de los disolventes.

R.- Los depósitos cuando están en servicio, deben permanecer bien cerrados, tener circulación automática constante y una agitación lenta, para evitar el espesamiento que favorece el escurrimiento.

6.3 Defectos de Oxidación en las Estructuras de Acero.

F.- La limpieza insuficiente de la pintura vieja, del óxido o de la cascarilla de las superficies de acero antes de la aplicación del pintado o bien cuando el pintado se ha efectuado demasiado tarde.

Las piezas de acero estructurales a menos que estén especialmente tratadas dejan al acero con una superficie en la cual existen zonas de cascarilla intacta, formada a base de óxidos de hierro, con un espesor de casi una micra, o de acero oxidado y de acero desnudo exento de cascarilla, en proporciones variables.

Puesto que la cascarilla es catódica respecto al acero, tales condiciones son ideales para que continúe una posterior oxidación. Incluso después del pintado, la humedad que penetra a la superficie del acero producirá una acción electrolítica, la cascarilla quedará socavada por la formación de óxido y eventualmente se desconchará de la superficie en grandes zonas, arrastrando a las capas de pintura con ella. Esta es la causa de innumerables y espectaculares fallos del acero, y solo pueden evitarse mediante la eliminación completa de la cascarilla.

Incluso si originalmente no se halla presente óxido, las sales solubles que no se han eliminado del acero pueden producir la corrosión filiforme, esta se presenta como filamentos o hebras de pintura suelta entrelazadas sobre la superficie, solo se presenta cuando la humedad relativa de la atmósfera en donde las piezas están almacenadas, es superior al 82%.

Una causa común son los restos de flujos soldantes y que han sido mal lavados, también pueden producir este tipo de corrosión.

Con respecto a las sales estas pueden formar pequeños cristales encima del acero y a partir de ellos se forma la corrosión filiforme.

Normalmente las piezas estructurales son pintadas completamente antes de su entrega, lo cual ayuda bastante a pesar del posible estropeamiento que puede sufrir la superficie pintada durante el transporte o su colocación.

R.- Las superficies de acero deben limpiarse escrupulosamente del óxido por medios mecánicos tales como: un martillo, por rascado, por chorreado con arena o granalla, por limpieza a la flama, con el cepillado o bien con papel esmeril, también debe eliminarse con el mayor cuidado posible la suciedad y la grasa, el polvo y los restos de pinturas viejas.

El chorreado con arena o granalla no siempre es conveniente, puesto que la presión del chorro puede causar que los granos de arena o granalla hagan penetrar las manchas de óxido dentro del hierro. Además la superficie puede adquirir una gran rugosidad por el chorreado, que la convierta en porosa y presente picos de acero muy pronunciados, los cuales conducirán a formación de óxido punteado.

Para obtener mejores resultados, hay que revisar la presión del aire, al mismo tiempo tiene que estar seco y exento de aceite, revisar la boquilla, la dirección del chorreo, la distancia.

Antes de empezar el pintado debe quitarse el polvo de la arena y la capa de imprimación deberá aplicarse a más tardar dos horas después del tratamiento.

Debe aplicarse directamente un primer inhibidor después de haber eliminado el óxido y la cascarilla, puesto que en seguida vuelve a formarse una capa de óxido (con frecuencia esta apenas se ve).

A pesar de todas las precauciones, una superficie que anteriormente ha estado oxidada, se corroera más fácilmente que otra nueva y lisa.

Por lo tanto se comprende que es prácticamente imposible, en el caso de las grandes superficies de acero, expuestas a condiciones atmosféricas, que puedan quedar completamente libres de óxido, pero es absolutamente necesario eliminar tanto óxido como sea posible, cuanto más lisas sean las superficies, menos quedan expuestas a la formación de óxido, cuando más porosas y rugosas sean las superficies, con más facilidad retienen la humedad, el óxido y otras sustancias perjudiciales.

F.- Contaminación de las superficies brillantes de acero, con los dedos sudados, de residuos de poluciones soldantes, etc.

Las huellas digitales con frecuencia brillan a través de las películas de pintura, las huellas digitales encima del acero que no se han eliminado químicamente, pueden acortar la duración de un recubrimiento en porcentaje elevado.

Las huellas digitales de algunas personas son más corrosivas que otras y pueden quedar reflejadas a través de varias capas de pintura.

R.- Los operarios que son propensos a que les suden las manos, deben llevar guantes de algodón, de cuero o definitivamente colocarlos en otra clase de trabajo.

F.- Pintado de piezas de acero que están cubiertas de humedad a causa de:

a).- La humedad de condensación: ocurre en piezas que han

sido transportadas de un sitio frío a otro caliente.

b). - La precipitación de rocío de un trabajo al aire libre, o de tiempo húmedo.

Cuando se deja que el vapor de agua actúe sobre una capa de pintura, esta puede destruirse rápidamente, a menos que este especialmente formulada contra tales condiciones.

La humedad se difunde a través de la película, puede incluso quedar retenida, esto es peor que si no se hubiese aplicado ninguna capa de pintura.

La mejor forma de evitar el óxido, es una aplicación rápida, en un clima razonablemente caliente (15 grados centígrados), de una capa de primario, esto se debe efectuar inmediatamente después del pretratamiento, aunque esta capa habría de aplicarse antes de que las piezas de acero abandonen los talleres de fabricación, cuando no sea posible, debe de seguirse las siguientes precauciones.

A).- Si es posible el pretratamiento y el pintado debe efectuarse bajo techo, las piezas deben estar a temperatura ambiente y completamente exentas de humedad de condensación antes de aplicar la primera capa.

B).- El pintado e incluso el pretratamiento, deben interrumpirse durante niebla, lluvia o un tiempo frío y húmedo.

En estas condiciones se aconseja que no se empiece el pintado muy temprano, ya que esto puede ocasionar el hinchamiento de las películas y permitirá que la humedad alcance hasta la superficie del acero.

Si la aplicación se hace a pistola y las condiciones ambientales no son propensas, se debe calentar la pintura antes de su pulverización, lo cual no es siempre posible, por lo que tendrá que aplicarse a brocha.

F.- Almacenamiento al aire libre de piezas de acero sin pintar o mal pintadas antes de la terminación de la estructura.

Siempre que se acabe de descascarillar cualquier superficie de acero su tendencia es a oxidarse inmediatamente.

Esta tendencia es mayor cuando las condiciones de humedad y contaminación son muy normales como en las zonas industriales.

Aquí el principal origen de la contaminación esta en el humo de fabricas y chimeneas que contienen grandes cantidades de partículas nocivas y compuestos de azufre altamente corrosivos, en algunas zonas el agua de la lluvia es prácticamente una solución diluida de ácido sulfúrico.

R.- En tales condiciones la mejor protección que se consigue es con los primarios de "rojo de plomo" o ricos en zinc y proteger estos recubrimientos con capas de acabado elásticas.

F.- El desengrasado o decapado con acidos puede producir oxidación, especialmente con sustancias que contienen cloro libre o vapores decapantes.

Puesto que en ciertas condiciones los disolventes clorados pueden hidrolizarse y formar pequeñas cantidades de ácido clorhídrico, si no hay presentes inhibidores.

R.- Si el desengrasado se lleva a cabo con sustancias orgánicas y neutras, es necesario lavar, neutralizar y secar

cuidadosamente las piezas desengrasadas. Las piezas contaminadas con ácido tendrán que ser brocheadas con una lechada de cal, la cual primero se deja secar encima de la superficie y a continuación se cepilla o se lava con agua caliente.

F.- La influencia del agua de mar, de las condiciones marinas, el vapor de agua o los climas tropicales, son factores que propician que haya una mayor corrosión. Las superficies lisas de acero que normalmente no presentan grandes obstáculos para la adhesión de un buen recubrimiento, han sido las que mayor dificultad presentan cuando se desea aplicar una película protectora y duradera en condiciones húmedas o de niebla marina.

R.- Se debe aplicar un recubrimiento grueso, puesto que la resistencia de un recubrimiento a la humedad es su grosor, si este está completamente curado o endurecido.

Las pinturas bituminosas son recomendables pues dan mayores espesores, ya que se pueda aplicar un grosor de 4 mils. Por capa.

Si el ataque químico es muy intenso o predomina sobre un pintado normal a la intemperie, es aconsejable emplear pinturas basadas en caucho clorado o resina epoxi.

F.- Si la formación de óxido es de tipo punteado, puede ser debido a la pintura, especialmente el primario que contiene grafito, hierro micáceo, ocre o negro de humo, aunque los vapores amoniacales o anhídrido sulfuroso pueden ocasionar el óxido en forma de puntos, o que la película absorba sales alcalinas del medio ambiente.

R.- Además del ligante tiene mucha importancia la selección de

pigmentos mas adecuados.

Si se utiliza un primario inhibidor, es mas difícil que las superficies se oxiden, aparte de que evitan que se extienda el oxido.

Las pinturas de acabado deben contener varios pigmentos para dar una buena protección, pues se ha comprobado que algunos pigmentos si se emplean solos, pueden favorecer la formación de oxido.

F.- El contacto con las soluciones o gases en los talleres químicos, pueden producir una fuerte corrosión.

R.- Se debe seleccionar un primario anticorrosivo y emplear capas de acabado resistentes a los acidos o emplearse capas gruesas de caucho-clorado o asfálticas.

F.- El acero es una estructura heterogénea, por lo que siempre existen numerosas células para la acción electrolítica que tiende a destruir el efecto protector de las películas de pintura.

R.- Este tipo de corrosión solo se presenta con la presencia de humedad y para evitarla se debe aplicar recubrimientos completamente impermeables con espesores minimos de 10 mils.

F.- Oxidación producida por corrientes parásitas de las instalaciones eléctricas emitidas por los trabajos con energia eléctrica y conducidos a través del agua o del suelo.

R.- Debe estar adecuadamente aislada toda la maquinaria eléctrica y evitar todos los conductores eléctricos desnudos, además de que no hay recubrimientos eficientes que resistan a las corrientes parasitarias, por lo que el remedio mas eficaz es detectarlas y eliminarlas.

F.- El acero en contacto con un metal mas noble es peligroso debido a la formación de elementos electrolíticos, en si en contacto con cualquier metal, puesto que las partículas que quedan en la superficie del acero pueden disminuir su resistencia a la corrosión.

R.- Si es posible se deben evitar los puntos de contacto entre los distintos metales, o por lo menos protegerlos completamente con una capa de pintura.

F.- El oxido formado por el acero, se puede deber a los pigmentos que han sido mal molidos o porque solamente se han agitado en forma manual, las partículas de pigmentos mal dispersados permanecen parcialmente sin ser humectados, lo que permite a la humedad penetrar a través de la película hasta la superficie del acero.

R.- Este problema algunas veces es consecuencia de que se considera excesivo el precio que se precisa para el molido de una pintura a una finura suficiente, o bien que los pigmentos se agitan con el ligante por los propios consumidores.

La formación de oxido es mas rápida cuando se localizan películas de pigmentos mal humectados.

F.- Si las condiciones se prestan para que se forme la oxidación por debajo de las capas de pintura, o si se repintan superficies de acero que no estén completamente libres de oxido, el resultado será la formación de costras enteras de oxido, esto se debe tomar muy en cuenta para el caso de las pinturas que tienen que permanecer dentro del agua.

Las pinturas tienen una tendencia mayor a ampollarse en el agua dulce que en el agua de mar. una causa muy frecuente de la corrosión del acero que está enterrado, es una bacteria, la cual se encuentra especialmente en los suelos arcillosos, los cuales contienen sulfatos.

Se ha hallado corrosión bacteriana en el fondo de los tanques para el gas e incluso en el interior de las tuberías que transportan agua, si prevalece el estancamiento.

R.- Nunca debe permitirse que una película de pintura aplicada sobre una estructura de acero se deteriore hasta el punto que se forme óxido debajo de la misma.

Inmediatamente que la película presente signos de fallos u oxidación debajo de ella, se tiene que aplicar una nueva capa de pintura.

Si la estructura tiene que estar en condiciones muy húmedas, como la inmersión en agua o en un suelo húmedo, la tendencia es utilizar capas muy gruesas de pintura, especialmente de pinturas asfálticas que son baratas y altamente resistentes al agua y a la intemperie.

La corrosión bacteriana puede ser reducida mediante la incorporación en el recubrimiento de sustancias tóxicas para las bacterias.

F.- Los ligantes que contienen ácidos, pueden provocar la oxidación por debajo de la película de pintura.

R.- Los recubrimientos que contienen ácidos deben ir precedidos por una capa de aislante exenta de ácido, para evitar

el contacto directo con el acero.

F.- Los recubrimientos bituminosos de gran espesor, pueden cuartease y dejar al descubierto el acero.

R.- El cuarteamiento se produce por la contracción de la capa de acabado que desgarrá a la capa asfáltica, solo puede evitarse con certeza asegurándose de que la capa del acabado retendrá las características termoplásticas de la capa asfáltica que está debajo.

C a p í t u l o

Factores Condicionantes en Recubrimientos de Pinturas

La lucha contra la corrosión atmosférica reclama la mayor atención debido a la multitud de construcciones y equipos metálicos expuestos a la atmósfera.

Las estructuras son muy variadas: marcos de ventana, verjas, postes de alumbrado, maquinaria agrícola, tanques de almacenamiento, puentes, complejas instalaciones fabriles, etc.

Tratándose de atmósferas puras (inulas o insignificante contaminación) la magnitud de la corrosión no suele adquirir valores alarmantes, sin embargo, no sucede así al considerar las atmósferas contaminadas. La enorme expansión de la industria química, metalúrgica, termoeléctrica, etc., el constante crecimiento de las ciudades y el continuo avance de la civilización han contaminado notablemente la atmósfera, provocando el deterioro acelerado de los materiales y recubrimientos protectores. Por lo cual las técnicas de protección han alcanzado paralelamente un desarrollo muy notorio en los últimos tiempos, de modo que hoy en día se dispone de una amplísima gama de recubrimientos protectores.

Atendiendo exclusivamente a los recubrimientos de pintura (que es el método de más amplia utilización en la protección de todo tipo de estructuras expuestas a la atmósfera), junto a las pinturas tradicionales de aceite de linaza o alquídicas, han aparecido como nuevos productos las pinturas a base de resinas de clorocaucho, vinílicas, epoxicas, de poliuretano, etc. El número

se extienda aun mas al considerar los llamados productos mixtos, tales como las combinaciones alcidica-vinilica, alcidica-silicona, vinil-uretano, epoxiamida-vinilica, etc.

No existe una mejor pintura, si no una amplia gama de alternativas para cada situacion. Logicamente, de entre todas las posibilidades se intentara siempre seleccionar aquella que proporcione la mejor proteccion practica a menor costo a lo largo de toda la vida en servicio de la estructura.

Los requerimientos de proteccion son función de la agresividad atmosferica propia del lugar donde esta ubicada la estructura que se desea proteger, como se muestra en la tabla 7.1.

Tabla 7.1 Necesidades de proteccion en función de la agresividad ambiental.

Clase	corrosion	corrosion	Necesidades de proteccion
	generalizada	localizada	
	micras/año	micras/año	
I	> 250	> 125	No es apropiada la utilizacion de recubrimientos de pintura. Deben usarse otros materiales de construccion o sistemas de proteccion de mayor resistencia.

II	125-250	hasta 125	La protección metálica se consigue mediante sistemas de pintura de alta resistencia química.
III	125-250	insignificante	La protección se efectúa con sistemas convencionales de pintura.
IV	125	nula	Aun así por motivos estéticos no requiere protección por pintura.

El acero es sin duda el material más utilizado en este medio.

Más que la aplicación de una o varias pinturas, el proyecto anticorrosivo deberá contemplar el "sistema o esquema de pintado"

Tabla 7.3 Factores que intervienen en es sistema de pintado.

- 1.- Preparación de superficie
- 2.- Aplicación del recubrimiento
- 3.- Sistema de pintura
 - a.- Número de capas
 - b.- Pintura de imprimación
 - c.- Retoques
 - d.- Pintura intermedia
 - e.- " de acabado
 - f.- Alternativas (si las hubiera)
- 4.- Espesor total

Donde interviene no solo el tipo de espesor de las diferentes pinturas utilizadas, sino tambien la preparacion de la superficie del acero, modo y condiciones de aplicacion, etc., factores todos ellos de importancia decisiva para la vida del recubrimiento protector. El tipo de pintura se requiere para manifestar plenamente el cumplimiento de determinados requisitos vinculados a los restantes factores. Hsi, una pintura de la mejor calidad, pero mal aplicada, puede comportarse peor que otras menos sofisticadas y de calidad substancialmente inferior y puede sin embargo, superarlas con creces si se siguen exactamente las especificaciones de aplicacion.

Mas del 75% de los fallos prematuros de los recubrimientos de pintura se deben a una mala aplicacion, incumplimiento de las exigencias de limpieza superficial, deficiente o excesivo espesor de pelicula, aplicacion del recubrimiento en condiciones adversas, tiempo de secado o curado inadecuados, etc. Hsi pues, ademas de por el sistema de pintura en si, los resultados vendran condicionados por la correcta ejecucion de las distintas fases que componen el sistema de pintura, de tal modo que la inobservancia de una sola de aquellas impedira garantizar el resultado deseado.

Con frecuencia los recubrimientos especificados para hacer frente a las atmosferas mas agresivas de la industria fallan al cabo de pocos años. En el pasado este hecho se aceptaba como algo irremediable. Sin embargo, la tecnologia moderna ha hecho cambiar esta postura, pues los nuevos recubrimientos (epoxicos, uretanos,

poliester, ricos en cinc, etc.), pueden proporcionar una eficaz protección a largo plazo en medios severos. Por ejemplo, para un esquema de pintado para usos industriales que proporcione cerca de 10 años de excelente protección al acero, se estipula un chorreado previo del acero hasta metal blanco y rigidas inspecciones durante la aplicación de las capas de pintura, para reducir a un mínimo el número de defectos, áreas desnudas y puntos de espesor insuficiente.

No se quiere aquí dejar de señalar la gran transformación que actualmente se está produciendo en la industria de los recubrimientos de pintura, propiciada por consideraciones de tipo ecológico (anti-contaminación). Además, la situación monetaria internacional, los controles de precios, el deficit del petróleo y la carestía en ciertas materias primas han motivado la aparición en cadena de nuevas tecnologías y métodos utilizados en el pintado y mantenimiento de todo tipo de estructuras de acero.

Esto a obligado a que se haya puesto en marcha amplias investigaciones encaminadas a conocer el comportamiento de estos nuevos productos y procedimientos, de los que se espera una amplia utilización en años venideros.

7.1.- Constituyentes de las Pinturas y Mecanismos de Protección.

La aplicación de la pinturas es el método mas ampliamente utilizado para la protección contra la corrosión atmosférica de metales. Por cada 100 metros cuadrados de superficie metálica

expuesta a la corrosión, unos 85-90 están protegidos por revestimientos de pintura.

La gran cantidad de tipos de pintura con diferentes características y resistencias, sencilla aplicación a pie de obra, diversidad de colores, coste relativamente bajo y posibilidad de combinación con recubrimientos metálicos son, entre otras, las principales ventajas que inducen al empleo de este tipo de protección.

Aunque de formulación cada día más compleja, la pintura es, por lo general, una fase líquida, capaz de transformarse en película sólida, y un pigmento o mezcla de pigmentos dispersos en aquella.

La fase líquida la componen el aglutinante o resina y el disolvente, que da fluidez al producto y facilita su aplicación posterior. La resina, frecuentemente de naturaleza orgánica, decide en gran medida las propiedades básicas físicas y químicas de la pintura.

A pesar de que las pinturas vienen usándose durante siglos para la protección contra la corrosión metálica, su mecanismo de protección no está todavía completamente dilucidado. Con la salvedad de que cada pintura tiene su particular mecanismo de protección, se puede hablar de tres efectos fundamentales. Aunque con la aplicación de un recubrimiento de pintura se persiga aislar (efecto barrera) la superficie metálica del medio corrosivo, muy raras veces se consigue plenamente. Todas las películas orgánicas son permeables en cierto grado al oxígeno y agua, como se sabe elementos fundamentales para el progreso de la

corrosion metalica. Otras veces, en adición al efecto de barrera, con la capacidad protectora de las pinturas esta marcada significativamente por su acción inhibitoria: ciertas pinturas inhiben la penetración de las especies químicas promotoras de la corrosión o las desactivan, reaccionando con ellas en la vecindad de la superficie metálica. Este es el caso de las pinturas a base de pigmentos pasivadores, como los cromatos metálicos, que ayudan a mantener una película superficial protectora de óxido de acero.

También hay que recordar el efecto galvánico de otras pinturas. Puede esperarse protección galvánica del sustrato metálico, si el pigmento de la pintura es un metal (Zn, Al, etc.), menos noble que aquel y a su vez se asegura que las partículas de pigmento estén en contacto eléctrico unas con otras y con el metal que se desea proteger. A este mecanismo de protección obedecen las pinturas ricas en cinc de utilización cada vez mayor.

Por lo general, para la protección contra la corrosión atmosférica no se emplea una única pintura, sino una serie de ellas, cada una con distinta misión, que constituyen lo que se denomina el sistema o esquema de pintura.

Entre las funciones principales de la pintura de imprimación, capa de bajo espesor en íntimo contacto con la superficie metálica, son de destacar las de adherirse fuertemente al metal que se desea proteger, retardar su corrosión y suministrar una buena superficie de anclaje para la siguiente capa de pintura.

No es requisito indispensable el que posean una especial resistencia al ambiente donde va a quedar expuesto el sistema

anticorrosivo.

Las pinturas intermedias, frecuentemente con altas relaciones pigmento/vehículo, tampoco es necesario que sean particularmente resistentes al medio. Sus misiones primordiales son las de adherirse fuertemente a la capa de imprimación, suministrar una buena superficie para la unión con la pintura de acabado, tener la necesaria fluidez para actuar como agente de relleno en las irregularidades de la superficie imprimada, poseer un alto grado de opacidad y exhibir un color próximo al de la pintura de acabado.

La pintura de acabado debe tener como característica fundamental una excelente resistencia al ambiente en contacto con ella.

Desde un punto de vista decorativo se aconseja que sus propiedades de retención de color y brillo se conserven durante el mayor tiempo posible.

7.2.- Importancia del Diseño de la Estructura

Con frecuencia, los recubrimientos de pintura aplicados a estructuras expuestas a la atmósfera experimentan fallos prematuros, como consecuencia de una falta de premeditación de la instalación desde el punto de vista de la protección anticorrosiva. El responsable del diseño frecuentemente olvida que la estructura una vez montada tendrá que ser protegida con un sistema de pintura y que este exige un mantenimiento periódico a lo largo de la vida de la instalación. A la deteriorización de la pintura sigue la corrosión del metal subyacente, por lo que la

estabilidad mecánica de una estructura mal diseñada en lo referente a su conservación puede verse severamente comprometida a causa de la corrosión.

Se recomienda evitar:

- A).- Áreas de difícil acceso para su pintado.
- B).- Uniones bimetalicas.
- C).- Zonas de retención de agua, humedad, polvo, etc.
- D).- Bordes agudos, salpicaduras de soldadura, o sea zonas especialmente difíciles de proteger por la tendencia de la pintura a fluir, lo que las deja con un espesor de protección insuficiente.
- E).- Soldaduras por puntos, uniones remachadas o atornilladas.

La herrumbre, en las superficies pintadas, suele aparecer donde la lluvia, humedad condensada y partículas de polvo son retenidas. Para evitar estos puntos de corrosión, la superficie se debe diseñar de modo que sea tan lisa como sea posible, sin esquinas y bordes agudos, cavidades, resquicios, protuberancias, etc. Las uniones entre miembros estructurales se aconseja realizarlas por soldadura continua. En caso de no poderse evitar la existencia de resquicios, estos deben ser cubiertos por soldadura o por recubrimientos especiales. El diseño debe permitir la libre circulación del aire por toda la estructura; se aconseja la colocación de orificios de drenaje, superficies horizontales con ligero desnivel para facilitar el movimiento del agua, etc. La fig. 7.1 Expone algunos detalles de diseño.

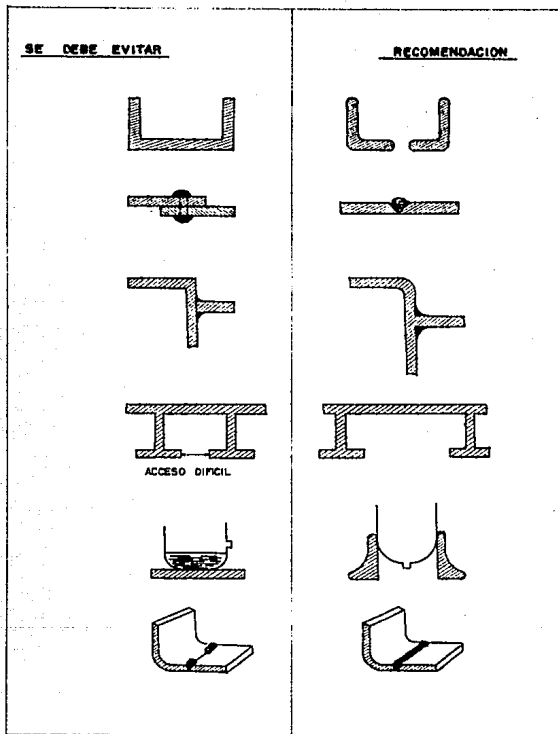


Fig. 7.1 Detalles de diseño que deben ser evitados y práctica recomendada.

7.3.- Efecto de la Base Metálica

Los productos de corrosión del sustrato metálico ejercen un papel importante en el deterioro progresivo del recubrimiento de pintura, el cual suele comportarse mejor sobre los soportes más inertes.

En la fabricación de estructuras pesadas, ni la composición ni el método de elaboración del acero suelen ser los factores determinantes del comportamiento del esquema de pintura. Sin embargo, las diferencias pueden ser marcadas cuando las pinturas se aplican a aceros especialmente resistentes a la corrosión o que han sido recubiertos con otros metales menos corrosibles que el acero. Por ejemplo, cuando se pinta el acero patinable, aunque la utilización de un acero patinable no parece compensar un recubrimiento de mala calidad.

Una cuestión interesante es la de las ventajas que puede reportar, desde el punto de vista de los costos de mantenimiento del recubrimiento protector, la utilización de sustratos metálicos menos corrosibles que el acero corriente. Supongamos que existe la posibilidad de construir un puente de acero ordinario o de acero de baja aleación del tipo patinable y que en ambos casos, el puente deba ir protegido por un sistema de pinturas. En el caso de que la pintura no sufra daño mecánico alguno y el repintado de conservación se realice en el momento oportuno, no parece lógico esperar grandes diferencias en el comportamiento del sistema de pinturas en función de la composición del acero base; más bien es previsible que a igual

preparación de superficie e idéntica composición, número y espesor de las capas de pintura, la duración del recubrimiento hasta el primer signo de fallo sea la misma.

Pero si la operación de mantenimiento no se realiza en el momento preciso entonces el deterioro de la pintura (y corrosión del acero base) tiene lugar más lentamente en el acero patinable que en el corriente. Aquí parece residir el punto de importancia práctica de la diferenciación en el comportamiento de los dos tipos de acero.

La resistencia a la corrosión del acero patinable actúa a modo de seguro contra una falta de vigilancia del acero pintado, pues mitiga el perjuicio que se sigue de demorar demasiado la operación de mantenimiento: en otras palabras, la utilización de un acero patinable extiende el periodo dentro del cual es posible el repintado sin necesidad de tener que eliminar totalmente, hasta metal desnudo, la pintura deteriorada.

La superioridad del acero patinable puede ser muy estimable en el caso de secciones delgadas en atmósferas industriales o marinas, o cuando el pintado de mantenimiento es difícil.

La Fig. 7.2.- Nos muestra la influencia de la calidad del acero en los costos de mantenimiento del recubrimiento de pintura, así como el intervalo de tiempo que puede transcurrir sin necesidad de repintado. Se consideran los casos en que la pintura se aplica a: un acero ordinario, un acero patinable y un acero recubierto previamente con cinc y aluminio. En el caso de realizar el mantenimiento en los primeros años, la preparación de superficie

consiste en el lavado de la pintura, que se conserva practicamente intacta, por lo que el costo de la operacion sera constante y similar para los tres materiales base indicados.

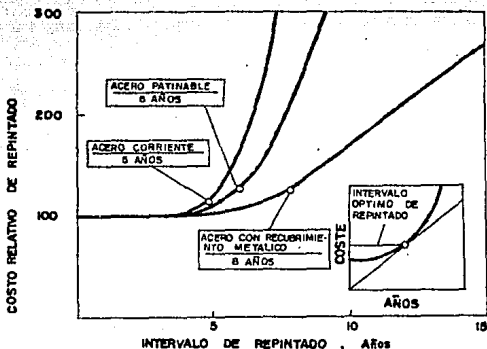


Fig. 7.2.- Efecto de la "calidad" de la superficie del acero en los costos de mantenimiento del recubrimiento de pintura.

Transcurridos tiempos mayores, tan pronto como la pintura empieza a fallar, el costo de la preparación de superficie se eleva primero con moderación y posteriormente, en una fase avanzada de destrucción del recubrimiento, de modo considerable, pues hay que quitar la pintura y limpiar el metal, siendo estas circunstancias cuando se acusaran los efectos de la calidad del acero. A causa del papel que desempeña la propagación de herrumbre por debajo del recubrimiento en la destrucción de este.

es evidente la ventaja de utilizar soportes metalicos menos corrosibles que el acero ordinario, como son el acero patinable, el acero galvanizado o metalizado con cinc o aluminio.

La importancia practica de emplear un acero resistente a la corrosión como garantia contra un mantenimiento defectuoso del recubrimiento es probablemente mayor de lo pudiera parecer a simple vista. Rara vez es uniforme el deterioro de una pintura en una estructura real. En los puntos donde se inicia el fallo, este puede adquirir un notable desarrollo antes de que se aplique la operacion de mantenimiento al conjunto de la superficie.

En cambio, con substratos metalicos resistentes a la corrosion, el ingeniero tiene una mayor libertad para escoger el tiempo del repintado, pues el daño en los puntos mas vulnerables se extiende con mucha mayor lentitud.

Las pendientes de las curvas de la Fig. 7.2., en los puntos de tangencia con las rectas que parten del origen, representan el costo minimo de mantenimiento por año de servicio de recubrimiento protector y las abscisas en tales puntos, los intervalos mas economicos de repintado, que en el ejemplo son: 5 años para el acero ordinario, 6 años para un acero patinable y 8 años para un acero con recubrimiento metalico. Asi se justifica el sustituir el acero corriente por otro material metalico mas resistente a la corrosión, mas si se trata de estructuras importantes. Los costos extra iniciales del material menos corrosible son compensados con las menores cargas de mantenimiento a lo largo de toda la vida de la estructura.

En un análisis de los costos de mantenimiento del acero estructural de una planta química, concluye que basta con prolongar ligeramente el intervalo de repintado para compensar el mayor gasto inicial. Por ejemplo, incrementar este intervalo de 2 a 4 años en una atmósfera muy agresiva puede justificar plenamente una metalización con cinc antes del pintado.

7.4.- La agresividad Atmosférica en el Comportamiento del Recubrimiento de Pintura.

La acción atmosférica, en sus variantes climáticas y de contaminación, ejercen un fuerte influjo en el comportamiento de los recubrimientos de pintura. Esta acción se desarrolla ya en el momento de pintar y en general mientras la pintura está bianda, no cesando posteriormente durante toda la vida del recubrimiento.

Los efectos del medio ambiente durante la aplicación y secado del esquema de pinturas depende de la naturaleza de estas. Por lo general, las pinturas no adquieren su plena capacidad protectora hasta transcurrido un cierto periodo de tiempo. Por lo que las primeras semanas de su exposición constituyen un periodo crítico: unas condiciones ambientales poco apropiadas al comienzo pueden acortar notablemente la vida del recubrimiento protector, aun cuando sean toleradas por el en su futura exposición atmosférica.

En el supuesto de que durante las primeras etapas no actúen factores adversos, que malogren ya desde entonces y de modo definitivo el recubrimiento, la vida del sistema de pintura estará condicionada por la agresividad ambiental específica del

lugar de exposición. Por ejemplo, mientras que en una determinada atmósfera es posible esperar 6 años para el primer tratamiento de repintado de una superficie pintada, en otra atmósfera, de mucha agresividad, dicho tratamiento debe aplicarse al cabo de tan solo 3 años.

Al igual que en la corrosión atmosférica de los metales desnudos, el comportamiento de los recubrimientos de pintura expuestos a la atmósfera depende del tiempo de humectación de la superficie pintada y de contaminación ambiental. No obstante, a diferencia del metal desnudo, la estabilidad de los sistemas de pintura puede estar afectada en grado importante por otros factores, tales como acción de la luz solar (en particular, radiación ultravioleta), ozono, acción microbiológica, desgaste por erosión, etc., cuyo papel no ha sido todavía totalmente dilucidado.

Desafortunadamente, no se dispone de muchos datos experimentales sobre el efecto de las variables climáticas en la vida de los recubrimientos de pintura aplicados al acero, a pesar de que algunos investigadores hayan intentado relacionar el comportamiento del acero pintado, después de una primera fase de exposición normal, con aquellas variables.

La relación entre severidad del medio, tipo de pintura y duración del recubrimiento protector nos la ofrece la Tabla 7.3. Que hace referencia al comportamiento de los sistemas de pintura epoxi y vinílicos en tres estaciones de exposición atmosférica.

Tabla 7.3 .- Comportamiento de sistemas de pintura epoxi y vinílicos en diferentes ciudades de los EE.UU.

	Kwajalein	Kaneohe	Port Hueneme			
	Islas Marshal	Hawai	California			
Tipo de atmósfera	marina-tropical	marina-trop.	Marina			
Precipitación anual	2670 mm	1090 mm	254			
HR valores extremos	78-83	73-76	65-83			
vida del sistema de pintura						
(años hasta el fallo del sistema de pintura)						
Superficie rayada	si	no	si	no	si	no
	4.0	6.9	6.0	(14.5)	(14.5)	(14.5)
	5.0	8.0	8.0	8.5	(14.4)	(13.5)
Sistemas epoxi	3.0	5.5	4.0	8.0	8.5	(11.0)
	4.0	5.5	3.5	6.0	6.0	(11.5)
	(4.5)	(4.5)	(6.0)	(6.0)	(11.0)	(11.0)
	3.5	4.5	6.0	9.0	(11.0)	(11.0)
	1.5	8.0	1.0	(8.0)	2.5	(8.0)
	4.0	8.0	6.0	8.0	(15.0)	(14.5)
	3.5	6.0	8.5	12.0	(14.5)	(14.5)
Sistemas vinílicos	3.5	8.0	8.5	12.0	(14.5)	(14.5)
	2.5	9.0	9.0	(9.0)	(11.0)	(9.0)
	2.0	7.0	5.0	8.0	(8.0)	(9.0)

Los paréntesis indican que el recubrimiento estaba intacto en la última revisión que se hizo del estado de pintura.

Dicha tabla muestra los años transcurridos en cada caso hasta el fallo del recubrimiento protector. De acuerdo con la tabla, las pinturas epoxi duraron cerca de 1.5 A 2 veces más en Kaneohe que en Kwajalein y cerca 4 a 5 veces más en Port Hueneme que en Kwajalein. En el caso de que la superficie pintada se hubiera rayado hasta la exposición de metal desnudo (con lo que se consigue acelerar el deterioro de la pintura) los periodos más largos de protección se obtuvieron igualmente en Kaneohe y Port Hueneme, aunque se acortaron respecto a los recubrimientos sin rayar. Con referencia al comportamiento de los sistemas vinílicos, en Kaneohe el periodo de protección del recubrimiento rayado fue doble o triple que en Kwajalein.

La ausencia de la raya prolongo sensiblemente la duración de la protección en las atmosferas más agresivas. En Port Hueneme aquel periodo fue siempre muy largo.

7.5.- Efecto de la Contaminación

La contaminación además de ejercer un efecto perjudicial en la formación de la película protectora de pintura (mayores tiempos de secado y curado, recubrimientos blandos y frágiles, etc.), repercute en la estabilidad y apariencia.

Las principales impurezas gaseosas encontradas en la atmósfera y nocivas para las pinturas son el anhídrido sulfuroso, amoníaco, y los ácidos clorhídrico y sulfhídrico. Los contaminantes líquidos incluyen materiales a base de alquitran y grasientos que proceden de la combustión del petróleo, así como gotas salinas

provenientes del agua de mar. Entre los contaminantes sólidos están los polvos inorgánicos, partículas de carbono, cenizas y materiales fibrosos orgánicos.

El anhídrido sulfuroso y las partículas de diversa naturaleza depositadas sobre la superficie pintada ejercen el papel más importante en la deterioración química de las pinturas. En ocasiones no afectan al poder protector del recubrimiento pero sí su apariencia.

Aparte del efecto directo de la atmósfera contaminada sobre el sistema de pinturas, la aceleración de corrosión del metal base en las zonas donde el recubrimiento ha sido dañado provoca una más rápida deterioración del resto del recubrimiento. La tabla 7.4., nos muestra como se acorta la vida de varios sistemas de pintura al pasar tan solo de una atmósfera rural a otra urbana.

Tabla 7.4.- Efecto del grado de contaminación, principalmente por anhídrido, en la duración del sistema de pintura.

Tipo de atmósfera	Sistema de pintura	Duración de recubrimiento
rural (Suecia)	alcídico/PR-2	10 años
urbana (Suecia)	"	8 "
rural (EE.UU.)	Sist. Alta calidad	12 "
urbana (EE.UU.)	"	8 "

Últimamente se están realizando estudios en los que se demuestra el efecto contrario que ejercen el anhídrido sulfuroso y ozono en la duración de los recubrimientos orgánicos, como el oscurecimiento de ciertas pinturas por los vapores de ácido sulfhídrico, la acción decolorante que sobre los recubrimientos orgánicos ejercen los aerosoles ácidos producidos por el anhídrido sulfuroso de la atmósfera, así como el picado y ensuciamiento de los acabados de automóviles a causa de las partículas de hierro o polvos alcalinos en suspensión en la atmósfera.

Se realizó un estudio-encuesta en los alrededores de Washington D.C., para conocer la incidencia de la contaminación por partículas de la atmósfera en la frecuencia de mantenimiento del recubrimiento de pintura. La Fig. 7.3., muestra la relación encontrada entre ambos parámetros.

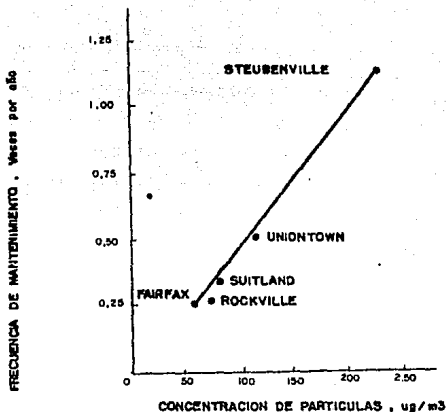


Fig. 7.3.- Frecuencia de mantenimiento del sistema de pintura en diversas ciudades norteamericanas en función de la contaminación por sólidos (partículas) de la atmósfera.

Mientras que en Steubenville (cuya contaminación atmosférica por partículas fue de 235 micro-gramos/metro cúbico) era anual, en Fairfax (con una concentración de 60 micro-gramos/metro cúbico) se hacía cada cuatro años.

7.6.- Selección de Esquemas Protectores

La vida de un recubrimiento protector rara vez es la misma en todos los puntos de la estructura, entre otras razones porque las condiciones de agresividad tampoco lo son. Hay diferencia entre

el lado soleado y el sombreado, entre las partes expuestas al viento predominante y las resguardadas de este, o entre las superficies de las que el agua escurre y se evapora libremente así como de las zonas de forma complicada, en las que es probable una acumulación de humedad proveniente de la lluvia y condensación de rocío. Si se prevén diferencias marcadas entre unos y otros puntos de la estructura deberán tomarse en cuenta a la hora del proyecto, especificando un mayor grado de protección para los lugares más expuestos.

La decisión final sobre que sistema escoger de entre varios indicados se basará en factores técnicos y de conveniencia, en función y asequibilidad de la estructura.

Es evidente que este enfoque no aporta más que una solución aproximada al problema de definir cual debe de ser la protección óptima para una estructura metálica.

Sería muy provechoso conocer la esperanza de vida y frecuencia de mantenimiento de los distintos esquemas protectores frente a las múltiples condiciones ambientales posibles en la práctica. Pues debe existir gran cantidad de datos dispersos sobre la materia y que quizás no han sido divulgados.

El medio ambiente se clasifica a menudo de acuerdo con las condiciones predominantes en el lugar de exposición, estimadas un tanto subjetivamente. Sin embargo, la realidad es que no existe un límite marcado entre, por ejemplo, una atmósfera marina y una industrial, pues las atmósferas se fusionan unas con otras o se combinan (plantas industriales junto a la costa). Los niveles de

contaminación y datos meteorológicos del lugar de exposición ofrecen sin duda alguna, la mejor guía para clasificación del medio. También son valiosos a este fin los datos de corrosión de determinados metales, pues nos ofrece un índice de agresividad de la atmósfera.

A veces se colocan testigos metálicos de corrosión en sitios estratégicos, como una planta industrial, para determinar las áreas de mayor corrosión, donde deberán emplearse los recubrimientos de mayor resistencia. Como apuntamos en la Tabla 7.1., un caso práctico en que el tipo de protección a aplicar se decidía únicamente en función de la velocidad de corrosión del acero dulce.

Atendiendo a las velocidades de corrosión del acero y del cinc simultáneamente; se divide a las condiciones de exposición atmosférica en cuatro tipos.

Tipo A (altamente corrosivas). Están presentes en la atmósfera humos químicos, nieblas y otros contaminantes químicos en combinación con un alto nivel de humedad y agua condensada, la velocidad media de corrosión del acero al carbono supera las 150 y el cinc las 25 micras/año.

Tipo C (corrosivas). Se caracteriza por humos moderadamente agresivos, nieblas y polvo, en combinación con una alta humedad y agua condensada, de modo que la velocidad de corrosión de acero al carbono queda comprendida entre 75 y 150 micras/año y menor a 25 la del cinc.

Tipo M (moderadas). La exposición, generalmente en el exterior,

race frente a una ligera o moderada concentración de humos químicos en presencia de humedad o de agua condensada. La velocidad de corrosión del acero al carbono es menor de 75 micras/año. Ligeras o moderadas concentraciones de humos químicos en el interior de locales sin una excesiva humedad pueden producir condiciones similares.

Tipo P (protectoras). La exposición, generalmente en el interior, se realiza en atmósferas con niveles normales de humedad, libres de contaminantes químicos que puedan atacar la pintura o el acero.

Se recomienda el chorreado de metal hasta el grado "casi blanco" en el caso de superficies que tengan que quedar expuestas a condiciones del tipo A y C. Algunas veces se recurre a este mismo tratamiento cuando la exposición es del tipo M, si bien se puede substituirlo por un chorreado ligero o una limpieza a mano. Métodos estos dos últimos que se aplican al acero en exposiciones de tipo P.

La clasificación de ambientes sigue teniendo en cuenta al especificar los recubrimientos protectores.

Bajo condiciones de tipo A, C y M se utilizan imprimaciones ricas en cinc, mientras que en exposiciones del tipo P las imprimaciones y pinturas obedecen a razones estéticas.

La capa de acabado es mas gruesa en la exposición del tipo A. Las superficies galvanizadas se recubren con pinturas en las exposiciones tipo A y se dejan desnudas en las de tipo C y M.

Otro intento de clasificación de las atmósferas en vista de los

requerimientos de pintura necesarios para una eficaz protección del acero se muestra en la tabla 7.5

Tabla 7.5 Clasificación de las atmosferas en función de los requerimientos de protección.

Zona	Condiciones de exposición	Sist. preferido de pintura
1 A	Interiores, normalmente secos.	Una capa de pintura de imprimación de taller se secado rápido sobre acero cepillado.
1 B	Exteriores normalmente secos	2 capas de imprimación a base de aceite sobre acero cepillado seguido de 1 o 2 capas de acabado de tipo alquídico, larga en aceite, espesor mínimo 100 micras.
2 A	Zonas permanentemente mojadas por agua dulce.	Acero chorreado hasta metal "casi blanco" y 4 capas de sistema vinílico, espesor mínimo de 115 micras.

2 B	Zonas frecuentemente mojadas por aguas salinas.	Acero enroscado hasta metal "casi blanco". Imprimación rica en cinc y capa de acabado apropiados.
3	Exposiciones químicas a ácidos alcalis. oxidantes, solventes, etc.	Sistema análogo al utilizado en 2 B con la salvedad de que la capa de acabado debe ser especialmente seleccionada para proteger todo el sistema contra los agentes químicos.

7.7.- El Pintado de Superficies de Acero Imperfectamente

Limpias

Las planchas de acero obtenidas por laminación en caliente presentan en su superficie una gruesa capa de óxido (cascarilla de laminación o calamina, como vulgarmente se le denomina).

Su grosor, composición y tenacidad dependen, entre otras variables, del espesor de la plancha de acero y velocidad de enfriamiento y en menor extensión de la composición del acero base. Esta capa de laminación se compone a su vez de diferentes capas de óxidos, Fig.7.4., por debajo de la capa más externa se encuentra otra (magnetita), que constituye en volumen el 75% del total de la capa de laminación.

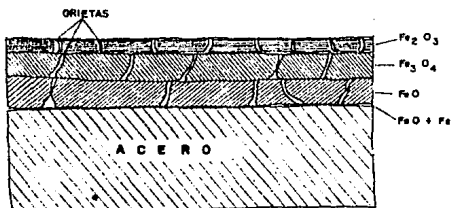


Fig. 7.4.- Configuración y composición aproximada de las capas de óxido que componen la cascarrilla de laminación.

En atmósferas poco agresivas la capa compacta de laminación puede suministrar por sí sola, una buena protección para el acero, o constituir, una vez limpia y desengrasada una buena base para recubrimiento de pintura. Pinturas aplicadas sobre calamina intacta han dado en ocasiones un resultado excelente, incluso en ambientes severos. En presencia de oxígeno y humedad de los óxidos de las capas inferiores (FeO , magnetita) se oxidan a formas más estables e hidratadas y con el tiempo la capa de laminación quebradiza tiende a desprenderse de manera irregular dejando zonas de acero al descubierto. El resultado final es una superficie heterogénea, compuesta de cascarrilla intacta, desquebrajada y parcialmente desorendida, herrumbre con humedad absorbida, polvo, suciedad en general, contaminantes salinos, etc., De efectos dañinos para cualquier sistema de pintura aplicado sobre ella.

Las superficies de acero con restos de cascarrilla adherida y

herrumbre resultan muy difíciles de proteger, puesto que la cascarilla agrietada o parcialmente desprendida se despegaba del acero en un tiempo corto (a veces tan solo dos o tres meses), arrastrando consigo cualquier capa de pintura adherida. En estos casos suele ser aconsejable la exposición a la intemperie (meteorización) de la superficie del acero sin pintar durante cierto tiempo, hasta que se desprenda la totalidad de la cascarilla.

Para la preparación de la superficie de acero provista de herrumbre y cascarilla existen, diversas alternativas. Desde el simple cepillado con cepillos de alambre o neumáticos a tratamientos más sofisticados, que dejan la superficie con un mejor grado de limpieza.

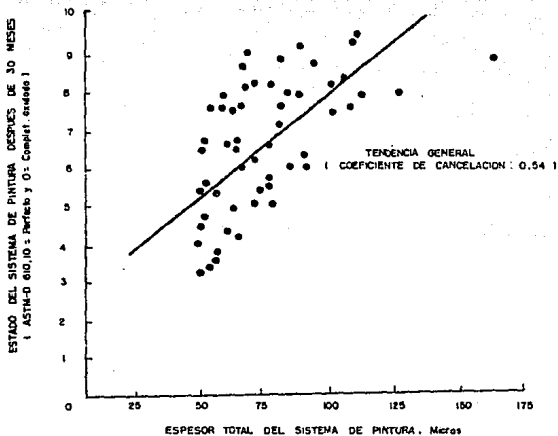
El pintado de una superficie incompletamente limpia plantea un delicado problema al que desde hace muchos años se le viene prestando una notoria atención. El problema reviste menos gravedad cuando se trata de aplicar pinturas convencionales tipo aceite. Hace algunos años se comentaba que los sistemas de pinturas a base de aceite de linaza eran los que mejor resultado producían. El gran poder humectante de este tipo de pinturas hacen que penetren entre el óxido, edificando la película en íntimo contacto con la superficie del acero.

• Cuando no se disponía de otros tipos de pinturas que las basadas en aceite, el pintado sobre acero cepillado, donde la herrumbre se elimina incompletamente, no suponía un gran problema. Hoy con la aparición y amplia utilización de pinturas sintéticas, que no

mojan adecuadamente y que exhiben, por tanto, una adherencia deficiente a la superficie metálica, al pintado sobre acero cepillado a disminuido ostensiblemente.

Se llega a la conclusión que las pinturas a base de aceite de linaza son las que producen los resultados mas sobresalientes.

Otras conclusiones importantes son la importancia del espesor de película en el grado de protección (Fig. 7.5), la gran influencia del tipo de imprimación y la necesidad de una pronta aplicación de la capa de acabado.



La situación frecuente en la práctica de tener que pintar sobre acero mas o menos oxidado ha originado desde hace tiempo, la búsqueda de métodos compatibles con este estado superficial y con la duración requerida del sistema de pintura. En este particular cabe destacar aquellos productos que se aplican a las superficies oxidadas con el fin de estabilizar la herrumbre. Aunque por ahora se este lejos de conseguir una solución satisfactoria, con los modernos compuestos convertidores o transformadores de herrumbre, principalmente a base de ácidos tánico y fosforico, se persigue convertir los hidroxidos de la herrumbre en magnetita estable, creando así una capa protectora y pasivamente que ofrezca una buena base para la pintura que posteriormente a de aplicarse.

Junto a la herrumbre es posible la existencia de compuestos salinos procedentes de los contaminantes de la atmósfera (principalmente anhídrido sulfuroso y cloruro sodico). Se comprobó un peculiar comportamiento de los recubrimientos de pintura aplicados al acero preoxidado en la atmósfera, cuando esta preoxidación se verifico en los meses de invierno en que es mayor la contaminación sulfurosa. Al mismo tiempo detecta sales solubles, identificadas como sulfato ferroso, en la herrumbre.

La formación acelerada de herrumbre en la intercara metal/pintura, con el consiguiente ampolamiento, puede ser la causa de la rapida destrucción de este por efecto de los contaminantes salinos.

Es peligroso que la estructura de acero permanezca expuesta durante cierto tiempo a la acción de una atmósfera contaminada

antes de ser aplicado el esquema protector de pinturas. La localización de las especies estimuladoras de la corrosión en el fondo de las pequeñas cavidades que resultan del ataque atmosférico del acero hace que, aun por métodos sofisticados de preparación de superficies, se consiga eliminar totalmente.

Las soluciones para eliminar este problema están encaminadas a la neutralización de la actividad de los estimuladores de corrosión. Por ejemplo, mediante el uso de productos químicos que reaccionan con aquellos, convirtiéndolos en compuestos insolubles. Se puede reducir la concentración de sulfato de la herrumbre simplemente poniendo en contacto el acero oxidado con agua durante un cierto tiempo. También se obtienen buenos resultados aplicando al acero oxidado y contaminado una solución de LiOH en vehículo orgánico (alcoholes). Otra solución es la aplicación de pinturas pigmentadas con cinc metálico conteniendo fosfatos de calcio y bario.

Lo ideal sería proceder al pintado del acero conforme sale este de los trenes de laminación, sin darle la posibilidad de que se oxide en una atmósfera contaminada. En una investigación se demostró lo superfluo que resulta aplicar un grado de preparación superior al nivel "comercial" a acero recién fabricado. Sin embargo tratándose de un acero que ha estado expuesto a la atmósfera tan solo durante una semana, el mejor comportamiento de la pintura se obtiene una vez alcanzado el grado de preparación llamado "a metal casi blanco" exposiciones de un mes reducen marcadamente el comportamiento de la pintura, incluso con el

grado mas alto de preparacion de superficie.

7.7.1.- Efecto de la Preparacion de Superficie

Es opinion generalizada que una adecuada preparacion superficial contribuye mas que ningun otro factor al exito de los sistemas protectores de pintura. Esto es particularmente cierto tratandose de esquemas de pintura de alta calidad y resistencia quimica, cuyo requisito imprescindible es la aplicacion sobre substratos limpios y adecuadamente preparados. De ahi la idea comun de que mejor comportamiento ofrece un recubrimiento de pintura de baja resistencia (sistema convencional) que uno de alta calidad si se aplican a superficies deficientemente preparadas. De todos modos cualquiera que sea la pintura empleada, raramente se conseguira una proteccion duradera si se aplica sobre un acero con herrumbre.

Asi pues la naturaleza de la intercara metal/pintura determinan en gran medida el comportamiento del metal pintado y el rendimiento del recubrimiento protector. Sera peligroso, por tanto, hacer ahorros a costa de la proteccion superficial, lo que constituye una tentacion, teniendo en cuenta que el estado de la superficie metalica queda oculto debajo del recubrimiento de pintura. La importancia de la preparacion de superficie es todavia mayor si se piensa que la mitad o quizas las dos terceras partes del costo de un sistema normal de pintura se invierte en dicho tratamiento.

En realidad, la preparacion superficial tiene la doble finalidad

de limpiar la superficie de materias extrañas y de darle cierta rugosidad. La pintura debe adherirse perfectamente al sustrato metálico, lo que no es posible si este está impurificado con polvo, grasa, etc., y sobre todo, por óxidos de distinta naturaleza (cascarilla, herrumbre, etc.). Por otro lado la rugosidad aumenta el área real de contacto pintura/metal y por tanto, la adherencia específica.

Un método de preparar la superficie del acero para el pintado es exponerla a la intemperie hasta que la cascarilla original se suelta parcialmente, acabando de desprenderla con raspado vigoroso con cepillo de alambres. Problemas inherentes a este método son las dificultades de garantizar de manera permanente un elevado estándar de trabajo y de controlar exactamente el tiempo óptimo de envejecimiento a la intemperie para el total desprendimiento de la cascarilla de laminación. Otro método clásico, la limpieza a la llama, da buenos resultados sobre todo después de que el acero ha estado expuesto cierto tiempo a la intemperie. La calidad de la limpieza obtenida suele ser intermedia entre la del chorreado (o decapado) y del cepillado de una superficie envejecida: una gran ventaja es que deja la superficie seca, lo que es importante en aras de conseguir una buena adherencia entre la pintura y el soporte metálico.

El chorreado y el decapado son los procedimientos más efectivos y seguros para suprimir la cascarilla y herrumbre de la superficie metálica, realizándose mejor la operación antes de que el acero se haya corroído apreciablemente. En realidad, con

cualquiera de los métodos de preparación superficial las dificultades y el costo de la operación aumentan conforme se deja progresar la formación de herrumbre mas allá del punto necesario para aflojar o soltar la cascarilla.

La calidad de chorreado es parte integral de toda especificación de esquema de pintado. Sin embargo bajo ciertas circunstancias una limpieza por chorreado de segunda calidad puede dar tan buenos resultados como uno de primera calidad. Realmente, una concienzuda eliminación de la herrumbre y cascarilla (chorreado a metal "casi blanco" o mas perfecta todavia, a "metal blanco") resulta, a veces, innecesaria, impracticable y antieconomica, puede ser suficiente un chorreado comercial o un cepillado mecánico o limpieza a mano, si el metal se expone a medios poco agresivos. Los dos últimos métodos mencionados se toleran especialmente bien cuando el recubrimiento se formula con el proposito de que moje la cascarilla o herrumbre.

En tanto tenga aceptación el método imperfecto de preparar el acero de las construcciones metálicas por medio de un cepillado, la mejor garantía en contra de un fracaso anticipado del recubrimiento protector puede ser la utilización de pinturas de aceite de linaza. El cuadro cambia por completo con el decapado o chorreado de la superficie metálica pues, entonces, las ventajas estan del lado de las pinturas de vehiculo sintético, que tienen ademas, la virtud de secarse mas rapidamente que el aceite de linaza, con lo que se minimizan los problemas derivados de la vulnerabilidad de las películas blandas de pintura al

ensuciamiento y contaminación y se consigue una mas pronta aplicación del esquema completo.

Puesto que el tratamiento de la superficie metálica es costoso su precio se incrementa de sobremanera con la perfección del acabado exigido. la tendencia es restringir la calidad de este justo al grado necesario. Muchos de los que antes insistían en la necesidad de chorrear a metal blanco han visto que es posible moderar sus especificaciones, rebajando la calidad del chorreado exigido al grado casi blanco e incluso comercial.

Por consiguiente, a pesar de que, principalmente por motivos economicos, parte del acero de construcción sigue preparándose mediante cepillado de su superficie envejecida a la intemperie, es muy cuestionable si se obtiene una verdadera economia, ya que la necesidad de tener que repintar mas frecuentemente, como resultado de la imperfecta preparación superficial, en conjunción con el alto precio de la mano de obra, produce unos gastos que pronto sobre pasan el costo extra que se hubiera pagado por una limpieza inicial mas profunda.

Ya que mas del 25% del acero empleado en construcción se chorrea y esta operación tiende a aplicarse cada vez mas. En cuanto a la utilización de los distintos metodos de limpieza, la encuesta arroja las siguientes cifras:

Método de limpieza	% en peso de acero tratado
chorreado	25-30
limpieza manual o mecánica	25-30
decapado	15-20
otros	0-5
ninguno	20-30

La preparación superficial depende del estado de partida de la superficie metálica a recubrir, del tipo de atmósfera presente en el lugar de emplazamiento de la estructura, así como de la pintura que se vaya a aplicar. Frente a medios de elevada agresividad es aconsejable la más perfecta preparación, que elimine la cascarilla y herrumbre.

Aun frente a medios menos agresivos, una perfecta preparación superficial puede ser lo más económico a largo plazo, siendo particularmente importante con los nuevos recubrimientos sintéticos que mojan con dificultad la superficie metálica.

La capacidad del procedimiento de limpieza para dejar el metal en condiciones adecuadas para el pintado depende, de la propia historia de la superficie metálica, en especial, del tiempo que haya estado abandonada a la atmósfera antes de su preparación y pintado. La Fig. 7.6., basada en experiencias muestra esta influencia.

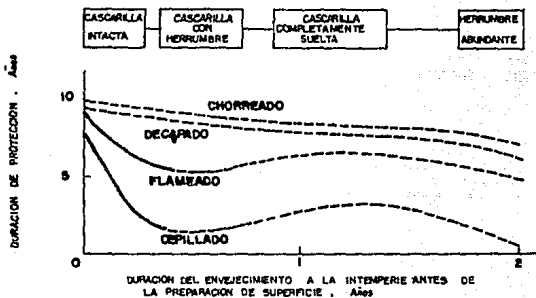


Fig. 7.b.- Efecto de la preparación superficial del acero en el comportamiento de la pintura.

Ella refleja así mismo, la repercusión del tratamiento de superficie sobre la duración de la protección dada por un buen sistema de cuatro capas de pintura en atmósfera industrial la Tabla 7.6 Reproduce otros resultados obtenidos con recubrimientos de pinturas aplicados de conformidad con las especificaciones.

Tabla 7.6.- Duración del recubrimiento de pintura aplicado
a superficies de distinta preparación

Método de preparación de la superficie	Durabilidad (años) del esquema de pintura	
	Sist. de 2 capas	Sist. de 4 capas
Ninguno (cascarilla de laminación intacta)	3.0	8.2
Envejecimiento a la intemperie y cepillado	1.2	2.3
Decapado	4.6	9.5
Chorroado	6.3	10.4
	Sist. de pinturas con 170 micras de espesor	
Ninguna (cascarilla de laminación intacta)	3	
Pintura transformadora de óxido	0.5	
Descascarillado a mano	4	
Chorroado	9	

Nuevamente se pone de relieve la considerable influencia del tratamiento de superficie sobre la duración del recubrimiento protector, ya que, la acción protectora del recubrimiento sobre el acero decapado o chorroado abarca un periodo de tiempo mucho mayor que sobre el acero preparado por envejecimiento a la

intemperie. Fig 7.7.

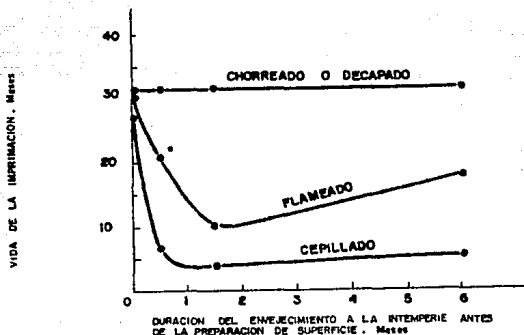


Fig. 7 7.- Influencia del método de preparación de una superficie de acero (originalmente con cascarrilla de laminación), que ha estado expuesta a la atmósfera durante tiempos variables, en el comportamiento de la imprimación aplicada.

Puesto que la superficie metálica recién preparada es particularmente propensa a la formación de herrumbre y teniendo presente la importancia del factor limpieza, es lógico que deba impedirse cualquier nueva formación de óxido sobre ella, lo cual se consigue aplicándole lo más prontamente posible la primera capa de pintura de imprimación. El intervalo entre la limpieza de la superficie metálica y su protección tiene que ser en mínimo posible, especialmente si hay peligro de condensación de humedad.

este intervalo no debe superar nunca las cuatro horas. De esta manera se asegura una óptima adherencia y duración del recubrimiento. Por ejemplo, 7 días de exposición a la intemperie de un acero decapado pueden reducir a la mitad (de 66 a 27 meses) la vida del recubrimiento protector aplicado.

Tan cierto es que la selección del sistema de protección por pintura tiene que hacerse en función del tipo de limpieza escopico, como que el método de preparación superficial viene impuesto por la clase de pintura seleccionada. Así mientras que una superficie chorreada hasta metal blanco se le puede aplicar un esquema vinílico, en el caso de una cepillada lo mejor será recurrir a un producto de alta capacidad de mojado.

El factor más importante de todos los que afectan la vida de un sistema de pintura que emplea una imprimación epoxica rica en cinc es precisamente la preparación superficial. De los tres requisitos básicos: adecuada preparación superficial, espesor conveniente y calidad de la pintura, este último adquiere relieve solamente después de satisfacerse los dos primeros. Las pinturas que contienen grupos hidroxilos en sus moléculas (las pasadas en aceite de linaza tratado) mojan las superficies que contienen restos de escoria y herrumbre, por lo que basta con ellas generalmente una limpieza manual. Los sistemas alcidos y fenolicos son algo menos tolerantes en cuanto a la preparación superficial, exigiendo a menudo un decapado o chorreado al menos de grado "comercial",

Más riguroso es todavía la preparación de las superficies

destinadas a recibir pinturas vinilicas, que requieren habitualmente un chorreado de meta: "casi blanco".

Las pinturas epoxi y organicas ricas en cinc suelen aplicarse al acero chorreado hasta el grado "comercial" mientras que las inorganicas ricas en cinc necesitan por lo comun un chorreado hasta grado "casi blanco", o incluso "blanco". En cualquier caso convendra seguir al pie de la letra las recomendaciones del fabricante en vista de que las tolerancias de cierto tipos de pintura varian ampliamente.

Que los efectos de la preparacion superficial dependen del tipo de recubrimiento se comprueba, en una investigacion realizada en los EE.UU. con una gran variedad de pinturas aplicadas a las vigas de un puente de ferrocarril. Mientras que la pintura de base aceite dio casi el mismo comportamiento sobre las superficies chorreadas que las cepilladas (tabla 7.7), para cualquier otro sistema de pinturas el chorreado aumento notablemente la vida de recubrimiento, por lo menos dos o tres veces.

Tabla 7.7.- Efecto de la preparación de superficie en el comportamiento de pinturas al cabo de 7 años de exposición.

Sistema de pintura	Chorreado	Cepillado
de base aceite	8-9 años	9 años
de base cemento	8-9 "	9 "
epoxi-vinilica	6-7 "	3 "
ricas en cinc	10 "	3 "
epoxi-ester	9 "	0 "
aluminio/bituminosa	9 "	4 "
silicato inorgánico de cinc	10 "	6 "
caucho clorado	10 "	0 "
promedio	8.8 "	4.3 "

La Tabla 7.8. correspondiente a un trabajo en el que se ensayaron durante 12 años una serie de pinturas de distinta formulación, ofrece una muy buena información sobre el efecto de la preparación superficial y tipo de pintura en la duración del revestimiento. Tiempo aproximado para el repintado:

Exposición Semirrural.

Vehículo	Chorreado	Limpeza a mano de cascarilla herrumbre
aceites de linaza	12 años	11 11
aceite de linaza/alcidica	12 "	11 11
epoxi-ester	12 "	11 11

alcídicas	12 *	6	8
fenólica/alcídica	12 *	6	7

Exposición Marina

vehículo	Chorreado	Limpieza a mano de	
		cascarilla	herrumbre
aceites de linaza	7 años	5	5
aceite de linaza/alcídica	9 *	5	1
epoxi-éster	7 *	4	4
alcídica	7 *	4	3
fenol/fenol/alcídica	7 *	2	4
promedio	7 *	4	3

Otros trabajos han mostrado las ventajas del decapado frente a métodos imperfectos de limpieza (tabla 7.9)

esquema de pintura	Durabilidad (años) del esquema de pintura		
	acero envejecido a la intemperie y cepillado a mano	acero decapado a la intemperie	acero envejecido a la intemperie flameado y cepillado a mano
bituminoso (negro)	2.6	13.1	2.2
Cromato de plomo	2.7	14.5	7.5
Mineral de hierro	0.6	15.0	0.6
Plomo rojo	1.1	13.1	5.9
Oxido rojo	1.8	8.1	2.8
Oxido rojo y			

Cromato de cinc	3.7	9.6	5.3
Plomo blanco	2.2	7.0	1.7
Media	2.1	11.5	3.7

En general, puede decirse que con un chorreado de buena calidad, o decapado, la duración de un recubrimiento protector moderno (pinturas ricas en cinc o de caucho clorado) puede ser de 7 a 10 años sin necesidad de mantenimiento, aun frente a atmósferas agresivas; en cambio la vida útil de esas mismas pinturas (que están formuladas para rendir los mejores servicios) apenas llega a la mitad, o tal vez a la quinta parte de antes, sobre superficies cepilladas a mano.

El comportamiento del recubrimiento de pinturas sobre acero chorreado o decapado es mejor que sobre las superficies cepilladas a mano en casi todas las atmósferas ensayadas, siendo la diferencia más marcada al tratarse de pinturas de alta resistencia a la intemperie, rápido secado, con baja capacidad de mojado de metal, expuestas en ambientes muy agresivos, como atmósferas químicas o marinas severas en zonas de alta humedad. La vida del recubrimiento se incrementa notablemente con la calidad de la preparación superficial, en cuyo caso los costos adicionales del tratamiento se hallan plenamente justificados.

Otro factor de extraordinaria influencia en la protección de un sistema de pintura es la presencia de restos salinos (sulfatos ferrosos, bióxido de azufre y los cloruros depositados en una atmósfera marina) entre el óxido formado sobre un acero

abandonado a la acción de una atmósfera contaminada. Es sabido que estas sustancias aceleran la formación de nueva herrumbre, el progreso de esta reacción en la intercara metal/pintura es extraordinariamente nocivo para la estabilidad del recubrimiento, ya que el óxido actúa a modo de cuña al ser su volumen cuatro veces mayor que el hierro de partida.

Ya que es muy difícil eliminar por limpieza mecánica otros compuestos salinos se evitara siempre que sea posible exponer el metal desnudo a estos ambientes mediante, por ejemplo: un chorreado e imprimación previa del acero en taller. También es recomendable llevar a cabo las subsiguientes operaciones de pintado en el taller bajo condiciones perfectamente controlables. De otro modo nunca hubiera sido posible emplear ciertas pinturas de curado químico de extrema sensibilidad a una limpieza incompleta. Aun cuando existan pinturas que permitan algún grado de contaminación superficial, la mayoría de las pinturas modernas son muy exigentes con respecto a la limpieza superficial del acero.

Aunque no faltan los casos en que debido a una rugosidad excesiva del acero y por no habersele aplicado un espesor suficiente de pintura, se produce en un relativamente corto espacio de tiempo el fallo del recubrimiento, que comienza con la aparición de diminutos puntos de herrumbre (como puntas de alfiler) sobre toda la superficie pintada. En general, la oxidación de las crestas o protuberancias es mucho menos acusada en las superficies a las que se ha aplicado un grueso espesor de

pintura, o en las dotadas de un acabado mas liso.

La preparaci6n superficial adquiere el maximo relieve bajo condiciones de elevada agresividad y es menos importante en los otros casos. La agresividad de las atmosferas de un pais es muy variada, pudiendo existir amplias zonas para las que no sea necesario extremar la preparaci6n de superficie. Sin embargo, establecer el minimo indispensable en cada caso ofrece dificultades (el riesgo econ6mico de un fallo prematuro esta siempre presente cuando se deja cascarilla y otras impurezas corrosivas sobre la superficie metalica) por lo que se tiende al empleo cada vez mayor del chorroado.

Evidentemente, se consigue un ahorro en los costos de proteccion limitando los recubrimientos mas caros (por lo general, de mayor resistencia a la corrosi6n) y que exigen una mas esmerada aplicaci6n y preparaci6n de superficie, a las areas donde son realmente esenciales y protegiendo el resto de la superficie del acero, que se ha limpiado por medio de un ligero chorroado o aplicaci6n de herramienta mecanica, con otros sistemas mas baratos, como alcidicos, ester, epoxi, etc.

En atmosferas muy poco agresivas (tambien cuando el objeto metalico se proyecta para una corta vida en servicio) convendra hasta preguntarse si es verdaderamente necesario pintar.

Las pinturas anticorrosivas, aparte de poseer propiedades inhibidoras, actúan normalmente de barrera fisica entre el acero y la atm6sfera corrosiva. Para ejercer con eficacia esta acci6n su espesor no debe situarse nunca por debajo de un determinado

limite, variable con el tipo de pintura, estado de la superficie, severidad de las condiciones ambientales y tiempo previsto de exposición.

De hecho, la durabilidad de una pintura sobre el acero se relaciona estrechamente con el espesor aplicado. La Fig. 7.8., refleja los resultados del ensayo de gran numero de esquemas de pintura (con diferentes preparaciones de superficie) en una atmosfera industrial, encontrandose en ambos lugares una correlación lineal bastante buena entre la duracion de la protección y espesor de la película. Resulta evidente la necesidad de superar un cierto espesor critico para que la protección sea realmente duradera.

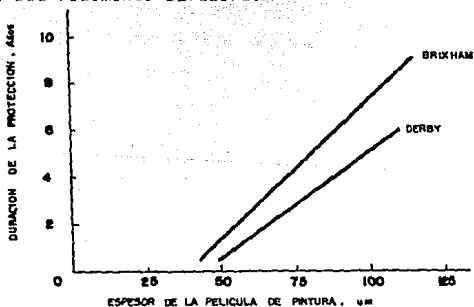


Fig. 7.8.- Efecto del espesor de película en la duración de la protección del acero por pintura. los resultados se refieren a 100 esquemas de pintado con diferentes pinturas de imprimación y la misma pintura de acabado. Los ensayos se iniciaron en Derby (atmosfera industrial) y Brixham (atmosfera marina)

No obstante esos datos, que permiten, evidentemente, hacer estimaciones sobre la durabilidad de determinadas pinturas, la realidad es que no es fácil conocer cuando va a hacer falta el primer tratamiento de mantenimiento del sistema de pintura, entre otras razones por la gran variedad de tipos y calidades de pintura existentes, cuyas propiedades no son siempre bien conocidas y por el desconocimiento, la mayoría de las veces, de la agresividad ambiental (corrosividad) presente y futura del lugar de exposición.

La aplicación de esquemas modernos de pintura con un espesor del orden de 150 micras sobre una superficie bien preparada, digamos, mediante chorreado a "metal blanco", puede hacer innecesaria la operación de restauración del recubrimiento a lo largo de 10 o mas años, pero las restricciones y dificultades encontradas durante la operación de pintado durante el servicio de las estructuras reales obligan generalmente a acortar aquel periodo, tal vez a 6 años.

La proporcionalidad entre peso de pintura gastada y espesor del recubrimiento trae consigo la tentación de economizar a costa del espesor, sin tener en cuenta los graves riesgos que ello entraña. Es posible que una reducción del espesor del 30% suponga una reducción del 75% o mas en la vida del sistema de pintura. (Ver fig. 7.8)

En una amplia serie de ensayos se ha comprobado que para cada sistema de pintura, clase de preparación superficial y grado de severidad del medio, existe un espesor de recubrimiento que da

protección a lo largo de toda la duración del ensayo (8-10 años). Este espesor tiende a disminuir con la impermeabilidad de la pintura, menor agresividad del medio y cuanto mejor preparada este la superficie, aunque esta última variable no ejerció más que una ligera influencia por diferir poco las preparaciones superficiales de las probetas.

Puesto que una buena parte del precio pagado por un recubrimiento de pintura se debe a la preparación superficial y que los gastos de mano de obra del pintado se reducen considerablemente con las modernas pinturas de capa gruesa, se comprende que, al especificar una pintura, en lugar de exigir la aplicación del espesor mínimo compatible con una protección razonable, se prefiera en ocasiones la aplicación del máximo espesor compatible con unos costos tolerables del recubrimiento.

Capítulo 8

8.1.- uso de Recubrimientos Orgánicos en Aceros empleados en la Construcción.

Un sistema de pintado bien escogido y aplicado correctamente, protegerá el acero durante muchos años; pero un error muy común es que por intentar economizar, se escoge un método erróneo, al principio se tiene una aparente economía, pero frecuentemente esta será sobrepasada por el notable incremento de los costos de mantenimiento.

El éxito o fracaso del procedimiento de pintado, básicamente está asociado a tres causas que son:

A.- La calidad de la preparación de superficie.

B.- La elección del sistema de pintado adecuado según el medio ambiente.

C.- El correcto sistema de pintado.

LA preparación adecuada de la superficie del acero que vava a ser pintado es esencial, puesto que la máxima duración de la protección se obtiene cuando se pinta sobre una superficie completamente limpia, por esto se entiende: la eliminación total de la costra de laminación y óxido.

Para el caso general de las estructuras de acero, el mejor sistema de limpieza es mediante el chorreado de arena o el decapado químico, por lo que se hace notar que el requisito más importante en la aplicación de recubrimientos protectores, es la limpieza de la superficie a la cual se van aplicar.

Dicha limpieza de la superficie metálica ejerce un efecto muy marcado sobre la calidad de cualquier recubrimiento, ya sea de tipo metálico, orgánico o inorgánico, que queda emplearse para protegerla. La presencia de brasa, aceite, productos de la corrosión, suciedad u otros cuerpos extraños, impiden una buena adherencia, continuidad y duración de los recubrimientos.

El costo anual de la protección del acero contra la corrosión, alcanza muchos millones de dolares, por lo que se nota la importancia de hacer el uso mas económico de las medidas de protección disponibles por la aplicación adecuada de ellas, basándose en las investigaciones y experiencias, muchos países han demostrado que la economía en la protección de las estructuras de acero mediante pintura, se basa en la aplicación de unos pocos pero vitales, principios generales, que son los tres métodos básicos ya descritos anteriormente.

Aunque debemos hacer notar que la protección no solo depende de los métodos o factores que se han indicado, sino tambien de la calidad de los materiales utilizados y de la adecuada supervisión del nivel de la mano de obra de aplicación.

Es necesario y básico una total colaboración en todo momento entre los propietarios de la estructura, los ingenieros consultores, los fabricantes de pintura y los contratistas de aplicación.

Veremos con mas detalle los tres métodos básicos de la aplicación de pintura en acero.

A.- Preparación de la Superficie.

Existen varios métodos para efectuar la limpieza de la superficie de acero que se va a pintar, los más usuales son.

A1.- Desengrasado: cuando llegan al departamento de acabado las piezas metálicas, regularmente están contaminadas con grasas, que pueden proceder de los aceites protectores empleados para conservarlas durante su almacenamiento, o con aceites de corte o cualquier otra forma de contaminación de grasas: el caso es que es el principal tipo de contaminación superficial: esta representado por aceites y grasas lubricantes mezclados con hollín o suciedad. Estas sustancias oleosas pueden dividirse en grasas animales, grasas vegetales y aceites minerales. Las grasas pueden separarse usando alcalis fuertes y los aceites recubriendo a la emulsión con jabones u otras sustancias, que tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del agua, (aunque existen muchos disolventes orgánicos que disuelven ambos tipos de sustancias oleosas).

El método más antiguo y extendido de desengrasado, se basa en el empleo de los alcalis y ello ha dado lugar a un gran desarrollo de la industria de fabricación de limpiadores alcalinos.

Por regla general se suele emplear mezclas con composición apropiada para los diversos casos que se plantean en la práctica, con la ventaja de ser económicos, ya que son productos fabricados en gran escala.

Las propiedades de estos agentes de limpieza son, el poder

disolvente y elevada alcalinidad, poder dispersante con respecto a los sólidos, poder emulsionante para los líquidos, facilidad de lavado, estabilidad, baja toxicidad, etc.

1).- Fase líquida: La pieza que ha de limpiarse puede sumergirse en un baño alcalino, la temperatura de trabajo suele ser la ambiente o un poco superior; normalmente se empieza agitación.

2).- Fase vapor: Se usan disolventes moderadamente volátiles; es necesario que no sean inflamables a las temperaturas de trabajo; la toxicidad debe ser lo más baja posible. en este procedimiento se introduce el material frío en la cuba de desengrase, con lo cual se logra que condense el disolvente en la superficie del material, cuando el material alcanza la temperatura de vapor cesa la condensación.

3).- Proyección: En este caso, se trata la superficie a pistola con la solución, aunque en grandes instalaciones las piezas son colocadas en un transportador y se rocían mediante lavadores de chorro automáticos, cuya fuerza, combinada con el poder emulsionante de la solución de limpieza, es suficiente para arrastrar virutas metálicas y demás partículas sólidas, así como las sustancias oleosas; también se conoce como limpieza por proyección en cabina.

A2.- Flameado.- Este método de preparación de las estructuras de acero para su pintado, se basa en el paso a lo largo del acero, de una llama oxí-acetilénica o similar, el calentamiento brusco de la superficie, causa el desprendimiento de la calamina, como

consecuencia de las diferentes tensiones establecidas entre el acero y la calamina, además se ocasiona la deshidratación de los óxidos que pueda haber presentes, aunque solo sirva para superficies exteriores.

A3.- Decapado (químico).- Este procedimiento se basa en la inmersión del acero en un baño ácido de concentración y temperatura adecuados, hasta que la escoria se haya desmenuado; normalmente se usa ácido sulfúrico de (5-10%) a (65-86 grados centígrados), o también ácido clorhídrico pero a temperatura más baja, el descascarillado varía entre 5 y 20 minutos según el tipo de escoria; este proceso se completa con un lavado a fondo de agua, de preferencia caliente, a fin de eliminar el ácido residual.

A3.1.-Decapado (electroquímico).- En este tipo de decapado el material actúa como cátodo o ánodo dentro de un baño electrolítico.

La ventaja de este método es la velocidad con que elimina la escoria de óxido; los baños son análogos a los de decapado químico.

El decapado anódico puede realizarse en una disolución de ácido sulfúrico del 25 al 30 %, con densidades de corriente de 1 a 8 A/dm^2 . Se usa para conseguir un ataque moderado de la superficie metálica, lo cual es adecuado para recubrimientos más densos.

En los tratamientos catódicos o cuando se emplea corriente alterna, las densidades de corriente suelen oscilar entre 10.6 y

32 A dm². La principal ventaja de este tipo de decapado es que en el proceso se separa muy poco o ningún metal de la superficie, por lo cual se consigue una superficie lisa y uniforme.

A4.- Chorro de arena.- El tratamiento con chorro de arena, constituye desde hace mucho tiempo el método preferido para la separación del óxido y de la cascarilla, ya que da lugar a la obtención de superficies a las que los recubrimientos se adhieren satisfactoriamente. Puesto que para eliminar los recubrimientos de óxidos duros y gruesos de una superficie metálica, se necesita con frecuencia un tratamiento mecánico violento, y el método más sencillo es el chorro de arena, puesto que se obtiene, aparte de una limpieza excelente, una rugosidad que es muy de desear, por que sobre ella ancla correctamente el recubrimiento.

El principio del método es: proyectar un chorro de arena o de granalla de acero, mediante una corriente de aire comprimido a través de una tobera resistente, sobre la superficie del metal. el consumo de aire debe ser de al menos 2 a 3 m³/sec. y la presión de 2 a 4 atmosferas.

Las toberas que se usan son de materiales duros con revestimiento de carburo de wolframio.

La arena de río, es el material más barato empleable, pero solo se usa una vez, porque se desmenuza la arena al chocar con la superficie que se está limpiando, quedando polvo solamente, por lo que ahora se prefiere la granalla de acero, que después de tamizada se puede volver a emplear.

Otra opción es usar bolitas de acero de aproximadamente, 1 mm de diámetro, estas deben estar limpias de óxido, por lo cual es conveniente engrasarias ligeramente.

En este tipo de limpieza, el polvo que se forma es muy peligroso para la salud, por lo que debe emplearse una máscara que evite a dicho polvo llegar a la boca o a la nariz.

Desde el punto de vista de la limpieza al grado de mayor calidad del acabado superficial se lo conoce como "acabado a metal blanco". Este presenta un color gris claro metálico y muestra en su totalidad la textura rugosa de la superficie limpiada con chorro, dicha superficie está totalmente libre de residuos de calamina, óxidos u otras contaminaciones, aun cuando puedan ser visibles zonas sombreadas debidas a la textura del chorreado o la propia estructura del acero.

Existen otros acabados superficiales en menor grado de calidad como el "acabado comercial" y "acabado ligero".

El "acabado comercial" es una limpieza superficial con chorro de arena que elimina completamente de la superficie, el aceite, la grasa, suciedad, escamas de óxido, materia extraña, así como todos los óxidos, calaminas y pintura antigua, a excepción de ligeras sombras, rayas o decoloraciones, causadas por manchas de óxido, restos de calamina o ligeros residuos de pintura o recubrimiento que pueden permanecer adheridos.

El "acabado ligero" como lo indica su nombre, es solo una aplicación del chorro de arena, para que elimine la calamina u óxido ligeramente, dejando pequeños residuos de estos, así como

dentura anterior que este bien adherida.

E.- Eleccion del Sistema Adecuado de Pintado

Para obtener una proteccion satisfactoria del acero usando pintura, existen varios caminos, y aunque la preparacion de las superficies, los tipos y numeros de capas de pintura, el sistema de pintado, esten basados en procedimientos correctos, la eleccion de sistema de pintado se decide por consideraciones puramente practicas. La primera de estas consideraciones sera el costo.

Entre los diversos sistemas, las comparaciones son hechas sobre una cierta base financiera: basandose en el costo anual medio de la proteccion de la estructura, a lo largo de un extenso periodo de tiempo y no solamente en el costo inicial del pintado; tambien influye la eleccion del sistema de pintado, el metodo de preparacion de la superficie adoptado, el tipo de estructura, bien sea nueva o vieja, la aplicacion previa de un recubrimiento metalico, las condiciones bajo las cuales haya de tener lugar el pintado, habilidad de los operarios disponibles, el ambiente donde esta expuesta la estructura, la vida deseada de la propia estructura, asi como facilidades y condiciones para el trabajo.

Algunas consideraciones:

1).- Una buena preparacion de superficie no es siempre posible, esto puede ser en el caso de una estructura vieja, relativamente inaccesible, donde un grado de raspado y limpieza con cepillo, puede ser el maximo realizable, si fuera preciso aplicar un

primario.

b).- La elección de la pintura de imprimación, dependerá de que la preparación de superficie de la estructura tenga lugar; antes o después del montaje.

La elección será más amplia si la preparación es realizada cuando los elementos ya están ensamblados o la estructura completa. Pero si van a ser descalaminados antes de la fabricación, será necesario aplicar una capa fina de imprimación de taller para protegerlas durante la prefabricación.

c).- Generalmente será más fácil asegurar buenas condiciones en el pintado de una estructura nueva, que en una estructura vieja; en caso de que la estructura sea lo suficientemente importante para justificar el gasto, la preparación de su superficie y el pintado puede realizarse bajo techo durante los trabajos de construcción o en talleres auxiliares en obra (calentados si es necesario).

Esto nos permite lograr un elevado grado de preparación de superficie, para poder utilizar sistemas de pintado con elevada resistencia química y de mayor eficacia protectora.

d).- Si el pintado tiene que realizarse en obra, deben tenerse en cuenta las condiciones ambientales probables en el momento del pintado. La rapidez de secado es una cualidad básica en las pinturas utilizadas en tales condiciones, aun cuando esta propiedad se consiga a expensas de una ligera pérdida del poder protector de la película seca.

De modo ideal se requiere un sistema de pintado que haya de ser aplicado

bajo condiciones de elevada humedad, como por ejemplo: una estructura en Tabasco necesitara una formulacion radicalmente distinta a la necesaria para un sistema que vaya a ser aplicado durante verano en Chihuahua.

er.- Cuando el acceso es dificil, como en el caso de una torre elevada de acero, lo mas logico es distanciar lo mas posible la proteccion inicial y los trabajos de mantenimiento subsiguientes; en este caso, es recomendable la utilizacion de un revestimiento metalico debajo de la pintura.

B1.- Tipos de Pintura y sus Propiedades.

La principal caracteristica de una pintura para estructuras de acero debe ser su propiedad protectora, sin olvidar algunos otros factores importantes, como lo es la estabilidad en el envase, facilidad de preparacion, aplicacion y tiempo de secado; el valor real de la pintura tiene relacion con todos ellos, porque si alguno no es satisfactorio, el costo de mano de obra aumentara.

La pintura debe conservarse bien en el envase, para que su homogeneizacion despues del almacenamiento se consiga con el menor esfuerzo, logrando asi que los operarios sean capaces de aplicarla con facilidad en una capa uniforme, libre de descolgamientos e imperfecciones similares y que debe secar en un tiempo razonable (24 horas), proporcionando al cabo de este tiempo una pelicula adecuada para recibir la siguiente capa de pintura.

Todas las pinturas deben ser compatibles, por lo que un sistema

de pintado debe ser considerado como un todo y las propiedades de cada capa aplicada deben ser congruentes encima y/o abajo de ella; por lo que se aconseja adquirir todas las pinturas necesarias, para un sistema dado, del mismo fabricante como punto de partida práctico.

La solución del problema de protección por pintura, es aplicar una película de espesor adecuado sobre una superficie de acero convenientemente preparada. Para completar esta información veremos unas generalidades acerca de las propiedades de los tipos principales de pintura que se usan para este fin.

Las pinturas pueden clasificarse en diversas formas, en este caso lo haremos de acuerdo a los diferentes mecanismos de secado.

Las cualidades de una pintura dependen de la transformación experimentada por la capa de pintura húmeda, finalmente extendida, al formar una película sólida y coherente. Este secado puede suceder de tres formas diferentes y son mutuamente exclusivas.

1).- Por evaporación del disolvente.- Ocurre en las pinturas que han sido aplicadas y el disolvente orgánico en el cual estaba disuelta es eliminado mediante evaporación de la pintura húmeda, sin que se produzca ningún cambio químico: este tipo de pinturas son de cierto tipo bituminoso o a base de resinas vinílicas.

2) Por oxidación y otros cambios químicos en el vehículo fijo.- Se origina principalmente por reacción con oxígeno atmosférico y ocurre principalmente en las pinturas de aceite y óleo-resinosas.

3) Por curado.- En otras pinturas como por ejemplo, pinturas a base de resinas epoxi, el secado se produce por reacciones

químicas, entre el vehículo y un agente de curado o endurecimiento que se mezcla con la pintura líquida, poco tiempo antes de su utilización.

También pueden obtenerse resultados similares calentando la pintura húmeda, pero este método no es de gran aplicación para grandes estructuras de acero.

Uno de los desarrollos modernos mayores de la industria de la pintura ha sido la introducción de una serie de tipos de pintura pertenecientes a la categoría epoxi, con lo cual se ha extendido considerablemente la gama de pinturas "químicamente resistentes" con una gran resistencia intrínseca a la humedad y a los abrasivos químicos.

Además, puesto que el endurecimiento de estas pinturas ocurre igualmente a profundidad, muchas de ellas pueden aplicarse con mayor espesor de recubrimiento que los tipos ordinarios de pintura al aceite u oleo-resinosas, puesto que estas secan por oxidación desde la superficie externa hacia el interior, por lo cual si se aplica en capa demasiado gruesa, puede permanecer en un estado no satisfactorio de pegajosidad.

B2.- Pinturas de imprimación (primarios).

Se ha demostrado por medio de la investigación y la experiencia práctica, que los sistemas de protección alcanzan sus máximos resultados cuando la pintura de imprimación aplicada directamente a la superficie del acero es de tipo "inhibidor", es decir, que contiene pigmentos que ayudan a restar la tendencia del acero a

la corrosión.

Los pigmentos conocidos que poseen propiedades "inhibidoras" incluyen el plomo metálico, minio de plomo, blanco de plomo, sulfato básico de plomo, cromato de plomo, silico cromato de plomo, plumbato cálcico, cromato de zinc, zinc en polvo, todos ellos se utilizan ampliamente en la fabricación de imprimaciones para el acero.

Desafortunadamente hasta ahora ninguna pintura de imprimación puede contrarrestar el proceso de corrosión cuando este ya ha comenzado, por lo que se hace notar que el valor de las imprimaciones antioxidantes se basa en prevenir su iniciación, esto es otro argumento para aconsejar la aplicación de las pinturas en superficies tan limpias como sea posible.

El mecanismo de la inhibición no se conoce totalmente, sin embargo, todas las imprimaciones antioxidantes poseen la propiedad de paralizar la oxidación en sus comienzos por la deposición de una fina película protectora sobre la superficie de acero.

Un pigmento inhibidor tiene que estar disuelto para poder actuar sobre el acero, debe poseer una cierta solubilidad en agua, además, cuando está incorporado en la pintura no debe estar rodeado de un medio tan impermeable que impida ser alcanzado y disuelto por el agua, que se difunde a través de la película de pintura, en la ligera cantidad necesaria.

El minio de plomo como pigmento antioxidante tiene una larga historia, mucho antes de la revolución industrial, fue usado como

pigmento colorante y probó que era totalmente adecuado para cumplir las necesidades de las imprimaciones anticorrosivas que surgieron debido al rápido desarrollo del acero en el uso de la edificación, desde entonces se ha convertido en el metal más efectivo y usado para este fin.

Aunque tiene tendencia a sedimentar, dificultado al ser reconstituido, el secado es lento y venenoso al agua, que todos los pigmentos de plomo; es la primera elección de la mayoría de los ingenieros, debido a su gran capacidad para humectar y penetrar en la textura superficial del acero, también es el más recomendable en caso de que la preparación de superficie y aplicación no sea de la mejor calidad y/o el trabajo se realice en condiciones desfavorables; a este le siguen los cromatos en eficacia.

El pigmento de aluminio en laminillas es uno de los principales constituyentes de las pinturas de imprimación pues contiene verdaderos pigmentos inhibidores, ya que demuestran su eficacia básicamente en el hecho de que las partículas laminares aumentan el impedimento ofrecido por la película seca de pintura a la difusión de la humedad y otros agentes corrosivos.

23.- Pinturas de Acabado

Las consideraciones siguientes sobre las pinturas de acabado se basan en la experiencia general de las distintas organizaciones anticorrosión.

1).- Un sistema de pintado debe ser considerado como un todo.

por lo que la formulación y propiedades de pinturas de acabado no pueden ser divorciadas de las pinturas de imprimación sobre las que se apliquen, no debe existir incompatibilidad entre las sucesivas capas, puesto que pueden conducir a una mala adherencia u otros defectos, es básico el tiempo de secado entre capa y capa, lo más recomendable es una total colaboración entre el cliente y el fabricante de pinturas, si se quiere obtener un mejor sistema de pintado.

2).- En las pinturas de acabado, las propiedades requeridas difieren en algunos aspectos, de las correspondientes para una imprimación.

La función principal de una pintura de acabado, es proteger la capa de imprimación y permitir que esta última ejerza su efecto inhibitor sobre el acero, el mayor tiempo posible, por lo que se requiere que la película seca de acabado sea lo más impermeable posible, tanto a la humedad atmosférica, como a los gases y que posea la mayor resistencia a la desintegración física y química por exposición a la intemperie.

3).- La elección de la pintura de acabado para estructuras de acero, en la mayoría de los casos no es tan crítica, como para la imprimación, puesto que si se cuenta con una correcta preparación de superficie y la aplicación de una o dos capas de buena imprimación antioxidante, existe gran variedad de pinturas de acabado para elegir, en lo que a eficacia protectora se requiere.

4).- La adición de pigmentos antioxidantes, en las pinturas de

acabado no representan ventajas, pues no están en contacto con el acero, por lo que la elección del pigmento es de gran significado. Esta debe ser basada en sus propiedades físicas, como la resistencia al ataque del medio ambiente corrosivo, por lo que en la mayoría de los casos se prefieren pigmentos inertes. Generalmente se considera que los pigmentos laminares, como el óxido de hierro micáceo, grafito, aluminio-acero inoxidable en laminillas, proporcionan los mejores sistemas de acabado en lo que a protección se refiere, la mayoría de pinturas de aluminio o grafito, proporcionan películas secas de menor espesor que las pinturas pigmentadas con óxido de hierro micáceo.

5).- Desafortunadamente el valor decorativo de los pigmentos laminares mencionados es limitado: el grafito es el de menor atractivo de todos ellos, por lo que se usa sobre superficies donde es mínima la exigencia decorativa.

Sero existen circunstancias donde las consideraciones estéticas dictan, que los efectos decorativos de las pinturas de acabado, tales como el color y la retención de brillo son considerados en primer lugar, por lo que se puede recurrir a utilizar pigmentos de menor duración, aunque el mejor procedimiento en esta caso es añadir una capa extra de pintura puramente decorativa encima del sistema completo de pintura a base de óxido de imprimación y de acabado con pigmentos laminares.

B4.- Sistemas de Pintado Resistentes a Productos Químicos.

Actualmente se hace un mayor uso de los vehículos químicamente

resistentes, los cuales poseen una mayor resistencia intrínseca a los agentes corrosivos y la saponificación que los aceites secantes normales. el desarrollo de sistemas de pintura químicamente resistente se puede atribuir a tres causas principales.

1).- La introducción de nuevos tipos de resinas sintéticas o de materiales orgánicos similares, altamente resistentes y adecuados para la fabricación de pinturas.

2).- El aumento en el conocimiento técnico de los mecanismos de secado de pinturas y de las propiedades físicas de las películas de pintura, por lo que la investigación en este y otros campos con él relacionados ha dado lugar a la producción de varios tipos de pinturas de alta resistencia, que pueden aplicarse con espesores de hasta 5 mils (125 micras) por capa y resistir condiciones muy severas de exposición.

3).- Gracias a la aceptación de la industria de la necesidad de utilizar mejores grades en la preparación de superficies, se pudo alcanzar el potencial de los nuevos tipos de pinturas.

Los tipos fundamentales de pinturas químico-resistentes son:

uno: las que como el cloro-caucho, se basan esencialmente en soluciones simples de un material orgánico resistente y que prácticamente no sufre ningún cambio químico durante su secado.

Dos: las pinturas basadas en resinas epoxy, que secan como resultado de la reacción química de un agente de curado.

Para elegir un tipo para cada necesidad particular será requerida en gran modo, por las condiciones de trabajo y si es necesario,

se debe requerir el consejo de un experto, los siguientes principios son de aplicación general.

a).- Para la preparación de la superficie, se preferirá el chorreado.

b).- La capa de imprimación debe ser adecuada como base de los sistemas de pintado químico resistente a utilizar. Puede no ser necesaria una imprimación inhibidora.

c).- Deben utilizarse pigmentos inertes en todo el sistema, no sujetos al ataque de los agentes corrosivos a que se tenga que someter la estructura de acero.

i).- Pinturas de cloro-caucho.- Entre las mejores pinturas químico-resistentes introducidas en la industria están las pinturas de cloro-caucho, ya que tienen un grado muy elevado de resistencia a la humedad y a los ataques químicos, el vehículo es esencialmente una disolución de caucho, tratado químicamente y un plastificante, necesario para conseguir una película de pintura elástica.

Como el material sólido no se modifica a una forma soluble al secar, la película seca tiene poca resistencia a disolventes, esto hace difícil la aplicación a brocha o rodillo de un sistema multicapa, aunque su aplicación a pistola no presenta dificultades.

ii).- Pinturas a base de resinas vinílicas.- Los sistemas vinílicos de protección están constituidos por vehículos a base de cloruro de polivinilo, estas resinas tienen una gran resistencia al agua y a la mayoría de las formas de ataque

químico, pero son insolubles en la mayoría de los disolventes normales de pintura, por lo que los revestimientos basados exclusivamente en resina de cloruro de polivinilo, han de ser aplicados en taller, ya sea en forma de orgánicos (dispersiones en disolventes) o plastisoles (dispersiones en plasticantes).

La aplicación de material se debe llevar a cabo, si es posible, tras la aplicación de las capas de anclaje, para favorecer la adherencia y a continuación por fusión mediante calor se crea una película continua y gruesa que posee excelente durabilidad, tenacidad y una gran resistencia química.

iii).- Pinturas a base de resina epoxi.- Si se necesita un elevado grado de resistencia a los agentes químicos, lo mejor es usar la resina epoxi, como pintura de dos componentes, un componente contiene la disolución de la resina epoxi, y el otro es un agente de curado, los componentes se mezclan poco antes de que se vaya a aplicar la pintura.

Ahora se encuentran comercializadas resinas epoxi de alto espesor y curado en frío.

iv).- Pinturas de poliuretano.- En este tipo de pinturas hay algunas que son de un solo componente, son recomendables en trabajos decorativos, pero si se necesita la mayor resistencia a los agentes químicos y a la humedad, como es el caso de la protección de elementos de acero, los tipos de dos componentes son de mayor duración.

Estas películas tienen gran resistencia a la humedad, cuando han secado completamente, pero son muy sensibles a ella cuando se

aplican y durante el endurecimiento también, por lo que dificulta su uso en condiciones de lluvia o de humedad.

v).- Pinturas a base de hulla y bitúmenes. Cuando no tiene importancia el aspecto, las pinturas basadas en alquitran de hulla y los asfaltos naturales o de petróleo son una alternativa útil de las pinturas de vehículos oleo-resinosos o químico-resistentes, como las combinaciones epoxi-alquitran que se aproximan en su comportamiento a las pinturas químico-resistentes.

Los revestimientos a base de brea y bitumen, se cuartean y agrietan cuando están al exterior, debido al ataque de la radiación ultravioleta, aunque las grietas no penetran a través de la película hasta el acero, cuando la película de pintura es de un espesor importante.

Para reducir al máximo este defecto, es útil que este presente el pigmento de aluminio en la pintura, puesto que aumenta la reflectividad de la superficie más externa y refuerza a la película por las partículas laminares.

Como no poseen propiedades inhibidoras serán más eficientes si se aplican sobre películas de imprimación inhibidoras que sobre el acero.

Aunque la aplicación de muchas capas a base de recubrimientos de alquitran de hulla, se ha hecho innecesario por el descubrimiento de las pinturas basadas en mezclas de resinas epoxi, con un alquitran adecuado, estas se utilizan ampliamente para proteger el acero en situaciones difíciles, como en los cascos de los

barcos y en estructuras sumergidas.

Las pinturas epoxi-urea: son productos de dos componentes y formuladas para dejar películas gruesas (125 micras), pero se requiere un elevado grado de preparación de superficie, ya que la protección de estas pinturas, es puramente por impermeabilidad, ya que no poseen propiedades inhibidoras.

C.- Sistema de Pintado.

C1.- Importancia de las correctas condiciones de pintado.

Si se desea conseguir los mejores resultados en el pintado, este debe llevarse a cabo en condiciones secas, con aire razonablemente caliente, como mínimo a 5 grados centígrados, ideal entre 30 y 40 grados centígrados, se debe tomar en cuenta que la contaminación atmosférica gaseosa o sólida puede también perjudicar el pintado, puesto que la contaminación gaseosa puede retardar el secado de las pinturas y el depósito de humo y otras partículas sólidas pueden interferir la adherencia entre capas, lo ideal es pintar el acero bajo techo, ya que es más fácil asegurar las condiciones de temperatura, humedad y limpieza.

Es muy importante que el acero estructural nuevo reciba al menos, la capa de imprimación inicial bajo techo en el taller. Actualmente en la práctica moderna, los trabajos de aplicación del sistema de pintado en taller continúa a menudo tras la imprimación, dejando solamente la última capa de acabado para ser aplicada en obra.

Si se tiene que llevar a cabo el sistema de pintado en obra, es

necesario decidir frecuentemente entre lo que es deseable y lo que es practico en circunstancias correctas; mediante una programacion cuidadosa, se puede reducir mucho el riesgo que presenta el pintado en exteriores en condiciones desfavorables.

Cuando sea inevitable realizar el pintado en condiciones climatologicas adversas, puede mitigarse sus consecuencias, adoptando cubiertas o toldos temporales y si es necesario instalar una calefaccion local.

Tambien se puede adicionar productos quimicos hidrofílicos a la pintura, con el fin de sosiajar los efectos perjudiciales de la humedad superficial, desafortunadamente estos aditivos quedan en la pelicula seca y frecuentemente influyen adversamente en sus propiedades.

Se debe poner atencion a las operaciones de pintado durante los dias de trabajo, frecuentemente el rocío se condensa sobre una estructura durante la noche y esta humedad necesita tiempo para evaporarse, por lo que se debe iniciar el pintado por el lado soleado de la estructura y moverse hacia a la parte en sombra durante el calor del dia.

De aqui se deduce que las relaciones entre la temperatura del acero que se va a pintar, la del aire que lo rodea y de la propia pintura, son de vital importancia en todas la circunstancias.

Para el sistema de pintado es basica la imprimación de taller, esta es definida como: "un material organico formador de pelicula, que puede contener un pigmento y se aplica directamente a una superficie de acero después de la preparacion de la

superficie, en general por chorreado y que no tiene que ser eliminada antes de la soldadura".

Por lo que las imprimaciones de prefabricación deben reunir las siguientes condiciones.

1.- Ser adecuadas para su aplicación, normalmente mediante pistola.

2.- No ser perjudiciales a la salud.

3.- Secar rápidamente y ser manejables en pocos minutos.

4.- No interferir en la fabricación.

5.- No perjudicar la soldadura.

6.- Proteger el acero hasta el pintado final.

7.- Ser compatibles con una gran serie de sistemas de pintado, esto debido a que los fabricantes de estructuras, se encuentran con variadas peticiones de sus clientes, acerca del sistema de pintado final.

No se recomiendan los tipos comunes de imprimaciones al aceite u óleo-resinosas, principalmente porque secan demasiado lento, lo recomendable en lo que respecta al resultado, son las pinturas epoxi, ricas en zinc, en dos envases, que contienen al rededor del 90% de zinc en película seca.

C2.- Metodos de aplicación de pinturas.

Los metodos usados normalmente son: la aplicación a brocha y a pistola para el pintado de grandes estructuras de acero, aunque se utiliza a veces el proceso de inmersión y de aplicación con rodillos.

La inmersión se utiliza a veces por necesidades tales como la aplicación de una capa de taller, pero tiene dos inconvenientes.

Primero.- Es que a causa de la necesidad de reducir la viscosidad de la pintura, el espesor de película seca producido es menor, que la aplicación a brocha o a pistola.

Segundo.- Que a causa del flujo de pintura desde el tope superior de la pieza sumergida hacia la parte inferior, hay una variación apreciable del espesor de película seca.

Aunque los dos inconvenientes se pueden subsanar, mediante la inmersión invertida, o sea, volviendo a sumergir la pieza, pero dándole vuelta con relación a la primera inmersión.

El rodillo manual es recomendable generalmente cuando se va a pintar grandes superficies planas de acero, ya que tiene la ventaja de mayor velocidad, sobre la aplicación a brocha.

Si tomamos en cuenta la velocidad de aplicación, las ventajas son para la aplicación a pistola, puesto que con los tipos de pintura normalmente utilizados, sobre las estructuras se puede obtener una capa mas uniforme mediante pulverización, que mediante aplicación a brocha.

La imprimación; cuando se lleva a cabo en obra se recomienda aplicar a brocha, ya que humecta mejor la superficie del acero, pero cualquier marca de brocha que quede en la película seca, constituye puntos de debilidad. también si la preparación de superficie es deficiente y las condiciones ambientales son desfavorables, es preferible aplicar la capa de imprimación a brocha.

C3.- Espesor de películas de pintura

La eficacia de un recubrimiento aumenta con su espesor, para asegurar una duración de cinco años fue necesario un espesor de 3.5 a 4 mils (87 a 100 micras), teniendo en cuenta que este resultado se refiere a pequeñas piezas de acero preparadas y pintadas en buenas condiciones de laboratorio, por lo que los sistemas prácticos de pintado para estructuras de acero deben ser de un espesor de 5 mils (125 micras) mínimo, es una buena medida aumentar el espesor de la película de pintura por encima de los límites sugeridos, en zonas a donde por causa del diseño o de otros factores, las condiciones corrosivas pueden ser muy severas como por ejemplo: en las aristas de las planchas, aristas y ángulos de difícil acceso, donde pueda existir retención de agua o de rocío, en zonas irregulares o sobresalientes, como cabezas de tuercas, remaches o cordones de soldadura, partes inferiores de las superficies horizontales, puesto que a veces hay agua encharcada bajo ellas y evapora muy lentamente.

Como muchas de estas pinturas son de espesor delgado, es conveniente dos capas de pintura de imprimación cuando se va a pintar toda la estructura.

La vida de un sistema de pintado sobre una superficie de acero deficientemente preparada, será siempre más corta, sea el espesor que sea de la película aplicada, esto en comparación con los aceros que se han preparado correctamente para su pintado y el espesor de película seca es mínimo de 5 mils (125 micras).

Las pinturas protectoras no se deben escoger nunca solamente

sobre la base de su rendimiento y se debe de llevar un control y revision del espesor de la pintura aplicada a una estructura.

El espesor de pelicula húmeda se puede controlar mediante: medidores de pelicula húmeda, o mediante el calculo del rendimiento a partir del consumo de pintura a intervalos durante su aplicacion. tambien es muy practico pintar un paño o paños testigo sobre la estructura, del espesor de pelicula requeridos, ya que facilita un aspecto de la superficie y ayuda a la inspeccion visual rapido.

Las medidas del espesor de la pelicula seca de pintura se deben hacer sistemáticamente sobre toda la superficie, esto es necesario, porque se debe obtener un espesor minimo en todos los puntos, ya que si no se lleva a cabo puede conducir a un consumo excesivo de pintura.

El metodo mas conveniente para determinar el espesor de pelicula seca, es mediante instrumentos de medida no destructiva, la mayoria de los cuales trabajan sobre principios magneticos o electromagneticos, muy utiles para el control de un sistema de pintado, aunque tiene algunas dificultades como: que la exactitud de las medidas no es correcta, si la pintura contiene pigmentos metalicos, aunque es muy raro, se pueden cometer errores si hay calamina bajo la pelicula de pintura, puesto que las propiedades magneticas de la calamina, difieren de las del acero, algunos aparatos se pueden usar solamente sobre superficies horizontales, las cabezas medidoras pueden introducirse algo dentro de las peliculas de pintura, mas si esta blanda la pintura, con lo cual

nos dará lecturas bajas de espesor.

Estos instrumentos son capaces en condiciones adecuadas, de medir espesores de película con una aproximación del $\pm 10\%$.

La medida del espesor de pintura se puede llevar a cabo, arrancando películas de pintura de superficie conocida y determinar su volumen, aunque el método más simple es preguntar al fabricante el factor de conversión entre el rendimiento de la película húmeda y el espesor de la película seca.

C4.- Repintado de estructuras de acero

Como se expuso anteriormente, los mejores resultados de un sistema de pintura sobre estructuras nuevas se consigue cuando no hay calamina u óxido por debajo de la primera capa de pintura. Lo mismo es necesario, cuando se necesita un repintado del acero; si se han cumplido los requisitos para un buen sistema de pintado, no existirá calamina sobre la superficie, sin embargo, puede haber oxidaciones, si el repintado se ha retrasado indebidamente, como regla general, la película de pintura de una estructura, no se debe dejar nunca deteriorar tanto que pueda dar lugar a una corrosión apreciable bajo ella, si ocurre esto se debe limpiar y cepillar hasta dejar el metal desnudo.

La preparación de este tipo de superficie es mejor evitarla, pues es muy cara, cualquier sistema de aplicación, el proceso de repintado, tendrá una vida más corta siempre.

Pero es posible evitar este mal, cuando la estructura se ha repintado varias veces, por lo cual se deduce, que se puede

conseguir economías considerables, en el costo del trabajo de limpieza, de la aplicación y en el costo de la propia pintura, repintando las estructuras de acero en el momento adecuado.

Es necesario guardar una cuidadosa vigilancia de todas las estructuras pintadas, para emprender el pintado de mantenimiento siempre que resulte necesario; y así obtener el máximo de eficacia.

Cuando la película de pintura empieza a mostrar serios defectos, ya sea por enyesamiento, cuarteado, amollamiento o corrosión, el trabajo de repintado debe realizarse.

(El enyesamiento es la formación sobre la superficie de pintura de un polvo mal adherido, producido por los materiales de la propia pintura, que se puede eliminar mediante frotación con un paño seco).

El síntoma principal de fallo del protector es la corrosión, cuando la corrosión ha progresado de un 0.2% a 0.5% de su superficie, el repintado se debe hacer de inmediato, puesto que el costo del trabajo se incrementará a medida que el tiempo avanza y se forma aun más corrosión.

Las zonas defectuosas arian para las superficies horizontales, verticales e inclinadas, también si la superficie esta colocada a la intemperie o protegida del sol, por lo que en ciertos casos, se pueden hacer economías mediante el uso del pintado de "parcheo" es decir repintando parte de la estructura en cierto momento.

C4.1.- Preparación de la superficie para el repintado

esta dependera de las condiciones en que se encuentre la pintura vieja y de acuerdo con esto variara.

1).- Si la pintura vieja, esta sana y adherida, sera suficiente un lavado enérgico con agua limpia, de preferencia caliente y que contenga 1 o 2% de detergente, despues se lava con agua caliente, para eliminar cualquier residuo de detergente que haya quedado.

2).- Si en la pelicula existen granos de oxido o ampollas, aunque la mayor parte de dicha pelicula de pintura, esta aun bien adherida y el grado de corrosion no excede al 1%, tampoco hay evidencia de desconchamiento. puesto que la calamina bajo la pintura es minima, o de perdida de adherencia, entonces se preparan estas areas en buenas condiciones para el pintado, por medio de la limpieza cuidadosa con cepillos de alambre, que rompan las ampollas y eliminaran casi todo el oxido, esta limpieza debe ir seguida por un lavado como el descrito anteriormente.

3).- Si la pintura vieja se ha desconchado o ha perdido su adhesión y ha tenido lugar una corrosion intensa, se debe limpiar la estructura hasta metal desnudo, para llevarse a cabo esta limpieza se recomienda el chorreado o con flama.

C4.2.- Elección del sistema de pintado

El motivo principal al repintar una estructura, es restaurar la misma de modo tal que evite totalmente la corrosión del acero y que dure en buenas condiciones varios años, por lo que la elección de un sistema de pintado a usar ira de acuerdo con el estado de la pintura vieja y debena recubrirse todo el acero con

una capa de pintura de unas 5 mils (125 micras).

1).- Pintura vieja en buenas condiciones. Si la pintura existente esta en buenas condiciones y necesita un lavado solamente, se debe aplicar una o dos capas de pintura de acabado, dependiendo del estado de la pintura vieja, la facilidad de trabajo en la nueva estructura y la severidad corrosiva del medio ambiente.

Cuando es preciso un gran andamiaje o la atmosfera es verdaderamente corrosiva, es logico que sera mas economico aplicar dos capas de pintura en una sola ocasion que una capa de pintura a intervalos mas frecuentes.

Las nuevas pinturas deben ser similares en composicion a las pinturas de acabado originales, excepto cuando la pintura vieja se ha vuelto porosa, a causa de la prolongada exposicion a la intemperie, por lo cual son convenientes ligeros ajustes en la relacion pigmento-vehiculo y el contenido en materia volatil de la primera capa de la nueva pintura.

2).- Pintura vieja con algunos puntos de corrosion.- Si el estado de la superficie es tal, que con nacer uso de cepillos metalicos, para eliminar pequeñas zonas de oxidacion, se obtiene una buena limpieza y la mayor.a de la pintura esta bien y adherida, se debe aplicar una capa de imprimacion sobre toda la pintura vieja y una o dos capas de acabado.

La nueva capa de imprimacion debe ser del tipo antioxidante.

pero necesariamente tan inhibidora como una pintura de imprimación para acero al desnudo.

3).- Pintura vieja en malas condiciones. Si hay un marcado deterioro de la pintura vieja, se debe limpiar correctamente hasta metal desnudo y volver a pintar completo como el pintado inicial de la estructura nueva.

Se deben aplicar dos capas de imprimación antioxidante y completar el sistema mediante la aplicación de una o dos capas de acabado, recordando que la primera debe ser altamente inhibidora.

En conclusión mientras haya posibilidad del repintado de una estructura se hará según las condiciones siguientes.

i).- Las zonas muy corroídas se deben limpiar con chorro de arena, llama, rasquetas mecánicas, cinceles, cepillos de alambre y herramientas similares, hasta metal desnudo. Inmediatamente después de la limpieza se debe aplicar una capa de imprimación antioxidante a estas zonas, es conveniente lijar previamente los extremos de la pintura vieja que este en buenas condiciones.

ii).- Zonas ligeramente corroídas se deben limpiar con cepillos mecánicos y aplicar una capa de imprimación antioxidante a estas superficies inmediatamente después.

iii).- Si la pintura esta en buenas condiciones, se debe lavar con agua limpia que contenga 1 o 2% de detergente, si es posible el agua que sea caliente, después lavar con agua limpia y caliente, cuando este limpia la superficie se aplica una capa de

acabado.

Esta planificación puede sufrir alteraciones para asegurar, que el polvo de la limpieza con chorro no ensucie la pintura recientemente aplicada a las superficies cercanas o que el agua utilizada en la limpieza, no caiga sobre otras zonas de las estructuras o que las superficies ya limpias no estén expuestas a nueva contaminación por la polución atmosférica antes de que sean pintadas.

C5.- Protección del acero sometido a altas temperaturas

Habrán ocasiones en que el acero este o tenga que estar expuesto a la corrosión atmosférica y la vez a elevada temperatura, como por ejemplo, los componentes estructurales que forman parte de los hornos y de plantas similares a estos.

La combinación de gases corrosivos y elevadas temperaturas es difícil de resistir y la mayoría de las veces conducirá a un rápido fracaso de los sistemas de pintura que habían demostrado buena resistencia a la atmósfera corrosiva a temperaturas ordinarias, o a elevadas temperaturas bajo condiciones no corrosivas.

A temperaturas mayores de 300 grados centígrados, difícilmente protegerá cualquier pintura al acero durante un largo tiempo, para lograr esto es necesario uso de revestimientos, distintos de la pintura, por ejemplo: revestimientos por metalización, esmaltes vitrificados y una variedad de materiales semi-inorgánicos u orgánicos.

En el uso de revestimientos de metal pulverizado para la protección del acero a altas temperaturas: son utilizados los metales como el aluminio, aluminio con 0.5 a 75 % de cadmio, Ni-Cr (60-80 % Ni, 15-25 % Cr, 25 % máximo de hierro), para más claridad veremos una tabla con 5 clases de revestimientos.

Tabla 2. Revestimiento de metal pulverizado para la protección del acero a altas temperaturas

Temp. de Servicio Grados centígrados	Metalización Metal	mils	Tratamiento Posterior Pintado con brea de hulla	Temp. Limite q. Centíq.
550	Al	7	-----	-----
900	Al	7	si	800-900
900	Al-Co	7	-----	" "
1000	Ni-Cr	15	si	1050-1150
1000	Ni-Cr	15	si	" "
	después de "Al"	4		

Para la aplicación de los metales que van a resistir una temperatura mayor a 850 grados centígrados es necesario un tratamiento con calor antes de ponerlo en servicio, así como el pintado con brea de hulla, la solución utilizada debe contener al menos el 50% de materia volátil, además de pigmentarse con aluminio, la aplicación de la aleación Ni-Cr se diferencia de la Ni-Cr después de aluminio en que en la Ni-Cr no hay presencia de gases sulfurosos.

C5.1. Sistemas de pintado de recubrimientos metálicos
principios básicos:

1).- El principal problema es la elección de la pintura de imprimación, puesto que son necesarias ciertas diferencias en su formulación con respecto a las usadas para acero desnudo, o sea que debe asegurarse una buena adherencia, cuando se trata de metalizado por proyección existe la necesidad de evitar los efectos de una absorción parcial de los constituyentes de la pintura dentro de la superficie porosa, también se debe tomar en cuenta la posibilidad de una reacción química adversa entre la pintura y el revestimiento metálico.

2).- Las capas de acabado pueden ser similares normalmente a las utilizadas sobre imprimaciones de acero desnudo, claro exceptuando aquellas modificaciones que pueden ser necesarias para asegurar su compatibilidad con la imprimación utilizada sobre el revestimiento metálico.

3).- Si transcurre un tiempo apreciable entre la aplicación del revestimiento metálico y el pintado del acero o sea que una estructura se pinte después de su montaje en obra, el hecho de que este presente un metalizado, no elimina la necesidad de limpiar la superficie antes de la aplicación de la pintura.

Puesto que el polvo, suciedad y las sales corrosivas son igualmente peligrosas debajo de una pintura sobre un metalizado, que debajo de la pintura sobre el acero desnudo. Además, cuando ha habido alguna contaminación de la estructura metalizada, debe seguirse el procedimiento de preparación recomendado para el

mantenimiento de superficies pintadas.

D.- Efecto del modo y Condiciones de Aplicación de la Pintura

Los métodos más corrientes de aplicación de las pinturas son a brocha y por proyección, dando ambos, generalmente, recubrimientos de valor equivalente para condiciones idénticas y similar espesor. Para el acero expuesto a la intemperie y cepillado a mano, en el caso particular que se utilice una imprimación a base de aceite, es preferible aplicar la primera mano a brocha, ya que la pintura se adhiere mejor a la superficie metálica. También es preferible la acción de la brocha cuando se pinta bajo condiciones ambientales adversas. Para las capas siguientes lo mismo da pintar a brocha, rodillo o por proyección. Con frecuencia son imperativos económicos y de aceleración del trabajo los que imponen el método a seguir.

Aunque el acero de construcción se pinte ocasionalmente por inmersión o con rodillo, las opciones principales están entre hacerlo a brocha o por pulverización. La Fig. 8.11. representa un punto de vista acerca del mérito relativo de estos dos métodos.

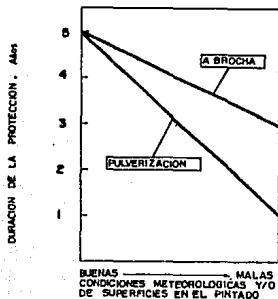


Fig. 8.1.- Comparación del pintado a brocha con el pintado por pulverización.

La duración del recubrimiento protector es independiente del procedimiento de aplicación si la operación se realiza bajo condiciones ambientales propicias. En cambio si el tiempo es adverso (lluvioso o húmedo) o la preparación superficial del acero, pobre, como cuando se limpia a mano después de un tiempo apreciable de exposición a la intemperie, las ventajas están del lado de la aplicación a brocha, ya que los movimientos alternativos de la brocha, manejada por el pintor, expulsan a los pequeños globos de agua eventualmente presentes sobre el acero y aseguran el contacto íntimo de pintura/metal.

Las condiciones ambientales en el momento de pintar tienen un considerable efecto sobre el valor protector y vida de los recubrimientos orgánicos aplicados a los metales, se recomienda suspender el pintado al exterior, sin abrigo alguno, cuando

ocurre o es inminente algún tipo de inclemencia climática, como lluvia, nieve, escarcha, niebla, excesivo viento, etc., o cuando las condiciones climáticas son tales que existe y puede presentarse condensación de humedad sobre la superficie metálica.

Bajas temperaturas y altas humedades relativas son, por lo general, perjudiciales para el buen comportamiento posterior de la mayoría de las pinturas.

Es práctica común fijar una temperatura, generalmente 3-5 grados centígrados, por debajo de la cual las pinturas no deben ser aplicadas. En el supuesto de una pintura que pudiera ser aplicada a temperaturas próximas a 0 grados, la probabilidad de rocío, escarcha, etc., sobre la superficie metálica sería grande, lo que entrañaría graves riesgos para el futuro comportamiento del recubrimiento.

Para exhibir plenamente sus propiedades protectoras, las capas de pintura deben poseer una gran adherencia al soporte metálico, a cuyo fin es conveniente que este completamente seco y limpio durante el pintado dicho metal. Mientras la mayoría de los recubrimientos son sensibles a cualquier tipo de contaminación superficial (humedad absorbida o depositada, productos de corrosión, contaminantes atmosféricos, etc.), otros, como los vehículos basados en aceite de linaza, parecen tolerar en cierta medida pequeñas cantidades de contaminantes superficiales.

Normalmente, los mejores comportamientos los dan los sistemas de pintura que han sido aplicados en tiempo de baja humedad relativa. Se comprende, pues, que se señale un límite máximo

permisible para este parametro durante la aplicacion de la pintura, por ejemplo, del 85%.

Con ser importantes los parametros temperatura y "HR" del aire, el factor crucial parece ser la diferencia entre temperatura del metal y punto de rocío (temperatura del aire para que la "HR" debida a una determinada cantidad de vapor de agua iguale el 100%), que nos informa de lo lejos o cerca que las condiciones ambientales se hallan de la condensación de humedad sobre la superficie metalica.

La contaminación atmosférica (vapores, gases, humos, polvo, etc.), tambien pueden influir negativamente en el comportamiento de las peliculas de pintura, lo mismo durante que despues de su aplicacion. Asi, es posible que la contaminación gaseosa retarde el secado de las pinturas y que el deposito de humos y otras particulas solidas interfieran en la adherencia entre capas.

En el pintado de superficies frias y húmedas despues de 9 años de experimentación en una atmósfera semi-industrial y húmeda, cabe citar:

- a. Una peor influencia del parametro de humedad (a los valores de "HR", condensación, hielo) que del parametro de la temperatura.
- b. La conveniencia de aumentar el espesor de la capa de imprimación al pintar bajo condiciones ambientales no optimas.
- c) La importancia del estado de la superficie al pintar bajo condiciones no ideales; con superficies oxidadas, una reducción del tiempo de pintado entre capas es muy importante en aras de

una mayor durabilidad del recubrimiento.

d) La importancia de que el vehículo de la pintura posea buenas propiedades humectantes.

Cuando en el proyecto se disponga pintar en el lugar de emplazamiento convendrá estudiar antes los datos meteorológicos locales, para escoger el periodo en que se prevean las mejores condiciones ambientales, ya que las bajas temperaturas, altas humedades y contaminación atmosférica perjudican el pintado, este tendrá que retardarse hasta que las condiciones atmosféricas superen las condiciones adversas.

Lo ideal sería realizar todo el trabajo de pintado en una atmósfera cálida y seca, libre de polvo y contaminación, condiciones que se aseguran mucho más fácilmente dentro de un recinto que al aire libre. Por lo que se recomienda ejecutar la máxima labor posible del pintado en el taller de fabricación.

Desgraciadamente, es inevitable tener que pintar bajo condiciones adversas, puede ser de gran ayuda un calentamiento previo de la superficie del acero (pasándole la llama de un mechero o aplicándole otra fuente de calor), con tal de que la temperatura del metal en el momento de pintar no exceda de unos 38 grados centígrados, otra posibilidad es resguardar la estructura en el exterior bajo alguna cubierta temporal durante la operación de pintado.

E.- Mantenimiento de los Recubrimientos de Pintura

Todas las pinturas se desintegran mas o menos lentamente bajo la acción combinada de la humedad, elementos atmosféricos y factores diversos. En el sentido de un deterioro progresivo de la pintura, el fallo puede adquirir las formas de pérdida de brillo, caído, agrietamiento, ampollamiento y manchas de herrumbre. Finalmente, la oxidación del soporte se va extendiendo por debajo de la pintura, la cual termina por desprenderse.

Antes de llegar a la condición del deterioro generalizado del recubrimiento es conveniente repintar. Con una práctica de repintados periódicos se consigue un buen mantenimiento y conservación del sistema de pintura. Una cuestión de mayor importancia práctica es el grado máximo de deterioro que puede alcanzar un esquema de pintura, compatible con una restauración efectiva y poco costosa. Desde luego, para ahorrarse el tener que eliminar la pintura vieja antes de repintar, lo aconsejable es llevar a cabo esta operación antes de que las capas de acabado del esquema protector se deterioren del tal modo que dejen de proteger a la imprimación, o no constituyan ya una base adecuada para la nueva pintura.

Unas veces la necesidad del repintado se manifiesta porque el desgaste de la pintura de acabado expone la capa de imprimación. Otras por la aparición de signos de corrosión del sustrato metálico (que se hacen visibles sobre todo si no se ha aplicado ningún recubrimiento metálico intermedio).

Las normas de mantenimiento de una estructura deben estar en

consonancia con el diseño, función y accesibilidad de la superficie metálica. Los ciclos de mantenimiento varían con el tipo de recubrimiento, espesor, condiciones ambientales y también con la preparación inicial de la superficie del acero.

En lugares de moderada agresividad es fácil que transcurran cinco o más años entre dos repintados sucesivos, mientras que en casos extremos será necesario repetir la operación incluso anualmente.

Una idea sobre el influjo del medio en el ciclo de mantenimiento se deduce de los siguientes casos típicos. En una atmósfera rural la restauración de un recubrimiento integrado por tres manos de pintura aplicadas a una superficie de acero limpiada con cepillo de alambres puede tener que realizarse cada 5 años; en una atmósfera urbana o marina, cada 6 años y en una atmósfera industrial, cada 4 años. Con una superficie enroscada con granalla el periodo de mantenimiento puede durar 12 años para un esquema de 4 manos de pintura, lo mismo en una atmósfera rural, urbana, moderadamente marina o moderadamente industrial.

F.- Aspectos Económicos en la Selección de los Recubrimientos de Pintura

No existe una mejor pintura, sino una amplia gama de opciones para cada situación en concreto. Si a los requerimientos del medio en cuanto a tipo de pintura unimos las diferentes características del proceso de pintado, el abanico de posibilidades se extiende aun más. De entre todas las opciones se

intenta seleccionar aquella que proporcione la mejor protección práctica a menor costo a lo largo de toda la vida en servicio de la estructura. No debe olvidarse, a la hora de seleccionar el recubrimiento protector, que los aspectos técnicos tienen que ser compatibles con los económicos y que, para elaborar el costo, hay que tener en cuenta la duración estimada en servicio de la estructura que se desea proteger.

Un primer factor, que repercute de modo considerable en los costos del pintado, es la preparación superficial. Se ha llegado a estimar que el 70% de los fallos prematuros del recubrimiento son achacables a una defectuosa preparación de la base metálica. Aunque también no está justificado pasar el alto costo de una preparación superficial hasta el grado de a "metal blanco" de limpieza a menos que las condiciones ambientales sean excepcionalmente corrosivas o se pretenda aplicar una metalización con protección. El grado a "metal casi blanco" debe establecerse en ambientes de agresividad algo superior al nivel medio o en conexión con determinadas imprimaciones. En cambio, frente a condiciones ambientales suaves, basta con una preparación superficial a "acabado comercial".

La operación de aplicar el sistema anticorrosivo, en lo que toca al método y equipo empleado, lugar de realización, etc., ocupa también un lugar importante en la economía del procedimiento de protección. La aplicación completa del esquema de pintado en el taller de fabricación resulta económica siempre que la estructura sea fácilmente transportable al lugar de emplazamiento. Cuando

los materiales tiene que transportarse largas distancias sin que sea posible tomar precauciones especiales, se recomienda aplicar la última capa de pintura en el lugar de la propia erección. Además de que la aplicación de una parte o la totalidad del recubrimiento protector en taller (bajo cubierta) aporta las ventajas técnicas de pintar en condiciones controlables y de que sea mínimo el pintado a realizar en el lugar de emplazamiento, que como se sabe podría estar afectado por el mal tiempo.

La protección de estructuras permanentes, como puentes, debe ser siempre de la mejor calidad. Pueden aceptarse recubrimientos de calidad inferior cuando la cuestión del aspecto no tenga demasiada importancia, cuando el mantenimiento sea fácil, en los casos en que es probable que la estructura caiga pronto en desuso, o que la obra metálica se halle dentro de edificios en que nunca, o raramente, se alcance la humedad crítica para la formación de herrumbre.

En el conjunto de gastos de pintado, el precio de la pintura líquida no pasa normalmente del 15-20%, mientras que el porcentaje restante se invierte en la preparación del metal y aplicación de aquella, no es lógico buscar ahorros significativos en la pintura en sí. En ambientes muy agresivos es sumamente peligroso descuidar la calidad de la pintura, dejándose llevar por la idea de que "más importantes son los efectos de la preparación de superficie y espesor del recubrimiento", pues en tales ambientes el tipo de pintura participa decisivamente en el éxito o fracaso del proyecto, por lo que una reducción en calidad

de la pintura puede ocasionar costosos fallos prematuros.

Por desgracia el factor económico coarta casi siempre la perfección del trabajo. A menudo los aspectos técnicos y económicos se muestran antagónicos. A pesar de que la protección del acero tiene una clara finalidad económica, no es fácil resistir la tentación de economizar a costa del recubrimiento, ya sea reduciendo su espesor, degradando la calidad de la pintura, acortando el tiempo necesario para el desarrollo de la operación de pintura, etc. Es obvio que estos ahorros no son más que ficticios.

En los últimos años los costos de conservación o mantenimiento han adquirido gran importancia en la economía de las construcciones metálicas, por lo que es recomendable proveer fondos en la etapa de proyecto para futuras inspecciones y operaciones de mantenimiento.

Las valoraciones de costo de pintado no se basaran lógicamente en el precio inicial del esquema aplicado sino que tendran que proyectarse a lo largo de todo el periodo en el que el revestimiento debe ejercer su acción protectora.

De prestar atención solo a los costos inmediatos, se escogería el esquema protector más barato, que por desgracia suele ser el de comportamiento inferior, con el peligro de un fallo prematuro del recubrimiento y la necesidad de una urgente reparación, sin embargo, a la vista de los elevados costos de mantenimiento, cualquier otra alternativa que posponga y haga menos frecuente esta operación nos dara un considerable ahorro. Por lo que una

mejor calidad de las pinturas en combinación con un mayor grado de limpieza de la superficie puede contribuir a hacer más económica la protección, aun cuando el costo inicial del esquema de pintado se eleve notablemente.

El precio a pagar por la protección varía de una localidad a otra, o de uno a otro punto, en función de muchos factores, entre los que destacan las condiciones atmosféricas preponderables, la accesibilidad de la superficie para la limpieza y pintado, y el nivel salarial. Los costos acumulativos del esquema de pintado dependen de la frecuencia y puntualidad de las operaciones de mantenimiento.

Aparte de los planteamientos económicos rigurosos, existen otros factores que juegan igualmente un papel determinante a la hora de tomar una decisión. Por ejemplo, los recubrimientos que permiten un mantenimiento muy espaciado evitan molestias de:

1.- Tener que acordarse del asunto, puesto que el simple hecho de tener que hacer memoria cada 5 o 10 años, y no cada 10 o 20, años constituye ya un cuidado extra, y

11.- Hallar el dinero para cumplir con la tarea, pues créditos previstos normalmente para el mantenimiento de obra pueden haberse dedicado a otros menesteres más urgentes y absolutamente inesperados.

Aunque en casos excepcionales el recubrimiento de aplicación inicial más barato conserve su superioridad económica a lo largo de toda la vida de servicio de la estructura, con mucha frecuencia "lo barato se paga caro". Por lo normal, no ofrece

dificultad demostrar lo ruinoso que son en oastos de mantenimiento los recubrimientos de calidad inferior, aparte de las molestias que acarrea el tener que repetir a menudo la operación de restauración.

Es inimaginable limitar la protección anticorrosiva de las construcciones metálicas, torres de radar, edificios de plantas industriales, centrales energeticas, etc., A solo unos años.

Nunca las motivaciones presupuestarias o de otra índole deben hacer olvidar los problemas relativos al cuarto o medio siglo de vida de servicio previsto para la obra. La selección de esquemas protectores de alta calidad encuentra una total justificación cuando las condiciones ambientales son muy severas y las operaciones de mantenimiento excepcionalmente difíciles, o cuando motivan estas últimas fuertes pérdidas indirectas como resultado de una merma de producción o interrupción de unos servicios importantes; entonces el costo inicial del esquema protector es pequeño en comparación con el valor de las pérdidas.

Los recubrimientos anticorrosivos de larga duración, que no tienen necesidad de mantenimiento en un dilatado periodo de tiempo (digamos 20 años), están constituidos normalmente por simples recubrimientos metálicos de grueso espesor, de vida igual a la del intervalo de mantenimiento, o bien por recubrimientos mixtos, en que el recubrimiento metálico queda resguardado bajo un sistema de pinturas. En este último caso el sistema de pinturas debe de gozar de una vida igual a la del intervalo de mantenimiento, para evitar que se dañe el recubrimiento metálico

subyacente.

En contraposición con la variedad de recubrimientos metálicos no ferreos disponibles para la protección de pequeñas piezas de acero, razones técnicas y económicas restringen enormemente la selección cuando se trata de proteger componentes pesados. En realidad para muchos fines la alternativa está exclusivamente entre el cinc y el aluminio. Aunque estos dos recubrimientos metálicos sean bastante más resistentes que el acero base, no son desde luego incorrosibles, por lo que suelen requerir más pronto o más tarde un pintado protector. Lo mejor es la combinación desde el primer momento del recubrimiento metálico con un adecuado sistema de pinturas, para suprimir la formación de herrumbre en el acero base, aun bajo condiciones severamente corrosivas; en circunstancias en que el sistema de pinturas, de actuar solo, solo daría protección durante un periodo de tiempo muy limitado.

Dentro del campo de los recubrimientos mixtos metal/pintura, han alcanzado un fuerte desarrollo los denominados sistemas "duplex", en que el acero galvanizado se protege con una capa adicional de pintura. El efecto es recíproco, por un lado la pintura aísla al cinc del ambiente exterior y por otro, la mayor estabilidad del sustrato metálico (menor oxidación y menor volumen de los productos de corrosión del cinc) prolonga la duración del recubrimiento. La experiencia confirma que el conjunto galvanización más pintura confiere una duración media a la pieza protegida mayor que la suma de la galvanización y de la pintura

actuando independientemente. La pintura de por sí podría proteger unos 8-12 años y la galvanización unos 15-25 años, pero al juntarse ambas acciones cabe esperar duraciones cercanas a los 50 años.

Con un acero metalizado o galvanizado al que se hayan aplicado dos o tres capas de pintura, el ciclo entre restauraciones de la pintura puede extenderse a 7 u 8 años en ambientes industriales medios. Sin embargo, igual o mayor importancia que diferir las operaciones de mantenimiento debe otorgarse al hecho de que disminuya de modo considerable el trabajo a realizar en orden a preparar la superficie para el repintado, lo que supone siempre un notable ahorro. Aun cuando se retrase en exceso la operación de mantenimiento, el recubrimiento de cinc o de aluminio impide la corrosión del acero y asegura una buena preparación superficial al restaurarse el sistema de pintura.

Los sistemas mixtos, recubrimiento metálico más pintura se utilizan ampliamente en puentes y otras estructuras importantes, ya que pueden resistir largo periodo de tiempo frente a la mayoría de las atmósferas.

A menudo se plantea la cuestión de que es más conveniente desde el punto de vista económico, si la aplicación de un simple sistema de pinturas sobre el acero o la utilización de un sistema mixto, más caro al principio pero de mantenimiento más cómodo y menos crítico. La respuesta no es sencilla, pues esta condicionada por el costo de la limpieza preliminar del acero, que varía en gran medida según el método y grado de preparación

superficial escogido para la aplicacion del sistema de pintura sobre el acero. por la influencia de la calidad superficial y condiciones ambientales en el ciclo de mantenimiento y por la vida prevista para la estructura. De cualquier modo, es bueno insistir, una vez mas, que las comparaciones entre recubrimientos anticorrosivos jamas tiene que basarse a los costos iniciales, sino que deben abarcar los totales durante 10, 20, 30, etc., años, teniendo presente que una proteccion, cara al principio, pero efectiva a lo largo de unos 20 años, puede facilmente ser mas economica que la de un recubrimiento mucho menos caro, pero que exija, por ejemplo, un repintado completo digamos cada 6 años.

C O N C L U S I O N E S

Este escrito se dirige principalmente a aquellos que se enfrentan con problemas de protección del acero en construcción.

La humanidad, por lograr mejores condiciones de vida, ha usado constantemente el ingenio, durante su larga historia.

Para lograr estas mejores condiciones de vida, mucho lo ha debido al uso de los metales, por lo que ha creado una dependencia tal que sería imposible hablar del desarrollo y avance de la civilización sin el uso de metales y aleaciones.

La acción del medio sobre los metales constituye un gran problema debido a la corrosión. Las pérdidas directas e indirectas motivadas por la corrosión son enormes, lo que es lógico si se tiene en cuenta que la mayoría de los equipos y construcciones metálicas operan al aire libre.

Una estimación de los daños ocasionados por la contaminación del aire a las estructuras metálicas expuestas en la atmósfera en EEUU dio como resultado un costo de 1450 millones de dólares anuales.

En nuestra vida hacemos uso del metal, en centros de agua para asearnos, en utensilios de la cocina, sabemos que las casas, así como todos los demás edificios, sin importar el tamaño están estructurados de acero, el cual soporta y da resistencia a la construcción, el transporte que usamos en su mayor parte está construido con metal y por lo tanto requerimos que los materiales metálicos en los que está basada nuestra civilización, sean estables en nuestra atmósfera terrestre y al menos duren en uso

varios años.

Es un hecho bien comprobado, a través de la experiencia práctica que se tiene sobre el comportamiento de estructuras reales y por los resultados de numerosos ensayos, que la velocidad de corrosión de los metales en la atmósfera pueden ser decenas e incluso centenares de veces mayor en unos lugares que en otros, lo que justifica el interés de conocer las variables fundamentales que operan en la corrosión y que originan esta gran dispersión de resultados, y por otro lado, de llegar a una clasificación de la agresividad de los medios, si es posible a partir de bases científicas.

Dado que el hombre invierte mucha energía para extraer el metal de los yacimientos encontrados en la tierra, pensando en la cantidad de energía empleada durante la extracción del hierro en los altos hornos, etc. Por este motivo, el económico, la conservación de recursos escasos y muchos más, es necesario y obligatorio proteger, para dar el mayor tiempo de vida útil al metal, que en este caso es el acero, dado que la corrosión daña los recursos y cuesta un dinero que difícilmente se puede dar el lujo de gastar, nuestra economía nacional. La magnitud del problema corrosivo es tal que justifica la continua búsqueda de relaciones empíricas o teóricas, entre velocidad de corrosión o vida de un recubrimiento protector y factores atmosféricos.

Sin embargo las predicciones de corrosión constituyen un problema complejo por mediar entre ellas múltiples factores, como son los factores externos, meteorológicos y de contaminación del aire, condiciones de exposición como el libre acceso del medio

AGRESIVA A LA SUPERFICIE EXUESTA EN LA ATMOSFERA (POSIBILIDADES DE HUMECTACIÓN DEL METAL POR PRECIPITACIONES ACUOSAS). ALMACENAMIENTO EN CAJAS O BAJO ABRIGO VENTILADO, EN QUE EL METAL SE HUMIDIFICA SOLO POR EL ROCÍO O CONTACTO ACCIDENTAL DE GOTAS DE LLUVIA. FACTORES DE CONSTRUCCIÓN: COMO ES LA SITUACIÓN DE LA SUPERFICIE QUE SE CORROE, DRENAJE DE AGUA, ACUMULACIÓN DE ESTE ELEMENTO EN ALGUNAS SECCIONES. MASA DE LAS PARTES METÁLICAS, QUE INFLUYE TANTO EN EL TIEMPO QUE TARDA EN ALCANZARSE EL PUNTO DE ROCÍO, COMO EN EVAPORARSE LA HUMEDAD.

ES FÁCIL DESANIMARSE AL VER LA GRAN VARIEDAD DE METALES Y ALEACIONES, FORMAS DE EXPOSICIÓN, CONDICIONES ATMOSFÉRICAS, POR LO QUE DEBEN DE TOMARSE EN CONSIDERACIÓN ESTAS VARIABLES EN LA INVESTIGACIÓN Y PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE SUPERFICIES Y RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO.

LA NECESIDAD DE AVANZAR EN EL CONOCIMIENTO DE LA CORROSIÓN PARA ASÍ LUCHAR MEJOR CONTRA ELLA, SE HA IMPUESTO, POR MOTIVOS ECONÓMICOS Y DE SEGURIDAD PERSONAL, PERO RECORDEMOS QUE PRONTO SE SUMARÁ A ESTOS MOTIVOS OTRO MUY IMPORTANTE, EL DE LA CONSERVACIÓN DE RECURSOS ESCASOS, PUESTO QUE UN 40% DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DEL ACERO, EL MATERIAL ESTRUCTURAL POR EXCELENCIA, SE EMPLEA PARA RENOVAR EL DESTRUIDO POR CORROSIÓN.

A PESAR DEL ESFUERZO DEDICADO DESDE HACE AÑOS A OBTENER DATOS DE CORROSIÓN EN LOS CUANTOS MAS VARIADOS DEL MUNDO, Y DEL VOLUMEN ACUMULADO DE ESTOS DATOS, ES VERDADERAMENTE DESCONSOLADOR QUE SEAN TAN LIMITADAS TODAVÍA LAS POSIBILIDADES DE PREDECIR CON GARANTÍA EL COMPORTAMIENTO DE LOS METALES EN LA ATMÓSFERA, Y ELLO DEBIDO EN GRAN PARTE A QUE LA AGRESIVIDAD DEL LUGAR DE EXPOSICIÓN

se desconoce la mayoría de las veces.

Desde luego, la experiencia acumulada acerca de los factores ambientales en el comportamiento de los recubrimientos protectores de pintura, aun siendo importante, dista mucho de dar una visión precisa del tema; por ello son raras las expresiones matemáticas que plasmen de modo cuantitativo el efecto de las variables ambientales en su estabilidad.

A pesar de todo, en la protección contra la corrosión, las pinturas ocupan el primer puesto. En numerosos casos son el único medio racional de proteger los metales y puede decirse que nuestra cultura que se basa, en el acero como material decisivo, solo ha sido posible por la utilización de las pinturas como medio protector, basta decir que el 50% de producción anual de pinturas se dedica únicamente a la protección contra la corrosión y el óxido.

Las exigencias de economía y la conservación de recursos escasos, obliga a un ahorro de materiales, el cual se lograra con la debida protección aplicada a estos materiales, evitando su rápida corrosión, para obtener un mayor tiempo de vida útil, ayudando a preservar en el planeta, los recursos escasos como lo es el acero.

Una posibilidad de lucha contra la corrosiones es cambiar de material para la construcción de un determinado componente o estructura metálica, por ejemplo, sustituir el acero corriente por acero inoxidable.

Pero la alternativa mas practica, es el empleo de recubrimientos protectores, que aislan al metal del medio agresivo,

interponiendo algún tipo de barrera entre ambos.

En este caso las opciones son numerosas, pues lo mismo se puede recurrir a recubrimientos orgánicos (pinturas plásticas, grasas, etc.), que a recubrimientos metálicos (electrolíticos, por inmersión en un metal fundido, por pulverización, plaqueado, etc.), que a recubrimientos de conversión (anodizado, fosfatado, cromatado, etc.).

Pero son los recubrimientos de pintura los que ocupan el primer lugar en cuanto a utilización para la protección de todo tipo de estructuras que operan en la atmósfera, aproximadamente el 90% de las superficies metálicas están protegidas con recubrimientos orgánicos; como sabemos que las pinturas se deterioran lentamente con el tiempo, se le debe dar un mantenimiento periódico.

No existe un mejor sistema de pintura sino una amplia gama de alternativas para cada situación en concreto. Los sistemas de pintura más resistentes suelen ser también los más caros inicialmente, aunque en ocasiones pueden resultar a la larga los más económicos si se relaciona el costo con los años de servicio.

Aun así no debe excederse en la calidad del recubrimiento no pagando por el más de lo imprescindible.

Es autor

B i b l i o g r a f í a

Título: Mas allá de la Herrumbre

Autor: Javier Ayala - Joan Genesca

Editorial: Fondo de Cultura Económico S.A. de C.V.

Edición: Primera, México 1989

Título: Recubrimientos Protectores de los Metales

Autor: R.M. Burns

Editorial: Ediciones Interciencias

Edición: Primera, Madrid 1964

Título: Corrosiones Metálicas

Autor: Ulick R. Evans

Editorial: Reverte, S.A.

Edición: Tercera, España 1986

Título: Protección por Pintura de Estructuras Metálicas

Autor: F. Fancutt

Editorial: Blume

Edición: Segunda, España 1971

Título: Corrosión y Protección de los Metales en la Atmósfera

Autor: Sebastian Feliu - Manuel Morcillo

Editorial: Ediciones Bellaterra, S.A.

Edición: Primera, Barcelona 1982

Titulo: Tecnología de las Pinturas

Autor: Henry Fleming Payne

Editorial: Blume

Edición: Primera, Madrid 1973

Titulo: Defectos de las Capas de Pintura

Autor: Manfred Hess

Editorial: Blume

Edición: España 1973

Titulo: Recubrimientos de los Metales

Autor: Pere Molera Sola

Editorial: Marcombo Bolxareu Editores

Edición: Primera, España 1980

Titulo: Tecnología de los Recubrimientos de Superficie

Autor: Dean H. Parker

Editorial: Urmo

Edición: Primera, Bilbao 1970

Titulo: Corrosión y Protección

Autor: Fritz Todt

Editorial: Aguilar

Edición: Primera, Madrid 1959

Título: Corrosión y Control de la Corrosión

Autor: Herbet H. Uhling

Editorial: Urmo

Edición: Primera, Bilbao 1963

**Título: Sistema de Protección Anticorrosiva a Base de
Recubrimientos**

Autor: Petróleos Mexicanos

Editorial: PEMEX, Norma 2.411.01

Edición: Sexta, México 1988

Título: Sistema de Aplicación de Recubrimientos Anticorrosivos

Autor: PEMEX

Editorial: I.M.P. Norma 3.411.01

Edición: Quinta, México 1991

Título: Recubrimientos para Protección Anticorrosiva

Autor: PEMEX

Editorial: I.M.P. Norma 4.411.01

Edición: Segunda, México 1990

**Título: Determinación de la Viscosidad Mediante el Viscosímetro
de Copa Ford**

Autor: SAHOP

Editorial: Secofi

Norma: U-37-1978

Título: Pintura, Barnices y Plásticos Protectores
Anticorrosivos de Aplicación "a tres manos"

Autor: Secretaría de Economía, Dirección general de normas

Editorial: Secofi

Norma: Nom-U-18-1957

Título: Prueba del Corte Cuadrulado

Autor: Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial

Editorial: Secofi

Norma: Nom-U-65-1979

Título: Determinación del Tiempo de Secado al Tacto y Tiempo de
Secado Duro de los Recubrimientos para Protección
Anticorrosiva

Autor: SAHOP, IMP, CFE, PEMEX, TELMEX, SCT, CONACYT, etc.

Editorial: Secofi

Norma: Nom-U-31-1977

Título: Determinación de la Resistencia a Altas Temperaturas

Autor: Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial

Editorial: Secofi

Norma: Nom-U-63-1979

A n e x o

1.- Pruebas de Aceptación de un Recubrimiento Anticorrosivo

En este anexo veremos los requisitos mínimos de aceptación, manejo e identificación, así como las pruebas que deben cumplir los recubrimientos para la protección anticorrosiva del acero utilizado en la construcción.

Definiciones

A.- Condiciones de exposición._ Se refiere al medio ambiente del lugar donde se localiza la construcción.

B.- Preparación de superficies._ Es la eliminación de aceite, humedad, suciedad, polvo, herrumbre, escamas de laminación o cualquier material suelto que se encuentre en la superficie a tratar.

B1.- Limpieza con abrasivos . _ Es la eliminación del óxido, aceite, grasa, recubrimiento y de cualquier contaminante existente en la superficie metálica que se va a recubrir, mediante la aplicación de un chorro de abrasivo a presión, que normalmente es arena o granalla metálica.

B2.- Limpieza manual. Es la eliminación de óxido, aceite, grasa, recubrimiento y de cualquier contaminante existente en la superficie metálica que se va a recubrir, mediante utensilios como marro, martillo, cincel, cepillo de alambre de acero, lijas, brochas, etc. O auxiliándose de herramientas neumáticas o eléctricas portátiles.

Se utiliza principalmente en áreas pequeñas, o áreas inaccesibles a otros métodos de limpieza.

B3.- Limpieza química.- Es la eliminación del óxido, grasa, aceite, recubrimiento y cualquier otro contaminante existente en la superficie metálica que se va a recubrir mediante una acción química.

C).- Recubrimiento anticorrosivo.- Es una solución relativamente estable de un pigmento finamente dividido en una solución de una resina y aditivos que se usan para prevenir la corrosión de un metal por aislamiento del medio ambiente.

C1.- Primario.- Es el recubrimiento cuyas funciones principales son la obtención de una buena adherencia con la superficie metálica, inhibir la corrosión y presentar una superficie áspera y compatible para que las capas de enlace o acabado looren una buena adherencia.

C2.- Enlace. También conocido como capa intermedia y su función es adherirse al primario y al acabado, cuando, existan problemas de incompatibilidad o de adherencia.

C3.- Acabado. Como su nombre lo indica, es la última capa del sistema en aplicarse, por lo que este recubrimiento está en contacto con el medio ambiente, su función es promover la impermeabilidad del sistema.

D).- Sistema. Elección óptima del método de preparación de superficie con la combinación compatible de un recubrimiento primario y acabado especial considerando si es necesario un enlace.

1.2.- Materiales

A.- Envasado. _ Todos los recubrimientos deben envasarse en recipientes que no sean atacados por los mismos recubrimientos, dichos recipientes pueden ser de lamina o plastico.

B.- Los materiales deben transportarse con gran seguridad, evitando que los recipientes que los contengan se golpeen o caigan.

C)- los recubrimientos anticorrosivos deben almacenarse a cubierto desde su fabricacion hasta su utilizacion en obras, deben identificarse, indicando la fecha de fabricacion, la identificacion del lote, numero de pedido, requisicion y el tipo de recubrimiento, que en este caso seran los pedidos por "PEMEX", ya que la mayoria de los fabricantes, ingenieros, contratistas y clientes se basan en dichas especificaciones.

RP-2	primario de cromato de zinc.
RP-3	" " zinc 100% inorganico poscurado.
RP-4 TIPO A	primario de zinc 100% inorganico autocurante base acuosa.
RP-4 TIPO B	primario de zinc 100% inorganico autocurante base solvente.
RP-5 TIPO A	primario alquitran de hulla epoxico aminico.
RP-5 TIPO B	" " " " " coliamidico.
RP-6	primario epoxico catalizado.
RP-7	" vinyl epoxico modificado o enlace.

RP-8	"	epoxico catalizado para turbosina.
RP-9	"	hule clorado.
RP-10	"	epoxico catalizado aducto-amina.
RA-20		acabado esmalte alquidico brillante.
RA-21	"	epoxico catalizado.
RA-22	"	vinilico de altos solidos.
RA-23	"	epoxico catalizado para turbosina.
RA-25	"	vinil acrilico.
RA-26	"	epoxico catalizado altos solidos.
RA-27	"	hule clorado.
RA-28	"	poliuretano.
RA-29	"	epoxico catalizado aducto-amina.
RE-30 TIPO A		recubrimiento para altas temperaturas. (80 - 260 Grados centigrados)
RE-30 TIPO B		recubrimiento para altas temperaturas. (260 - 560 Grados centigrados)
RE-31 TIPO A		recubrimiento antivegetativo de oxido cuproso.
RE-31 TIPO B		recubrimiento antivegetativo de tóxicos organometales.
RE-32		recubrimiento para zonas de mares y oleajes.
RE-33	"	alquidico para tambores.
RE-34	"	especial epoxico-aminico para interior de pasaductos.

1.3.- Requisitos de Ejecución.

Para que el comportamiento de un recubrimiento sea bueno es necesario la correcta preparación de la superficie por cubrir, por lo que se debe, (como ya se ha dicho antes), eliminar la grasa, aceite, suciedad, polvo y toda la materia extraña que produce una mala adherencia del recubrimiento a la superficie metálica, también debe proporcionar una rugosidad que permita el anclaje del recubrimiento en la superficie metálica, lo cual es entre el 25 y 30 % del espesor de la película a aplicar.

A).- Métodos más usados:

A1.- Limpieza química.- La limpieza química consta de las siguientes operaciones, que de acuerdo con las condiciones de cada obra, se podrá eliminar o modificar cualesquiera de las que se mencionan a continuación.

1.- Si las grasas y contaminantes son de espesor grande deben eliminarse con rasqueta, espátula y otro medio.

2.- Los nodulos de corrosión deben eliminarse con herramientas de impacto.

3.- La solución del producto químico seleccionado debe aplicarse con brocha o por aspersión, dejándose sobre la superficie el tiempo necesario para su acción, estas soluciones deben prepararse y aplicarse de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

4.- Posteriormente, la solución debe lavarse con agua dulce para eliminar los residuos.

5. Aspecto.- Para aceptar una superficie preparada con limpieza química, debe tener el mismo aspecto que el área de un metro cuadrado seleccionada previamente como patrón y representativa de las condiciones de la superficie por limpiar.

A2.- Limpieza manual.- A continuación se anotan los procedimientos para este tipo de limpieza, pudiendo eliminarse parcial o totalmente algunos de los pasos que se mencionan.

1. Descostrado.- Se utilizará martillo y cincel o marro para quitar las costras de óxido, escamas y restos de soldadura o escorias.

2.- Lavado.- Se utilizarán solventes o detergentes para eliminar toda clase de materias extrañas como aceite y grasas.

3.- Rasquetado y cepillado.- Las superficies deben rasquetarse para eliminar depósitos de óxido, pintura o cualquier otra materia extraña. en todos los casos debe frotarse con cepillo de alambre hasta desaparecer los restos de óxido, pintura u otras materias extrañas.

4.- Lijado y eliminación de polvo.- Si los restos de óxido, pintura etc. No se desprenden por los medios anteriores, deben lijarse, para obtener un anclaje adecuado.

Esta superficie después debe limpiarse con brocha o cepillo de cerda para eliminar las partículas de polvo. o sopletar la superficie con chorro de aire seco y limpio.

5.- Aspecto y aceptación.- Se considera la superficie limpia y lista para recubrirse, si solo presenta restos de óxido o pintura

bien adheridos y no hay huellas de grasa, aceite y otras sustancias extrañas.

Se aceptará si tiene el mismo aspecto que un área de un metro cuadrado, seleccionada antes como patrón.

A3.- Limpieza con abrasivos: consta de las siguientes operaciones y de acuerdo a las condiciones de la superficie o especificaciones de cada obra, se podrá eliminar o modificar la ejecución de cualquiera de estas operaciones.

I.- Se hará un descostrado como se vio en la limpieza manual, a continuación los depósitos de óxido, pintura y cualquier otra sustancia serán removidos de la superficie por medio de chorro abrasivo, dicho abrasivo debe clasificarse entre las mallas 18 y 80 de acuerdo al patrón de anclaje requerido.

Cuando se use arena debe ser cuarzo o sílica, lavada, seca y libre de contaminación de sales.

Cuando se use granalla metálica, debe ser del tipo munición acerada, limpia y seca, aunque también puede usarse escoria de cobre o de cobre.

II.- La rugosidad o máxima profundidad de perfil que se obtenga en la superficie limpia y que servirá de anclaje en el recubrimiento estará comprendida entre 0.001" y 0.0025". De acuerdo con el espesor de película del primario, el cual debe ser mayor que la profundidad del perfil o anclaje; cuando se emplee chorro de arena, se hará una eliminación de polvo de acuerdo al proceso descrito en la limpieza manual.

El aire usado debe estar exento de agua, aceite o grasa.

Cuando se usa oranalla, se puede volver a usar esta, siempre y cuando este libre de contaminantes, seca y ramizada de acuerdo a las mallas seleccionadas en el inciso 1.

III.- Aspecto: de acuerdo con las especificaciones se exigirá que la superficie preparada tenga uno de los aspectos que se indican a continuación:

"metal blanco":- La superficie debe quedar de color gris claro, metálico y uniforme, no deberá mostrar óxido, pintura, aceite, grasa ni otra sustancia extraña.

"Comercial":- La superficie debe quedar de color gris oscuro y no se requiere que sea uniforme, pero no debe tener restos de pintura, grasa, aceite u materias extrañas.

IV.- Aceptación de la superficie.- Para aceptar una superficie preparada con abrasivos, debe tener el mismo aspecto que un área de dos metros cuadrados seleccionada previamente como patron; para comprobar la profundidad de anclaje, la superficie preparada se comparará con la del patron acetado, utilizando la lámpara comparadora de anclaje, Fig. A.1

El tiempo máximo permitido entre la limpieza y la protección de la superficie metálica depende de ambiente, pero nunca debe ser mayor de 4 horas.

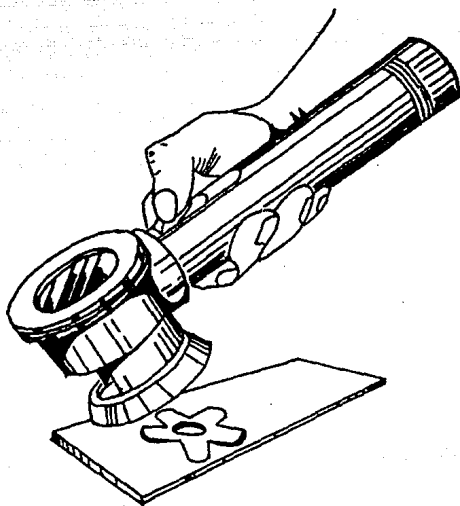


FIG. A.1 LAMPARA COMPARADORA DE ANCLAJE

5).- Aplicación

Cumplidos los requisitos de preparación de la superficie, se entra a la aplicación de los recubrimientos; estos nunca deben aplicarse cuando la temperatura ambiente sea menor a 10 grados centígrados, tampoco deben aplicarse sobre superficies mojadas o húmedas, si la humedad relativa es mayor del 70% debe suspenderse la aplicación.

A continuación los métodos más usados:

B1.- Con brocha y rodillo.- Este se utiliza cuando se requiere una gran humedad de la superficie o cuando las condiciones de trabajo así lo requieran.

B2.- Aspersión.- Este método es el más rápido y las películas resultantes son más uniformes en espesor, la pistola de aspersión es el principal componente de este sistema.

Hay dos métodos para transportar el fluido a la pistola: con aire o sin él. el primero, puede ser por alimentación, por succión o por alimentación a presión, en el segundo, la aspersión se produce forzando el material por alta presión a través de un orificio en la pistola.

1.4. Inspección

La inspección que debe efectuarse en todos los trabajos de aplicación de recubrimientos, una vez aprobados estos en cuanto a su calidad, comprende lo siguiente:

A.- Preparación de superficie.

A.1.- Limpieza manual y limpieza química. Cuando la preparación de superficie se lleva a cabo con los métodos manual y químico, la inspección es visual y por comparación con el aspecto de los patrones, se aprueba o rechaza la superficie.

A.2.- Limpieza con abrasivos. En el caso de limpieza con abrasivos se utilizará la lámpara comparadora de anclajes o el medidor de perfil de anclaje, Fig. A.2., que por comparación óptica con la superficie que se limpia o por medición directa, determinan la profundidad que ha dejado el abrasivo en el metal.

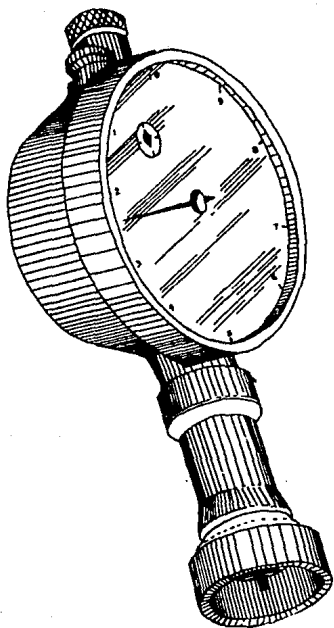
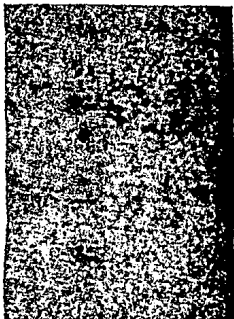


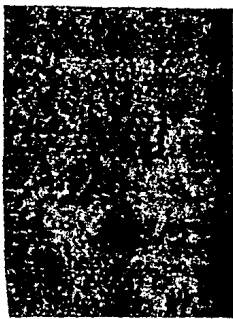
FIG. A.2 MEDIDOR DE PERFIL DE ANCLAJE

Ademas: las superficies deben tener un aspecto final como el que se muestra en los patrones de referencia de acuerdo al estado inicial de la superficie. Fig. A.3.

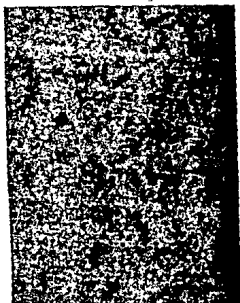
Fig. A.3.- Laminas nuevas sin corrosion



estado original

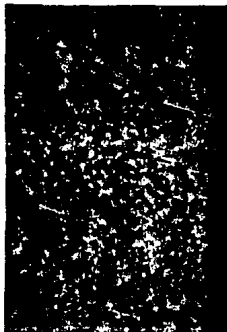


limpieza manual



chorro de abrasivo: acabado comercial y acabado a metal blanco.

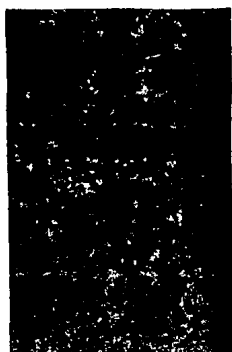
Fig. A.3.- Lamina con corrosión leve, (exposición de 3 meses aproximadamente, a la intemperie en un ambiente húmedo y salino, sin protección.



Estado original



limpieza manual



chorro de abrasivo: acabado comercial y acabado a metal blanco.

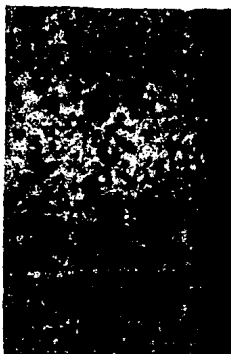
Fig. A.3 .- Lamina con corrosión moderada. (exposición sin protección de 1 año aproximadamente a la intemperie en un ambiente húmedo y salino).



Estado original



limpieza manual

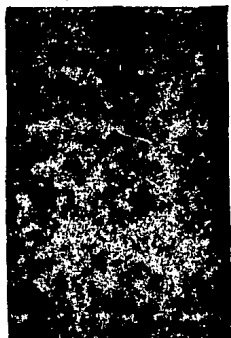


chorro de abrasivo; acabado comercial y acabado a metal blanco.

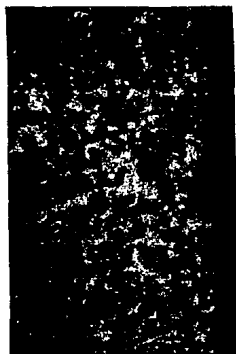
Fig. A.3.- Lamina con corrosión severa. (exposición sin protección de 3 años aproximadamente a la intemperie en un ambiente húmedo y salino).



Estado original



limpieza manual



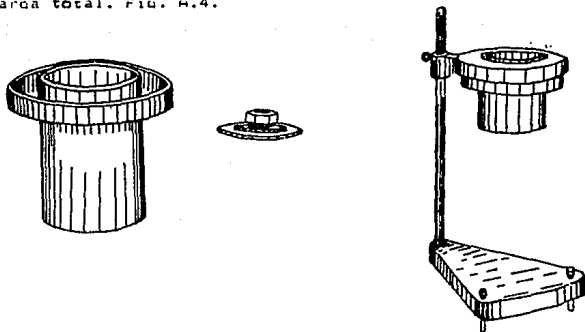
chorro de abrasivo: acabado comercial y acabado a metal blanco.

B.- Revisión del equipo de preparación de superficie, del de aplicación y condiciones de operación de los mismos.

Debe tenerse especial cuidado en que el estado y funcionamiento del equipo de compresión, filtros etc. Sea el correcto, comprobar que el aire este limpio y seco, además el equipo debe estar operando dentro de los límites y capacidad especificados en los mismos. se debe contar con manómetros a la salida del tanque de la compresora, al final de las mangueras de abrasivos y en los recipientes de aplicación de los materiales: también antes de iniciar la aplicación se verificara que los recipientes, líneas y pistolas estén limpios y exentos de contaminantes tales como: residuos, solventes, etc.

C.- Metodo de prueba de la viscosidad de pinturas mediante el viscosímetro de copa ford. (Norma u-37-1978).

Esta norma establece el metodo de prueba para determinar la viscosidad de pinturas empleando el viscosímetro de copa ford descarga total. Fig. A.4.



C1.- Metodo o prueba. Se llena en su totalidad la copa del viscosimetro, con el liquido que se va a probar y se mide el tiempo de descarga del material, hasta el momento en que se interrumpe la corriente del liquido.

La combinacion copa-orificio (ford num. 2, 3, o, 4) Se debe seleccionar en cada caso para que el tiempo de descarga este dentro de un intervalo de 20 a 100 seg.

Para la aplicacion por aspersión, la viscosidad debe ajustarse a 25 ± 5 seg. Cuando se utilice la copa ford no 4 (en caso de utilizar la espátula, el recorrido del recubrimiento a lo largo de la ranura debera ser de 4 ± 1 seg. En la direccion marcada en la misma espátula).

Para la aplicacion con brocha, la viscosidad en la copa ford no 4 debe ajustarse a 60 ± 5 seg.

En el caso de utilizar espátula, la viscosidad se ajustara a 5 ± 1 seg. Por el extremo contrario al caso anterior.


C2.- Aparatos.

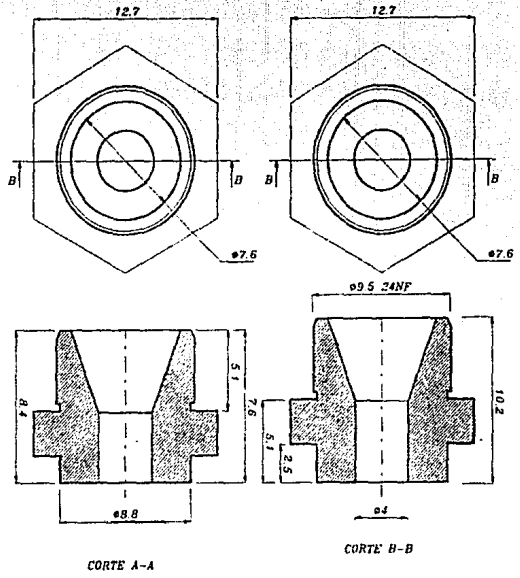
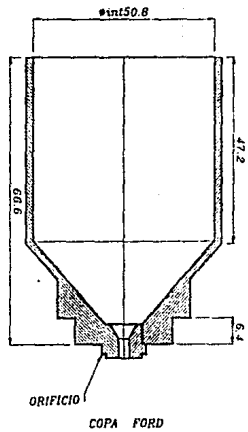
Las copas ford deben ser construidas de materiales resistentes a la oxidacion, a los disolventes y estar ensambladas como unidades completas de acuerdo con la dimensiones que se indican en la Fig.

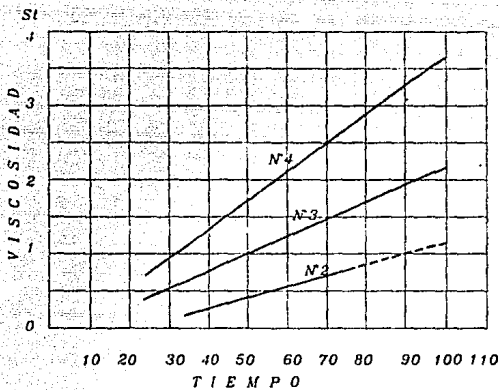
A.4.1.

Las dimensiones de los orificios deben considerarse solamente como una guia para la manufactura; la calibracion del aparato debe efectuarse sobre la base de las caracteristicas del flujo del liquido requeridas como se indica en la Fig.4.4.2.

Termómetro.- Este debe tener un intervalo de temperatura entre

	NOM - U - 37
	Fig. A. 4.1
COPA FORD Y ORIFICIOS	
Esc. No	
Acol. No	





NOM- U - 37

CURVAS PATRONES DE VISCOSIDAD
PARA COPAS FORD

Esc: No

Acot: No

Fig. A.4.2

19 y 27 grados centígrados en divisiones 0.1 Grados centígrados.

Cronómetro.— Este debe estar graduado en divisiones de 0.2 Seg. 0 menos y con una precisión del 0.1%. Cuando este se pruebe durante un período de una hora.

C3.— Procedimiento.

Temperaturas.— Todas las mediciones en el viscosímetro de la copa Ford se deben hacer a 25 grados centígrados y la desviación de temperatura durante la prueba no debe exceder de 0.3 Grados centígrados cuando esta se tome, con el termómetro, en la corrientes de descarga.

Todas las determinaciones de viscosidad se deben hacer en un cuarto libre de corrientes de aire y cambios rápidos de temperatura. La temperatura del cuarto debe estar entre 20 y 30 grados centígrados.

Se debe seleccionar la copa de modo que el tiempo de descarga sea entre 20 y 100 seg., para copas No 3 y 4, entre 40 y 100 seg., para copa No 2.

Para determinar el tiempo de descarga, en seg. Se tapa el orificio con los dedos y se llena la copa con la muestra preparada, hasta que la parte superior del líquido este perfectamente al ras con la parte superior de la copa.

Si la copa se llena demasiado, enrasa la superficie con una espátula, para retirar el exceso de líquido, con el cronómetro medir el tiempo desde el momento en que se inicia la descarga, hasta que se interrumpe la corriente del líquido.

Debe ajustarse a 25 ± 5 seg. Cuando se utiliza la Copa Ford

No. 4: en caso de utilizar la espátula el recorrido del recubrimiento a lo largo de la ranura deberá ser de 4 ± 1 seg. En la dirección marcada en la misma espátula.

La diferencia máxima permisible en pruebas efectuadas por duplicado no deben diferir en $\pm 3\%$.

D.- Espesor de película.

D1.- En la medición del espesor de película húmeda se debe emplear un medidor de lectura directa. Fig. A.5.

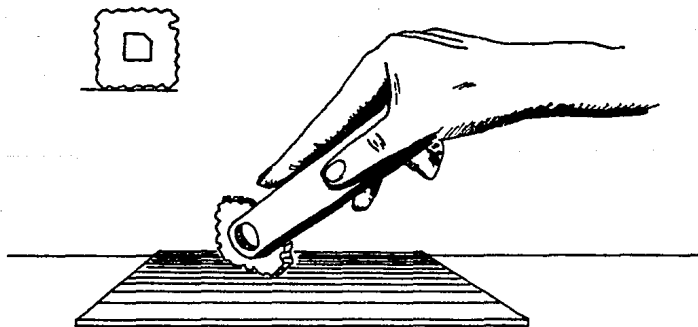


Fig. A.5.- Medidor de espesor de película húmeda.

El instrumento se coloca perpendicular a la superficie y el espesor del recubrimiento se lee directamente; si el calibrador se usa para determinar espesores de película húmeda de capas subsiguientes a la primera, se tendrá cuidado de que las capas inferiores parcialmente endurecidas no sean penetradas bajo la presión del calibrador, pues daría lecturas más altas.

D2.- Determinación del tiempo de secado al tacto y tiempo de secado duro de los recubrimientos para protección anticorrosiva. (Norma U-31-1977).

a.- Aparatos y equipo.- Placas de vidrio de 20 x 10 (8" x 4"), aplicador de película húmeda, (equipo de aspersión, recipiente de inmersión o brocha), y medidor de espesores de película húmeda.

b.- Preparación de muestra.- En placas de vidrio perfectamente limpias, se aplica el recubrimiento para protección anticorrosiva hasta obtener un espesor adecuado de película húmeda, el cual se determina según el tipo de recubrimiento por analizarse; el espesor de película húmeda debe verificarse inmediatamente después de aplicado.

Las placas de vidrio deben ser colocadas en posición horizontal y evitar la acumulación de polvo durante el secado, se anota la hora en que se hace la aplicación.

c.- Procedimiento.- Todas las mediciones deben hacerse a una temperatura ambiente de 25 ± 2 grados centígrados y una humedad relativa de $50 \pm 5\%$, evitando el polvo, corrientes de aire y exposición correcta a la luz del sol.

Las determinaciones deben efectuarse de acuerdo a viscosidades y

espesores especificados, aplicando el recubrimiento dentro de una área cuyo perímetro no quede a menos de 1 cm de las orillas de la placa de vidrio recubierta.

d.- Determinación de secado al tacto: se considera que la película aplicada a secado al tacto, cuando al tocarla con el dedo y después con esta mismo se toca un pedazo de vidrio limpio, no quede huella de aceite, resina o de algún otro componente de la pintura sobre el vidrio.

e.- Determinación de secado duro: con la yema del dedo pulgar puesta sobre la película de prueba y el dedo índice soportando la placa de vidrio, se ejerce la máxima presión hacia abajo, con el pulgar sin girar, a continuación se frota ligeramente la huella dejada con una tela suave; se considera que la película ha alcanzado su secado duro, cuando cualquier marca dejada por el dedo pulgar desaparece completamente con la operación de frotar.

El tiempo que transcurre entre la aplicación de la pintura y el punto final en cada caso, se debe expresar como tiempo de secado en horas y minutos, incluyendo las condiciones de prueba utilizadas.

D3.- El espesor de película seca, se mide empleando calibradores de tipo magnético, Fig. 4.6, o similares, de tipo óptico, Fig. A.7, destructivo o similar y de tipo electrónico, Fig. A.8.

a. Los calibradores de tipo magnético trabajan con la base de que un recubrimiento no magnético cambia la reluctancia al paso del flujo magnético que haya sido establecido, entre la cabeza y la base magnética a la cual se ha aplicado el recubrimiento.

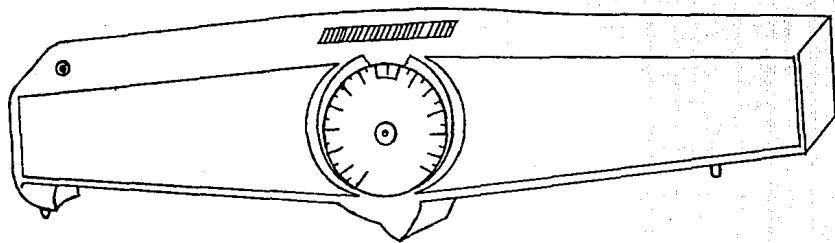


FIG. A.6 MEDIDOR DE ESPESOR DE PELICULA SECA



FIG. A .7 MEDIDOR DE ESPESOR DE PELICULA
SECA TIPO OPTICO

El cambio de reluctancia es una función del espesor del recubrimiento por lo que puede calibrarse el aparato para leer el espesor directamente.

Los instrumentos deben calibrarse con una laminilla empleada como patrón, que sea aproximadamente del espesor del recubrimiento a medir.

La calibración consiste en colocar el patrón del espesor conocido sobre una superficie metálica desnuda, se ajusta al instrumento hasta que se lea correctamente el espesor.

Sobre una superficie limpia y lisa, el instrumento debe leerse cuando se retire del patrón y el aparato haga contacto con la superficie metálica.

Deben hacerse suficientes mediciones para determinar la uniformidad general del espesor de recubrimiento y determinar si los espesores máximos y mínimos especificados se cumplen.

b. Con los medidores de tipo óptico, el espesor medido se lee directamente en una escala en el ocular.

Con este medidor, (ver Fig. A.7), Se pueden obtener lecturas de hasta 100 milésimas de espesor total del sistema, así como los espesores parciales de las capas que los formen.

Para realizar la medición se hace un corte, colocando el buril perpendicularmente a la superficie por inspeccionar, presionando de tal manera que se lleque a la superficie del sustrato; inmediatamente se coloca el ocular en la incisión, alineando las divisiones de la escala paralelas al corte y se lee directamente en la escala de los espesores oscados, Fig. A.9.

c... Con los medidores electricos, deben hacerse los ajustes indicados en el instrumento respectivo y se procedera a hacer la medicion mediante la aplicacion del detector al recubrimiento a medir leyendose directamente en la pantalla el espesor buscado.

Fig. A.8.

E.- Continuidad de pelicula.

Se efectuara la prueba con un detector electrico no destructivo, Fig. A.10. El cual aplica una tension de 67.5 Volts de corriente directa.

El aparato consta de dos electrodos, uno es un cable que se conecta a tierra o a alguna parte desnuda de la superficie metalica y el electrodo de inspeccion, que es un baston en cuyo extremo lleva una esponja natural, que se satura de agua y se pasea por la superficie recubierta para localizar poros, o cualquier otro tipo de irregularidad de la superficie metalica que no fue recubierta, tales como rebabas, gotas de soldadura, etc. El electrólito de la esponja al penetrar en estos cierra el circuito, anunciandose por un sonido la existencia de la falla.

F.- Adherencia.

Prueba del corte cuadrado. (Norma u-65-1979)

Esta norma especifica el método para determinar, por medio de una prueba empirica sencilla, la resistencia de las pinturas a la separación del sustrato cuando se corta un patrón enrejado en el recubrimiento penetrando hasta el sustrato.

Cuando se aplica al sistema de varias capas, el procedimiento también permite determinar la resistencia de las mismas capas a

FIG. A.9 VISTA MACROSCOPICA DEL CORTE ESQUEMATICO

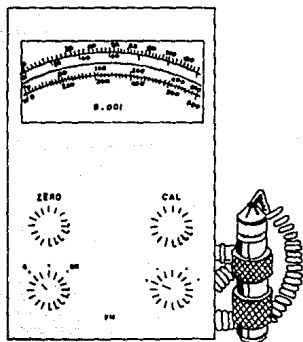
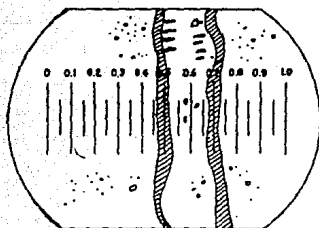
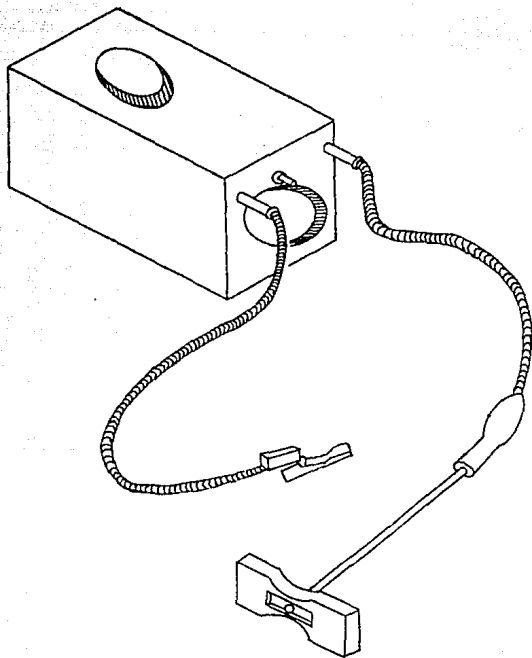


FIG. A.8 MEDIDOR DE ESPESOR DE PELICULA
SECA TIPO ELECTRONICO

FIG. A.10 DETECTOR ELECTRONICO DE CONTINUIDAD
DE PELICULA (NO DESTRUCTIVO)



separarlas una de otra.

a.-El instrumento para efectuar esta medición, fig. A.11 Consta de 6 cuchillas distantes entre sí 1mm para espesores totales hasta 2 milésimas, de 2mm para espesores entre 2.0 y 10.0 milésimas y para espesores superiores se utilizara una separación entre cuchillas de 3mm.

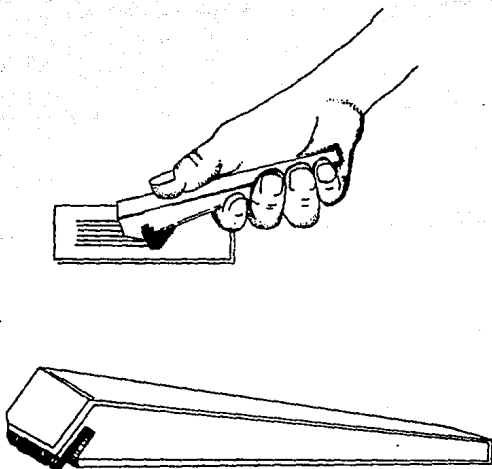


Fig. A.11.- Peine de Ranuras.

Se efectúan cortes paralelos a través del recubrimiento en una dirección y otra serie de cortes transversales para formar 25 cuadros.

El Peine de Ranuras debe colocarse siempre sobre películas secas, asegurarse de que todos los cortes lleguen hasta el substrato sin penetrar en él mismo; realizando dicho enrejado se cepilla vigorosamente para eliminar el material removido durante el corte y se procede a fijar una cinta adhesiva transparente sobre el enrejado, para despegarla rápidamente de un solo movimiento.

Si no se contara con el peine de ranuras, se puede construir la cuadrícula con una regla y una navaja afilada de tipo duro, conservando los mismos espaciamientos de acuerdo al espesor del recubrimiento que en el caso del peine de ranuras.

b.- Preparación y recubrimiento de los paneles.

Los paneles de prueba deberán ser planos y libres de distorsiones, con unas dimensiones que deberán permitir que la prueba se lleve a cabo en tres diferentes posiciones del panel, cuya distancia entre una y otra, y el borde más cercano del panel no sea menor de 5 mm. el espesor en micras del recubrimiento seco debe determinarse con una exactitud de $\pm 10\%$ o de ± 5 micras, cualquiera de los dos que sea el valor más bajo.

c.- Procedimiento.

Condiciones ambientales.- Llevar a cabo la prueba a una temperatura de 23 ± 2 grados centígrados y una humedad relativa de $50 \pm 5\%$ a menos que se especifique lo contrario. No. De cortes.- En cada dirección del patrón debe ser o o de 11, según

lo acordado entre los interesados, a continuación cepillar ligeramente el panel con el cepillo suave, 5 veces hacia atrás y 5 veces hacia adelante a todo lo largo de las diagonales del patrón enrejado.

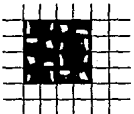
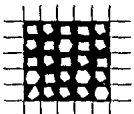
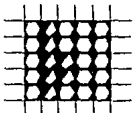
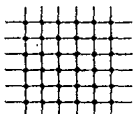
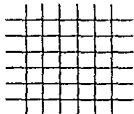
Generalmente la prueba puede llevarse a cabo, usando solamente cepillo para eliminar las porciones que se desprendieron de la capa de pintura. Otras circunstancias y requerimientos especiales pueden, sin embargo hacer necesario el uso de cinta adhesiva para este propósito, por lo cual después de realizado el cepillado, se procede a fijar una cinta adhesiva transparente sobre el enrejado, para despejarla rápidamente de un solo movimiento.

Evaluación.- Una clasificación de 5 pasos se da en la tabla no 1, los tres primeros pasos normalmente bastarían para propósitos generales y deben usarse cuando se requiera el avalúo de "pasa no pasa", las circunstancias especiales pueden incrementarse por lo cual es necesaria la clasificación de 5 pasos.

G.- Pinturas, barnices y plásticos protectores de aplicación a "tres manos". (Norma U-18-1957).

a.- Definición.- En esta norma se entiende por recubrimientos protectores de aplicación a "tres manos" contra la oxidación, a los productos industriales hechos a base de resinas sintéticas tales como polímeros y copolímeros del vinilo, hule clorado, resinas acrílicas, etc. Con pigmentos o sin ellos, que se apliquen a las "estructuras metálicas", tuberías u otros materiales, para protegerlos de la acción del medio en el cual

T A B L A 1

DESCRIPCION	ILUSTRACION DE LA SUPERFICIE DESPRENDIDA	GRADO
<p>LA PINTURA SE DESPRENDE EN LOS BORDES DE LOS CORTES EN FRANJAS AMPLIAS Y TOTAL O PARCIALMENTE EN UN SOLO FRAGMENTO. SUPERFICIE DESPRENDIDA: APROX. 65% O MAS DEL AREA TOTAL.</p>		<p>E</p>
<p>LA PINTURA SE DESPRENDE TOTAL O PARCIALMENTE EN LOS BORDES DE LOS CORTES EN FRANJAS AMPLIAS Y TOTAL O PARCIALMENTE EN UN SOLO FRAGMENTO. SUPERFICIE DESPRENDIDA: APROX. 35% DEL AREA TOTAL.</p>		<p>D</p>
<p>LA PINTURA SE DESPRENDE EN LOS BORDES DE LOS CORTES EN FRANJAS AMPLIAS Y EN LOS PUNTOS DE INTERSECCION DE LAS LINEAS DEL ENREJADO. SUPERFICIE DESPRENDIDA: APROX. 15% DEL AREA TOTAL.</p>		<p>C</p>
<p>LA PINTURA SE DESPRENDE EN PEQUEÑOS FRAGMENTOS EN LOS PUNTOS DE INTERSECCION DE LAS LINEAS DEL ENREJADO. SUPERFICIE DESPRENDIDA: APROX. 5% DEL AREA TOTAL.</p>		<p>B</p>
<p>LA PINTURA NO SE DESPRENDE. LOS BORDES DEL CORTE PERMANECEN INTACTOS</p>		<p>A</p>

van a estar en contacto.

Estos recubrimientos comprenden materiales que pueden ser el mismo para la aplicación en las 3 manos o diferente para cada una y por consiguiente se usaran como capa primaria o de acabado dependiendo de sus propiedades.

Cualquiera que sea la composición de estos productos, deberán satisfacer las pruebas que se establecen en esta norma y se consideraran de un solo grado de calidad.

b.- Muestreo.

Lote de entrega.- Estara constituido por la cantidad total del producto del motivo de la transacción comercial.

Lote de prueba.- Estara constituido por la raíz cuadrada del lote de entrega.

Lote de muestra.- De los lotes de prueba se tomara al azar la cantidad suficiente de muestra representativa para efectuar las pruebas.

c.- Metodo.

Especimenes para prueba.- Se usaran placas de acero de 7.7 X 10.2 (3" X 4").

Aplicación del producto.- La primera capa deberá aplicarse con brocha de pelo o pistola a la consistencia recomendada por el fabricante, se debe aplicar liberalmente, pasando bien la brocha por toda la superficie para asegurar una buena imprimación, la superficie deberá esta recién limpiada, libre de oxidos y de grasas.

El recubrimiento de la primera no debe ser menor de 6 metros

cuadrados por litro. Deberá dejarse secar un mínimo de 4 horas antes de aplicar la segunda mano (capa).

La segunda capa deberá dejarse 8 horas o las que indique el fabricante en casos especiales, antes de aplicar la tercera capa y esta última deberá dejarse secar durante 72 horas antes de iniciar las pruebas.

Cuando se use procha de pelo para aplicar el recubrimiento, este deberá estar a la consistencia que tiene en el envase original y deberá hacerse fluir de procha llena sobre la superficie, ejerciendo una ligera presión y con un mínimo de repasadas.

Espesor de la película.- El espesor total de las tres capas de película no deberá ser menor a 5 milésimas de pulgada.

d.- Pruebas.

d1.- Adherencia. La adherencia y la continuidad de la película deberán ser tales, que dicha película no se pueda desprender de la superficie de la placa, ni se produzcan separaciones entre capas, cuando se aplique la punta de una navaja, bajo el extremo de una tira de película comprendida entre dos cortes rectos, paralelos y normales a la placa, separados 2mm entre sí; se tira de dicho extremo, en la dirección de la franja de la película.

d2.- Flexibilidad. Una placa con el recubrimiento aplicado en la forma que se indicó antes, se doblará a 180 grados sobre un mandril de 2.54 cm (1") de diámetro, con la superficie recubierta hacia el lado externo al doblar. Esta prueba debe hacerse a temperatura ambiente.

d3.- Método por la Caída de Arena.- Este método tiene por objeto

determinar la resistencia a la abrasión de las capas de pintura, por medio del impacto de un chorro de arena, cuando las capas se aplican sobre laminas planas de material de superficie uniforme.

La resistencia a la abrasión se determina por la cantidad de abrasivo (arena de río) que se necesita para desgastar totalmente una unidad de espesor de la capa, al caer arena desde una altura especificada, a través de un tubo guía.

Para realizar esta prueba se usa un aparato que consta de un tubo guía, el cual está firmemente sostenido en posición vertical sobre un recubrimiento adecuado, dicho aparato deberá tener un soporte para la placa pintada, con una inclinación de 45 grados con respecto a la vertical, de manera que la apertura del tubo quede directamente arriba del área que se va a someter a la abrasión, la distancia del extremo del tubo al punto más cercano de dicha área, deberá ser de 2.04 cm (1") medida en dirección vertical, la base del aparato deberá tener tornillos ajustables para el alineamiento del equipo, en la parte superior del tubo guía se encuentra un embudo, en el cual se vacía una cantidad de arena normal, esta arena será de sílice natural, graduada para que pase por la malla #20 (840 micras) y quede retenida en la malla #30 (600 micras), se considera normal cuando no más de 15 o pasen por la malla #30 después de 5 minutos de tamizado continuo de una muestra de 100qt; se deberá observar el chorro de arena que sale por el extremo inferior del tubo guía y se alineará el aparato por medio de los tornillos niveladores de la base, de manera que la parte central del chorro de arena más concentrada,

caiga coincidiendo con el eje del flujo de arena, cuando se observa lateralmente desde dos direcciones que forman entre sí un ángulo de 90 grados, una vez centrado el aparato se vierte en el embudo un volumen determinado de arena (una cantidad conveniente es de 2000 +/- 10 ml) y se mide el tiempo que tarda en caer dicho volumen, la rapidez de salida deberá ser: 2 litros de arena en 21 a 23.5 Seg.. El área total sujeta a la abrasión deberá ser de forma elíptica aprox. 2.54 cm (1") De ancho por 3.18 cm (1.25")

Prueba.- El recubrimiento que se va a probar se aplica sobre superficies limpias, de textura superficial uniforme, a menos que se especifique otra cosa; deberán emplearse placas de acero para la prueba y acondicionarse hasta que quede en una atmósfera a 25 grados centígrados y 50 % de humedad relativa.

Una vez acondicionada la placa para la prueba se fijara en el aparato en la forma que se indico en (d3).

La arena normal medida volumetricamente en una probeta, se vertera en el embudo del aparato hasta descubrir una area de 4 mm de diámetro de la superficie de la placa.

Es conveniente agregar la arena en porciones 2000 +/- 10 ml; estas pueden disminuirse a 200 +/- 2 ml, al aproximarse al final de la prueba, después debe medirse el espesor de la película alrededor del área desgastada por la abrasión.

Calculos.- El Coeficiente de Abrasión que se asigne al material ensayado deberá ser el promedio de 3 pruebas y de los valores obtenidos por medio de los valores calculados por medio de la siguiente formula:

CA = V/E en la que:

CA.- Coeficiente de Abrasión expresado en litros de arena 30-30. por 0.01 mm.

V.- Volumen de arena usada en litros.

E.- Espesor de película en centésimos de mm.

Las determinaciones individuales efectuadas en cada placa deberán coincidir con un margen de $\pm 10\%$ con el valor promedio obtenido en cada placa y los valores medios así obtenidos en diferentes placas, cubiertas con el mismo material y con el mismo espesor, deberán coincidir con una tolerancia del 10% .

d4.- Resistencia Química.

Se utilizarán cilindros de acero de 2.54 cm (1") De diámetro por 15 cm (6") de largo, aprox., Con un extremo bien redondeado y el otro provisto de un gancho para poderlos suspender.

Estos cilindros se sumergirán en los siguientes líquidos durante 7 días a 60 grados centígrados:

- 1.- Acido sulfúrico diluido al 10 %.
- 2.- Hidróxido de sodio al 10 %.
- 3.- Agua destilada.

d5.- Resistencia a la Gasolina y al alcohol etílico de 95 grados.

Serán barras similares a las utilizadas en la prueba anterior las cuales se sumergirán durante 24 horas a 22.8 ± 1.1 Grados centígrados, en gasolina blanca y alcohol etílico.

Las observaciones de los resultados deberán hacerse 24 horas

después de haber sacado las barras de los baños de inmersión.

H.- Determinación de la Resistencia a Altas Temperaturas.

(Norma u-73-1979).

H1.- Aparatos y Equipos:

Laminas de acero de 10 x 20 cm (4" x 8").

Equipo de aspersión.

Medidores de espesores de película seca.

Mufla con control de temperatura.

H2.- Preparación de especímenes.

El recubrimiento se aplica por aspersión a 25.4 mm (1") De espesor de película seca sobre las laminas de acero.

Estos especímenes de prueba deben dejarse secar por 24 horas a 25 +/- 2 grados centígrados y 50 +/- 4 % de humedad relativa.

H3.- Procedimiento.

Se introducen los especímenes preparados y acondicionados de acuerdo con el inciso anterior, a la mufla durante 24 horas y a una temperatura establecida de común acuerdo entre comprador y vendedor, transcurrido dicho tiempo, se sumerge uno de los especímenes en agua a 21 +/- 3 grados centígrados.

Se saca del agua y se examina cuidadosamente, no debe mostrar ablandamiento, agrietamiento, amollamiento o pérdida de adhesión a simple vista.

Enfriar el otro espécimen y mantenerlo a una temperatura de 24 +/- 3 grados centígrados durante una hora e inmediatamente doblarlo sobre un mandril de acero de 12.7 mm (1/2") De diámetro.

no debe mostrar agrietamiento o pérdida de adhesión a simple vista.

1.5.- Condiciones de Exposición:

A.- Las condiciones de exposición son las que establecen los requisitos mínimos de selección de sistemas de protección anticorrosiva a base de recubrimientos para superficies de acero expuestas a diferentes condiciones ambientales: a continuación se describen los ambientes y exposiciones más comunes en la república mexicana.

A.1._ Ambiente Seco: es el que predomina en zonas climatológicas cuya humedad es menor del 60 %. como las de reynosa, salamanca, monterrey, monclova y tula.

A.2._ Ambiente Húmedo: es el que predomina en zonas climatológicas como las de méxico, Puebla y parte de tabasco, cuya humedad relativa es del 60% o mayor.

A.3._ Ambiente Húmedo y Salino: es el que predomina en las zonas climatológicas cuya humedad relativa es mayor del 60% y con brisa marina, como las de Tampico, Cd. Madero, Tuxpan, Coahuila de Zaragoza, Campeche, Acapulco, Mazatlán, Manzanillo, Guaymas, La Paz, etc.

A.4._ Ambiente Marino: es el que predomina en instalaciones sobre la superficie del mar, tales como la parte aérea de plataformas marinas.

A.5._ Exposición al Agua Cruda, tratada y potable: son las condiciones existentes en interiores de tanques y recipientes para cada tipo de agua.

A.6_ Exposición a Turbosina: son las condiciones en interiores de tanques y tuberías para turbosina en las refineries, plantas y terminales de almacenamiento, distribución o equipo de transporte.

A.7_ Exposición a Alta Temperatura: son las condiciones existentes en el exterior de chimeneas y equipo en general, sujetos a temperaturas superiores a 80 grados centígrados.

A.8_ Zonas Propicias al Desarrollo de Organismos: son las condiciones existentes en la parte siempre sumergida de embarcaciones (bajo la línea mínima de carga o flotación), en torres de enfriamiento, cambiadores de calor, etc.

A.9_ Zona de Mareas y Oleajes: son las condiciones existentes en la zona de variación de mareas y oleajes en estructuras de muelles, diques, plataformas marinas de perforación, buquetanques, etc.

A.10. Exterior de Tuberías que operan a bajas Temperaturas: se refiere a las condiciones existentes en la pared externa de tuberías transportadoras de productos que operan a bajas temperaturas (abajo de 10 grados centígrados).

1.6. Sistemas para cada Tipo de Exposición.

En la tabla siguiente se describen las características de los sistemas para condición de exposición. Se incluyen los requisitos de preparación de superficie, de tipo primario y acabado, número de manos y espesor en milésimas de película seca de cada uno de ellos, así como el sistema de aplicación recomendado.

Primario Acabado

Condición Preparación Rec. No de Esp. Rec. No de Esp. Aplicación Dos.
de Exd. de la Sub. Cajas Cajas

	L M							Brocha d	
Ambiente	L.Ch.A.Com.	RP-2	2	1.5	RA-20	2	1.5	Aspersión	1
Seco	L.Ch.A.Com.	RP-2	2	1.5	RA-28	2	1.5	Aspersión	
	L.Ch.A.M.B.	RP-9	2	1.5	RA-27	2	2.0	Aspersión	

L.M. O

L.Ch.A.Com.	RP-2	2	1.5	RA-20	2	1.5	Aspersión	
L.Ch.A.Com.	RP-2	2	1.5	RA-28	2	2.0	Aspersión	

L.Ch.A.M.B.	RP-3	1	2-3	RA-21	2	1.5	Aspersión	
				RA-22	2	3.0	Aspersión	2
				RA-25	2	2.0	Aspersión	
				RA-26	2	5.0	Aspersión	

L.Ch.A.M.B.	RP-4A	1	2-3	RA-21	2	1.5	Aspersión	
				RA-22	2	3.0	Aspersión	2
				RA-25	2	2.0	Aspersión	
				RA-26	2	5.0	Aspersión	

Ambiente

Humedo	RP-4B	1	2-3	RA-21	2	1.5	Aspersión	
				RA-22	2	3.0	Aspersión	3
				RA-25	2	2.0	Aspersión	

				RA-26	2	5.0	Aspersión	
<hr/>								
	L.Ch.A.M.B. RP-6	1	2.0	RA-21	2	1.5	Aspersión	
				RA-26	2	5.0	Aspersión	
				RA-28	2	2.0	Aspersión	
<hr/>								
	L.Ch.A.M.B. RP-7	2	1.0	RA-22	2	3.0	Aspersión	
				RA-25	2	1.0	Aspersión	4
				RA-28	2	2.0	Aspersión	
<hr/>								
	L.Ch.A.M.B. RP-9	2	1.5	RA-27	2	2.0	Aspersión	
<hr/>								
	L.Ch.A.M.B. RP-3	1	2-3	RA-21	2	2.0	Aspersión	
				RA-22	2	3.0	Aspersión	
				RA-25	2	2.0	Aspersión	
Ambiente				RA-26	2	5.0	Aspersión	
Húmedo								2
Salino	L.Ch.A.M.B. RP-4A	1	2-3	RA-21	2	2.0	Aspersión	
				RA-22	2	3.0	Aspersión	
	RP-4B			RA-25	2	2.0	Aspersión	
				RA-26	2	5.0	Aspersión	
<hr/>								
	L.Ch.A.M.B. RP-6	1	2.0	RA-21	2	2.0	Aspersión	
				RA-26	2	5.0	Aspersión	
				RA-28	2	2.0	Aspersión	
<hr/>								

L.Ch.A.M.B. RP-9 2 1.5 RA-27 2 2.0 Aspersión

L.Ch.A.M.B. RP-10 1 5.0 RA-29 1 6.0 Aspersión

L.Ch.A.M.B. RP-4A 1 2-3 RA-21 1 2.0 Aspersión
 RA-22 2 3.0 Aspersión 2
 RP-4B RA-25 2 2.0 Aspersión
 RA-26 2 5.0 Aspersión

Ambiente

Marino L.Ch.A.M.B. RP-6 1 2.0 RA-21 2 2.0 Aspersión
 RA-26 2 5.0 Aspersión
 RA-28 2 2.0 Aspersión

L.Ch.A.M.B. RP-9 2 1.5 RA-27 2 2.0 Aspersión

L.Ch.A.M.B. RP-10 1 5.0 RA-29 1 6.0 Aspersión

Exposi- L.Ch.A.Com. RP-5a 2 6-8 S/A Aspersión

cion al RP-5b

agua sal L.Ch.A.M.B. RP-10 1 5.0 RA-29 1 6.0 Aspersión

5

Exposi- L.Ch.A.M.B. RP-6 1 2.0 RA-26 2 5.0 Aspersión

cion al L.Ch.A.Com. RP-7 2 1.0 RA-22 2 3.0 Aspersión

agua pot L.Ch.A.M.B. RP-9 2 1.5 RA-27 2 2.0 Aspersión

Turposina L.Ch.A.M.B. RP-8 1 2.0 RA-23 1 5.0 Aspersión

- 4.- El RP-7 como primario.
- 5.- Detectar continuidad electrica.
- 6.- A) de 80 a 260 grados centigrados.
B) de 260 a 560 " "