

107
2 ej.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



**CONTROL Y PREVENCIÓN DE LA CORROSIÓN DE
SUPERFICIES METÁLICAS POR APLICACIÓN
DE RECUBRIMIENTOS**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUIMICO**

P R E S E N T A :

RUBEN TORRES LOPEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 D I C E

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. CORROSION	
TEORIA DE LA CORROSION	3
CLASIFICACION DE LA CORROSION	8
- CORROSION POR ATAQUE UNIFORME	8
- CORROSION ELECTROQUIMICA	8
- CORROSION GALVANICA	14
- CORROSION POR CELDAS	16
- CORROSION INTERCRISTALINA	19
- CORROSION POR DISOLUCION SELECTIVA	20
- CORROSION POR GRAFITIZACION	21
- CORROSION POR DESGASTE	21
- CORROSION POR TENSION O ESFUERZO	24
- CORROSION POR FATIGA	25
- CORROSION POR DAÑO POR HIDROGENO	25
- CORROSION-EROSION	28
- CORROSION BIOLOGICA	29
MATERIALES SUJETOS A CORROSION	36
METALES Y ALEACIONES	
- FUNDICIONES DE HIERRO	36
- ACEROS DE BAJA ALEACION	39
- ACEROS INOXIDABLES	39
- ACERO INOXIDABLE COLADO	43
- ALUMINIO Y SUS ALEACIONES	47
- TUNGSTENO	49
- ZIRCONIO	49
- MAGNESIO Y SUS ALEACIONES	50
- PLOMO Y SUS ALEACIONES	51
- COBRE Y SUS ALEACIONES	51
- NIQUEL Y SUS ALEACIONES	54
- ZINC Y SUS ALEACIONES	55
- ESTAÑO	56
- CADMIO	57
- TITANIO Y SUS ALEACIONES	57

	Pág.
METALES REFRACTARIOS	59
- COLUMBIO	60
- MOLIBDENO	60
- TANTALIO	60
METALES NOBLES	
- ORO	61
- PLATINO	62
- PLATA	63
MATERIALES NO-METALICOS	
- HULES NATURALES	64
- HULES SINTETICOS	64
- PLASTICOS	67
OTROS MATERIALES NO-METALICOS	
- CERAMICA	71
- LADRILLOS ACIDOS	71
- BARRO Y PORCELANA	71
- ARCILLA ESTRUCTURAL	72
- VIDRIO	72
- SILICE VITREOSA	72
- CONCRETO	72
- CARBONO Y GRAFITO	73
- MADERA	74
 III. SISTEMAS DE PROTECCION ANTICORROSIVA	
METODOS DE PROTECCION ANTICORROSIVA	75
- SELECCION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION	75
- ALTERACION DEL MEDIO CORROSIVO	77
- DISEÑO ANTICORROSIVO	86
- PROTECCION CATODICA	87
- PROTECCION ANODICA	100
- RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS	105
CLASIFICACION	106
SISTEMAS DE RECUBRIMIENTOS (CLASIFICACION)	117
ESPECIFICACIONES PARA RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS	121
SISTEMAS DE RECUBRIMIENTO, SU USO Y CONDICIONES DE APLICACION	123

IV. PREPARACION DE SUPERFICIES

GENERALIDADES	131
TIPOS DE PREPARACION DE SUPERFICIES	133
- PREPARACION MECANICA	140
LIMPIEZA MANUAL	141
LIMPIEZA CON HERRAMIENTAS ELECTRICAS Y NEUMATICAS	149
LIMPIEZA CON FLAMAS	158
LIMPIEZA CON CHORRO DE ABRASIVO	168
- PREPARACION QUIMICA	210
LIMPIEZA CON SOLVENTES	212
LIMPIEZA CON VAPOR	224
LIMPIEZA ALCALINA	229
LIMPIEZA ACIDA	237
LIMPIEZA CON SOLVENTES EMULSIFICABLES	244
LIMPIEZA POR INMERSION EN SOLUCIONES ACIDAS (PICKLING O DECAPADO)	248

V. MEZCLADO, ADELGAZAMIENTO Y APLICACION DE RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS

ALMACENAMIENTO DE LOS RECUBRIMIENTOS	265
OPERACIONES DE MEZCALDO	266
- MEZCLADO MANUAL	267
- MEZCLADO MECANICO	268
ADELGAZAMIENTO DE LOS RECUBRIMIENTOS	270
METODOS DE APLICACION DE RECUBRIMIENTOS	282
- GENERALIDADES DE APLICACION	284
- APLICACION CON BROCA	286
- APLICACION CON RODILLO	288
- APLICACION POR ASPERSION	289
ASPERSION CON AIRE	289
ASPERSION SIN AIRE (AIRLESS)	308
ASPERSION ELECTROSTATICA	314
ASPERSION EN CALIENTE	318
ASPERSION CON DOBLE ALIMENTACION	320
- APLICACION POR INMERSION	324
- APLICACION POR SISTEMA DE FLUJO	329
- APLICACION POR RODILLOS	331
- APLICACION POR CORTINA	334
- APLICACION POR BANO GIRATORIO	336

	Pág.
GENERALIDADES SOBRE RECUBRIMIENTOS EN POLVO	337
APLICACION DE RECUBRIMIENTOS EN POLVO	337
- APLICACION POR EL METODO DEL LECHO FLUIDIZADO	340
- APLICACION POR PULVERIZACION ELECTROSTATIVA	343
- APLICACION POR EL METODO DEL LECHO FLUIDIZADO ELECTROSTATICO	347
 VI. INSPECCION	
GENERALIDADES SOBRE INSPECCION	350
- INSPECCION DE RECUBRIMIENTOS	352
- INSPECCION DE LA PREPARACION DE SUPERFICIE	357
- INSPECCION DEL ALMACENAMIENTO, MEZCLADO, ADEL GAZAMIENTO Y APLICACION DEL RECUBRIMIENTO	367
- INSPECCION FINAL	375
- INSPECCION A LARGO PLAZO	379
 VII. CONCLUSIONES	380
 VIII. BIBLIOGRAFIA	

Antes de empezar a elaborar un trabajo de esta naturaleza entiendo que éste debe ser importante y sobre todo muy interesante en la persona que lo va a realizar para que se obtenga el éxito deseado. Por tal motivo y después de revisar detenidamente varios temas de mi agrado y con las características antes descritas, decidí que un trabajo sobre PROTECCIÓN ANTICORROSIVA POR MEDIO DE RECUBRIMIENTOS LIQUIDOS es lo suficientemente importante e interesante como para lograr formar un manual-guía, donde se integre la mayor información teórico-práctica acerca de uno de los procedimientos de protección anticorrosiva más usuales.

Debemos considerar que el fenómeno de la corrosión siendo un mecanismo natural, afecta de alguna manera a toda la materia incluyendo a los seres vivos entre los cuales se cuenta el hombre. El estudio de la corrosión es sumamente importante y su importancia puede apreciarse a través de tres áreas significativas.

La primera de ellas es la económica, que incluye el objetivo de reducir las pérdidas materiales resultantes del deterioro por problemas de corrosión en tuberías, tanques de almacenamiento, componentes metálicas de maquinaria, barcos puentes, estructuras marinas, etc.. La segunda área se refiere al factor seguridad y consiste en el adecuado mantenimiento a que deben estar sujetos todos los equipos de operación, a los cuales los procesos corrosivos pueden afectar con consecuencias catastróficas; son ejemplos de estos equipos los recipientes a presión, calentadores, contenedores metálicos para materiales radiativos, aspas y rotores de turbinas, cables de puentes, componentes de aviones, mecanismos de conducción de automóviles, etc.. La tercera área y no menos importante es la relacionada con la conservación, aplicada principalmente a las fuentes metálicas, ya que el suministro de metales en el mundo es limitado y la pérdida de ellos incluye las correspondientes pérdidas de las reservas de agua y energía asociadas con la producción y fabricación de estructuras metálicas.

Se ha observado que con el paso de los años, el estudio de la corrosión ha llegado a ser un renglón muy importante debido a la necesidad de encontrar formas de protección anticorrosiva lo suficientemente eficaces para lograr un mayor control de este fenómeno natural que tantas pérdidas y daños ocasiona y puede afirmarse sin exageración que durante los años recientes los problemas de corrosión han disminuido considerablemente, gracias al empleo de los métodos clásicos de protección y a algunas variantes de los mismos que fueron diseñadas para reforzar la lucha contra el deterioro prematuro de los materiales sujetos a exposición en muy diferentes medios.

En esta lucha, cada uno de los métodos juega un papel muy importante y aún cuando en algunas ocasiones uno de ellos puede sustituir parcialmente a otro, la existencia de todos y cada uno de ellos es necesaria y está plenamente justificada.

El objetivo primordial de éste trabajo es el de proveer información específica acerca de los diversos métodos de protección anticorrosiva de que la ciencia se vale para CONTROLAR el fenómeno de la corrosión; sobresaliendo de entre ellos el uso de recubrimientos líquidos los cuales al ser aplicados sobre una superficie debidamente preparada forman verdaderas barreras protectoras.

En la actualidad, la industria de los recubrimientos líquidos en competencia con la industria en general, tiene necesidad de personal técnicamente capacitado para continuar con éxito su necesaria tarea de satisfacer las necesidades de protección anticorrosiva para todo tipo de industria; y es por eso que en un esfuerzo y con un deseo genuino de ayudar se realizó este trabajo donde se incluyen todas las operaciones involucradas en el proceso de protección anticorrosiva con recubrimientos líquidos, aportando los conocimientos técnicos necesarios, así como los datos prácticos más usuales, por lo que se cree que éste trabajo puede ser considerado como un manual-guía que sirva de base a futuras generaciones que se vean involucradas en el campo de la ingeniería de corrosión.

II. CORROSION

II. 1. TEORIA DE LA CORROSION

Existen múltiples maneras de definir lo que es la corrosión, cada una de las cuales expresa las consecuencias destructivas de este fenómeno. Entre las definiciones más significativas tenemos las siguientes:

- a) La destrucción o deterioración de un material por reacción con su medio ambiente.
- b) La destrucción de los materiales por medios que no son directamente mecánicos.

Las definiciones anteriores de corrosión son generales y abarcan en ellas a todos los materiales que se utilizan en la industria de la construcción, tratándose de materiales metálicos como son hierro, acero, cobre, zinc aleaciones metálicas, etc., o materiales no metálicos como el concreto, plásticos, cementos, madera, etc.

En este curso los problemas de corrosión serán enfocados a los materiales de tipo metálico en virtud de que son los más expuestos a este tipo de problema y que -- además representan un volumen mucho mayor en uso que los materiales no-metálicos.

En el caso de los materiales metálicos y en especial del hierro y el acero la corrosión se puede definir de la siguiente manera:

- a) Es la destrucción de un metal por reacciones químicas o electroquímica (o ambas) con su medio ambiente.
- b) Es el inverso de la metalurgia extractiva. La primera definición se explica en realidad por sí misma, sin embargo para la segunda definición se deberá tomar en consideración que la mayoría de los metales comunes son inestables o sea químicamente activos en algunos ambientes y por lo tanto tienden a retornar a las combinaciones más estables. Los óxidos metálicos son los ejemplos más representativos de estas combinaciones estables.

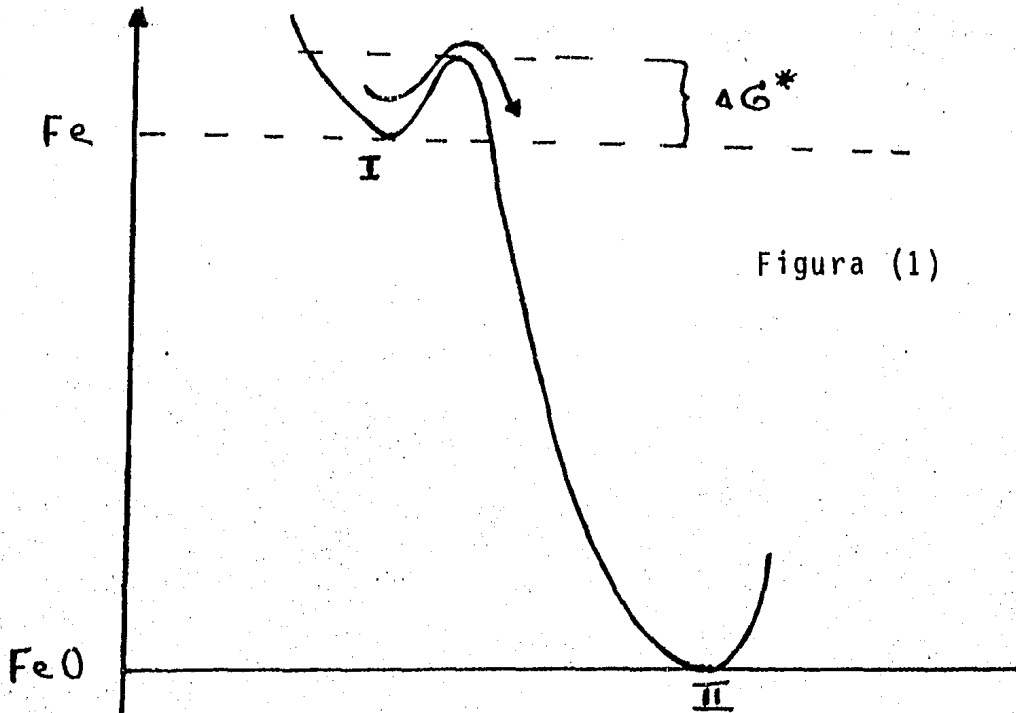


Figura (1)

Por ejemplo, el hierro y el acero son ganadores de óxidos y tienen por tanto una tendencia natural a retornar a combinaciones con oxígeno, sulfatos, carbonatos, etc., con la consecuente liberación de energía.

En la figura No. 1 se observan que la reacción $\text{FeO} \longrightarrow \text{Fe}$ no es espontánea; sino que hay que invertir mucha energía para llevarla a cabo, ya que la entalpía libre (G) del hierro (Fe) es considerablemente más alta que la entalpía libre del óxido ferroso (FeO). Como consecuencia de eso, el hierro (Fe) no puede ser estable, sino que siempre tendrá la tendencia a oxidarse a óxido ferroso (FeO).

Es necesario tener perfectamente claro que la corrosión involucra un cambio químico y que la deterioración de los materiales por causas físicas no debe ser llamada corrosión, sino descrita como Erosión. En algunos casos, el ataque químico (corrosión) se acompaña de deterioración física (erosión), por lo que este fenómeno se describe como "Corrosión-Erosión".

La importancia de los estudios de la corrosión está triplemente cimentada. La primera área significativa es la ECONOMIA, que incluye el objetivo de reducir pérdidas de material resultante de la corrosión de tuberías, tanques, componentes metálicos de maquinaria, barcos, puentes, estructuras marinas, etc. La segunda área es la SEGURIDAD MEJORADA de operación del equipo. el cual, por la corrosión, puede fallar con consecuencias catastróficas; por ejemplo: tenemos los recipientes a presión, recipientes metálicos para materiales radioactivos, calentadores, cables de puentes, compo -

nentes de aviones, mecanismos, automotrices, etc. La tercera área es la CONSERVACION aplicada primeramente al nuevo suministro de materiales principalmente metales; el suministro mundial de estos materiales es limitado y su desperdicio incluye las correspondientes pérdidas de las reservas de agua y energía asociadas con la producción y fabricación de estructuras metálicas.

No menos importante es el logro de la conservación del esfuerzo humano para diseñar y reconstruir el equipo metálico corroído y que puede estar disponible para otros propósitos.

Comúnmente, el motivo principal para los estudios de investigación en problemas de corrosión está provisto por el FACTOR ECONOMICO. Las pérdidas sostenidas año con año por la industria, la milicia, la municipalidad y la ciudadanía en general asciende a muchos miles de millones de pesos.

Las pérdidas económicas por problemas de corrosión están divididas en dos tipos:

- a) Pérdidas Directas
- b) Pérdidas Indirectas

Se entiende por pérdidas directas los costos originados por el reemplazo de las estructuras y maquinaria o sus componentes corroídos, incluyendo la labor o mano de obra.

La medida de los costos directos está ilustrada por la necesidad de reemplazar cada año varios millones de calentadores domésticos debido a fallas por corrosión. O similarmente la necesidad por reemplazar anualmente millones de escapes automotrices totalmente corroídos.

Las pérdidas directas incluyen el costo extra de usar metales resistentes a la corrosión y aleaciones en vez de acero al carbón, donde este último tiene adecuadas propiedades mecánicas pero no suficiente resistencia a la corrosión. Se tienen también los costos de galvanización o níquel-platinado del acero, de adicionar al agua inhibidores de la corrosión o de humedificar cuartos de almacenaje para equipo metálico.

Las pérdidas indirectas son más difíciles de considerar, pero una breve descripción de pérdidas típicas de esta clase dan la conclusión de que ellas adicionan muchos miles de millones a las pérdidas directas ya descritas.

Entre las pérdidas indirectas tenemos las ocasionadas por las siguientes circunstancias:

- P A R O S.- A menudo hay que parar una planta entera o una parte de un proceso debido a una falla por corrosión en algún elemento del mismo. Una inspección periódica del equipo puede ayudar a reducir el riesgo de un paro NO PROGRAMADO. El reemplazo de un tubo corroído en una refinería de aceite es un ejemplo típico de esta clase de problemas, en el cual el costo directo por la operación del reemplazo del tubo puede ser de unos cuantos cientos de pesos, pero el paro de la unidad mientras se repara puede costar hasta - - - - \$ 200,000.00 por hora en producción perdida.
- PERDIDA DE PRODUCTO.- Este problema es muy común en sistemas de tubería y tanques de almacenamiento corroídos. Estas pérdidas continúan hasta que se hace la reparación correspondiente. El anticongelante en un automóvil puede perderse a través de un radiador corroído o el gas saliente de un tubo corroído puede penetrar al sótano de un edificio causando una explosión.

La fuga de un producto no puede ser permitida y máxime si se trata de un producto de alto costo, de tal manera que una inspección continua deberá hacerse en todos los elementos de una planta.
- PERDIDA DE LA EFICIENCIA.- La corrosión y los productos resultantes de la misma son causa de innumerales problemas; uno de los cuales es sin duda la pérdida de la eficiencia en el equipo, estructura o tubería en que se presenta el problema. Un ejemplo típico lo tenemos en los sistemas de tuberías, en los cuales se presentan taponamientos por herrumbre que hacen necesario un incremento en la capacidad de bombeo lo que se traduce en un mayor costo de operación. Otro ejemplo está provisto por las máquinas de combustión interna, donde los anillos de los pistones y las paredes de los cilindros son continuamente corroídos por los gases y condensados de combustión. Las pérdidas de dimensiones críticas, conducen al consumo excesivo de aceite y gasolina y son causadas por corrosión a una extensión a menudo igual o mayor que las causadas por el uso.
- CONTAMINACION DEL PRODUCTO.- En algunos casos, el valor comercial de un producto depende esencialmente de su pureza y de su calidad. La ausencia de contaminación del producto es un factor vital-

en la manufactura de plásticos transparentes, pigmentos, alimentos, medicinas, etc. A veces una contaminación provoca una descomposición catalítica, en estos casos hay que usar materiales muy resistentes a la corrosión.

Una muy pequeña cantidad de cobre levantado por ligera corrosión de una tubería de cobre o equipo de bronce puede dañar un lote entero de jabón, ya que las sales de cobre aceleran la acidez de los jabones y acortan el tiempo que pueden ser almacenados antes de usarse.

El equipo de plomo, que es muy durable, no está permitido en la preparación de alimentos y bebidas debido a las propiedades tóxicas que imparten muy pequeñas cantidades de sales de plomo.

SOBREDISEÑO DE INSTALACIONES. - Este factor es muy común en el diseño de reactores, calentadores, condensadores, tanques de almacenamiento y estructuras marinas.

Debido a que se desconocen las velocidades de corrosión o a que los métodos para el control de la misma son inciertos, los equipos son a menudo diseñados mucho más pesados que lo que las presiones normales de operación o el esfuerzo aplicado sobre ellos requerirían para asegurar un período de vida razonable.

Con los conocimientos adecuados sobre corrosión, este factor puede ser eliminado y los estimados de vida útil de equipos e instalaciones pueden ser hechos con mayor seguridad simplificando además el uso de materiales y mano de obra.

EFFECTOS SOBRE LA SEGURIDAD Y CONFIABILIDAD. - La seguridad es uno de los factores más importantes en la industria en general y sobre todo en las de productos tóxicos y peligrosos como son las que manejan ácidos a muy altas concentraciones, explosivos, materiales radioactivos, etc. La cuestión de pérdidas de salud o de la vida a causa de una explosión; falla impredecible de algún equipo químico; accidentes de aviones, trenes o autos a través de fallas repentinas por corrosión de partes críticas, es hoy en día un problema muy serio. Las pérdidas indirectas por este tipo de problemas son muy difíciles de valorar y están más allá de la interpretación en dinero.

La corrosión se puede dividir en dos grandes grupos:

- a) Corrosión Húmeda ó "Corrosión" (Procesos electroquímicos).
- b) Corrosión Seca u "Oxidación" (Combinación directa).

La "Corrosión" propiamente dicha se puede presentar en muy diversas formas, por lo que es muy conveniente clasificarla según la forma en la cual aparece. En la gran mayoría - de los casos un exámen minucioso nos permite clasificar el tipo de corrosión entre uno de los siguientes:

- 1) Corrosión por ataque uniforme
- 2) Corrosión electroquímica
- 3) Corrosión galvánica o bimetálica
- 4) Corrosión por celdas
- 5) Corrosión intercrystalina
- 6) Corrosión por disolución selectiva (dezincificación)
- 7) Corrosión por grafitización
- 8) Corrosión por desgaste
- 9) Corrosión por tensión o esfuerzos
- 10) Corrosión por fatiga
- 11) Corrosión por daño por hidrógeno
- 12) Corrosión-Erosión
- 13) Corrosión Biológica

- 1) Corrosión por ataque uniforme.- Este tipo de corrosión es muy común y se caracteriza por una reacción sobre la superficie entera del material (substrato), reduciendo paulatinamente su espesor hasta llegar finalmente a la ruptura. Este desgaste es causado por la exposición a un medio determinado y representa el mayor porcentaje de destrucción de metales, puede prevenirse o reducirse con el empleo de recubrimientos adecuados, inhibidores o protección catódica.

Las siguientes formas de corrosión que serán examinadas a continuación son de naturaleza más insidiosa y más difíciles de predecir. Además, están muy localizadas y el ataque químico se reduce a un área limitada, lo que provoca a menudo una falla prematura e inesperada de plantas, máquinas y herramientas.

- 2) Corrosión electroquímica.- La teoría básica de corrosión electroquímica requiere un ánodo, un cátodo, una solución electrolítica y un flujo de electrones entre el ánodo y el cátodo.

Este medio electroquímico existe en los materiales metálicos utilizados en la industria de la construcción-

ya que los ánodos y los cátodos siempre existen en todas las piezas metálicas. Estos ánodos y cátodos son causados por imperfecciones de la superficie, orientación de las partículas, falta de homogeneidad del metal, variación del medio ambiente, fuerzas localizadas, escorias de laminación, productos de oxidación, etc.-- La solución electrolítica se forma por el medio corrosivo; humedad, salinidad, vapores químicos, soluciones químicas, etc., o en muchos casos la combinación de éstos.

Figura (2)

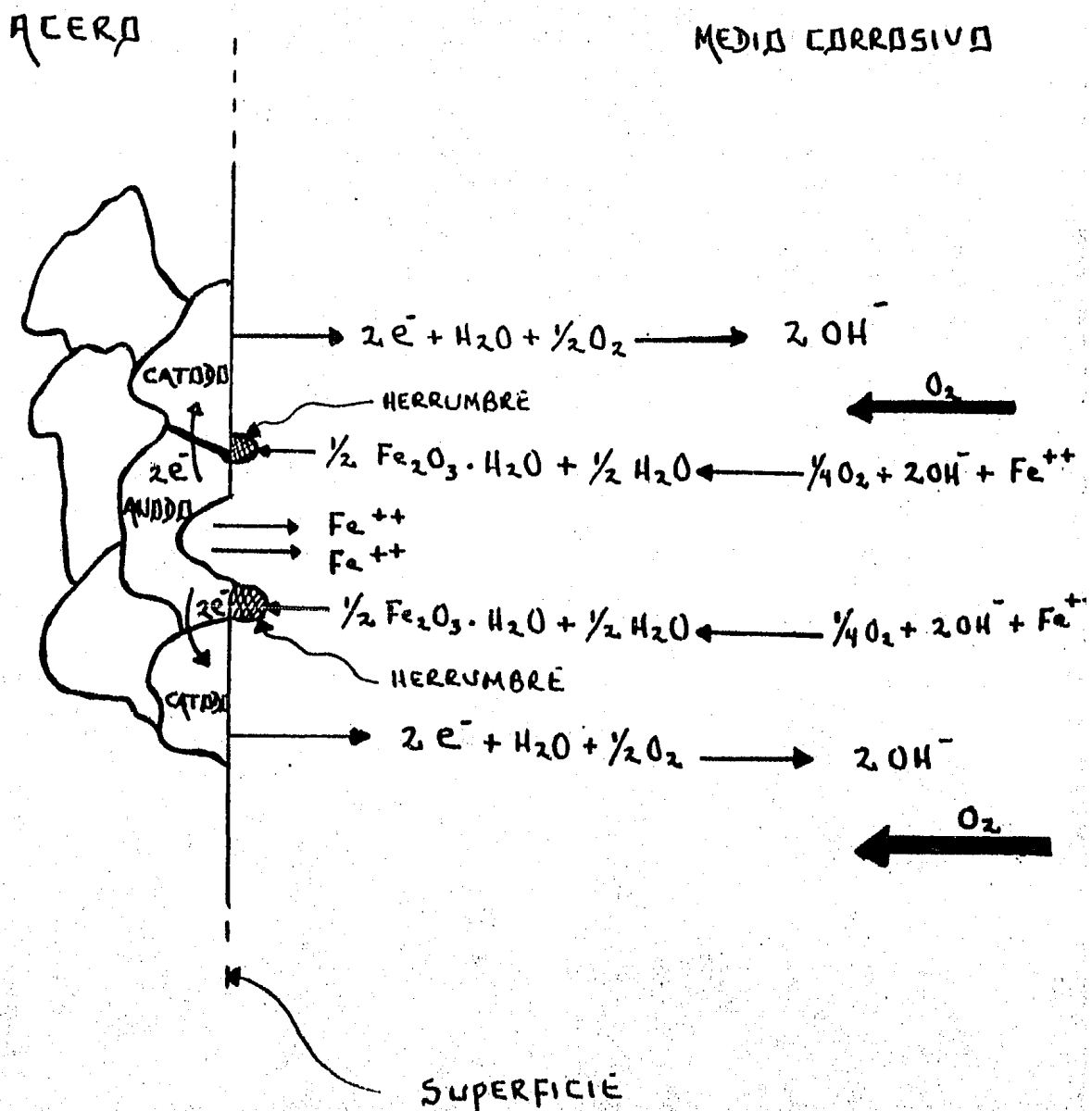
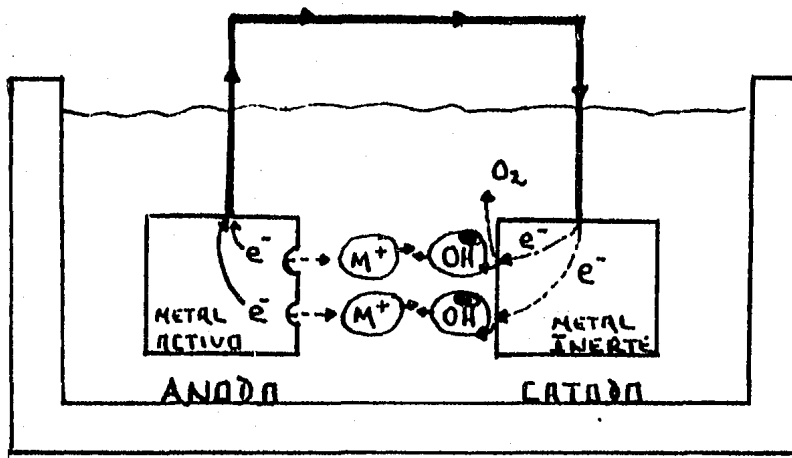
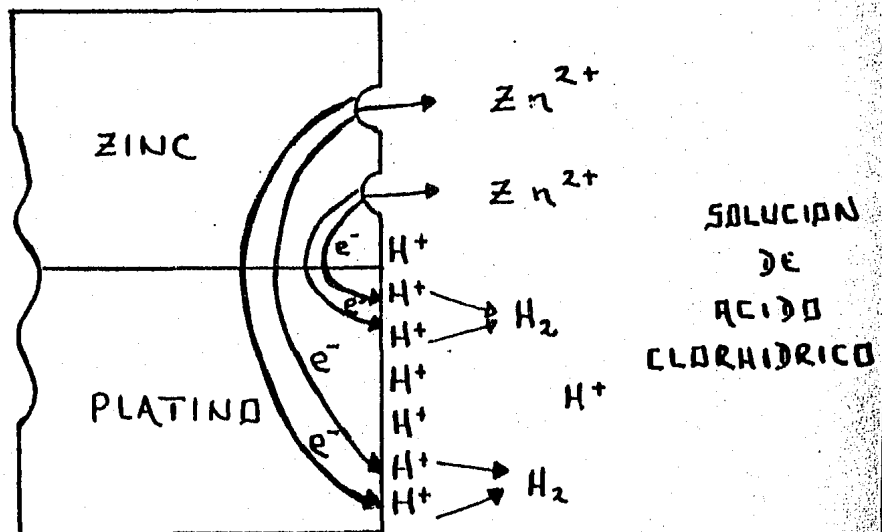


Figura (3)



Reacciones electroquímicas sobre la celda galvánica-zinc-platino.
El platino es un metal noble que no tiene la tendencia a la corrosión.



- Fig (3-A): El efecto de la presencia del platino es doble:
- 1). Aumenta la superficie sobre la cual se reducen los iones de hidrógeno a hidrógeno molecular.
 - 2). La formación de gas H_2 es más fácil que sobre zinc, por lo que aumenta la velocidad de -- reacción catódica, lo que origina una mayor reacción anódica y por tanto mayor corrosión.

El mecanismo general de corrosión que involucra en sí la corrosión electroquímica se describe a continuación considerando para esto, sólo los pasos involucrados en el progreso de la corrosión de un metal en agua, con referencia particular al hierro y al acero.

Cuando el elemento hierro como todos los otros metales entra en contacto con agua o con una solución tiene una tendencia inherente y definida a pasar dentro de una solución en la forma de partículas cargadas eléctricamente o iones; ya que las soluciones deben permanecer eléctricamente neutras; estos iones positivos pueden entrar a la solución sólo si un número equivalente de iones igualmente positivos de algún otro elemento son de algún modo desplazados. Por ejemplo, una pieza de hierro sumergida en una solución de sulfato de cobre empieza a pasar dentro de la solución en forma de iones Fe^{++} , pero simultáneamente una cantidad equivalente de cobre es sacada de la solución depositándose sobre la superficie del hierro protegiéndolo en alguna extensión de posterior acción corrosiva. Similarmente en el caso específico del hierro sumergido ahora en agua, el elemento inmediatamente obtenido de la solución y depositado sobre el hierro, es el hidrógeno el cual se reúne sobre la superficie como una película delgada e invisible. La presencia de esta película obstruye el progreso posterior de la reacción en dos formas: a. Aislando o separando al hierro de la solución y b. Incrementando la tendencia del hidrógeno (en la película) de que conforme es reconstruido, reentrar a la solución y así oponerse a la tendencia del hierro a entrar en solución. En aguas naturales esta interferencia puede ser tan efectiva que virtualmente detiene la corrosión, por tanto esta primera etapa de la corrosión, puede rápidamente ser detenida, sin que el metal sea dañado apreciablemente. Donde los productos de corrosión son insolubles la solución del metal en un ánodo es a menudo obstruída; pero si estos productos son solubles, la corrosión puede efectuarse rápidamente.

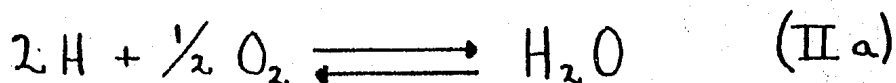
Si el procesos de corrosión se efectúa en agua, la película de hidrógeno debe ser removida en alguna forma. Esto sucede principalmente en dos formas: que el hidrógeno se combine con oxígeno libre presente en la solución para formar agua o que pueda escapar como burbujas de gas hidrógeno. En cualquiera de los casos la remoción de la película permite a la reacción original (corrosión) progresar, es decir que a

mayor cantidad de acero en la solución, mayor cantidad de hidrógeno depositado en la superficie. Este proceso continúa a una velocidad que es determinada principalmente por la velocidad a la cual la película de hidrógeno es removida. La velocidad de destrucción de esta película está determinada por la concentración efectiva del oxígeno disuelto en el agua cercana del metal y ésta, a su vez, depende de factores tales como el grado de aereación del agua, si el agua está en reposo o en movimiento, temperatura, presencia de película de superficie, sales solubles, etc.

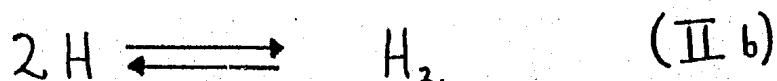
La reacción en soluciones ácidas es edéntica aunque la película de hidrógeno sea removida principalmente como burbujas de gas. Esto sucede porque la tendencia del hidrógeno a salir de una solución se incrementa con el grado de acidez de la misma, de tal manera que la presión en la película de gas es suficiente para formar burbujas. Esto se explica directamente por el hecho de que la corrosión es generalmente más rápida en soluciones más ácidas y más lenta en soluciones más alcalinas.



Esta es la reacción primaria que es reversible y puede detenerse rápidamente a menos que sea seguida por cualquiera de las siguientes reacciones:



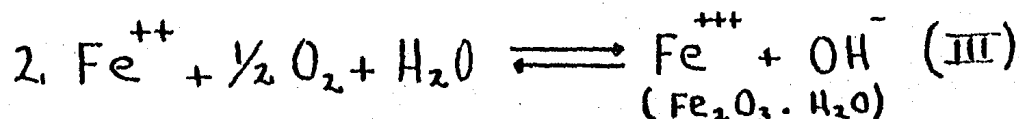
destrucción de la película de hidrógeno.



remoción del hidrógeno como burbujas de gas.

La reacción (IIa) es la dominante en soluciones aerreadas que son cercanamente neutrales, la (IIb) es la dominante en soluciones ácidas.

Estas reacciones permiten a la reacción (I) continuar con la acumulación en la solución de iones hierro Fe^{++} , los cuales son oxidados y precipitados como herrumbre de acuerdo a la siguiente reacción:



formación de hidróxido férrico insoluble o herrumbre.

En la reacción (I) el hidrógeno actúa como un metal y está clasificado eléctricamente dentro del grupo del cobre cuando es comparado con hierro y zinc. Esto es que si se fabricara una celda de Daniels usando hierro en vez de zinc e Hidrógeno en lugar de cobre, la celda generaría una corriente cuando los electrodos de hierro e hidrógeno fueran conectados. El hierro entonces se disolvería a una velocidad que depende de la resistencia total del circuito. Así también y por la misma razón cuando el hierro es colocado dentro de una solución que contiene iones hidrógeno se disolverá conforme el hidrógeno precipita exactamente igual que cuando fue colocado en la solución de sal de cobre. Esta relación electroquímica entre el hierro y el hidrógeno es la causa principal del herrumbamiento.

El producto de la reacción (III) altera de tres maneras los procesos de corrosión:

- La formación continua de herrumbre con la consecuente remoción por este medio de los iones hierro de la superficie en contacto con la solución, permitiendo la formación de iones hierro adicionales del meta, intensificando la corrosión.
- El herrumbre, junto con algún otro material precipitado con el del agua, puede formar sobre la superficie del hierro un recubrimiento más o menos protector (c) donde el suministro de oxígeno es limitado, como en sistemas cerrados, el oxígeno es gradualmente removido por combinación de iones ferrosos e hidrógeno y la oportunidad de corrosión es disminuida.

- Corrosión galvánica o bimetálica. Este tipo de corrosión se refiere a lo que ocurre cuando se tienen dos metales diferentes en presencia de una solución corrosiva o conductora (electrolítica). En este caso queda establecido un potencial electro-lítico entre los dos metales y una corriente de electrones fluye y causa una corrosión en el ánodo.

La fuerza activamente (Driving Force) para la corriente eléctrica y para la corrosión es la diferencia de potencial entre los metales: La teoría de la fuerza electromotriz de los metales establece que los metales localizados en la parte de --- arriba en la serie electromotriz serán corroídos y preferentemente protegerán a los metales localizados en la parte más baja.

Si en una superficie de acero se tiene escoria de laminación u óxido, debe esperarse que exista corrosión galvánica debido a la diferencia de potencial existente, entre el metal base y la escoria de laminación y el óxido. En este caso el metal base actuará como ánodo corroyéndose.

En la figura (3) se observa un sistema acuoso de corrosión galvánica típico, en el cual se tienen dos metales diferentes en un medio electrolítico (agua). Automáticamente se establece entre ellos una diferencia de potencial, que ocasiona un flujo de electrones del metal más activo que trabaja como ánodo al metal menos activo o noble que trabaja como cátodo. Este flujo de electrones origina que uno de los dos metales, específicamente el que se encuentre colocado más arriba en la serie electromotriz (Anodo) se empiece a disolver (corroer) protegiendo así al cátodo, que se haya colocado más abajo en la serie.

A continuación se tiene una lista de los metales más comunes ordenados de acuerdo a la serie electromotriz, con los metales más activos al principio de la lista:

TABLA (I)
SERIE GALVANICA O ELECTROMOTRIZ DE ALGUNOS METALES Y ALEACIONES COMERCIALES

Activo
δ
Anódico



Magnesio y Aleaciones de Magnesio.
Zinc
Aluminio Comercialmente Puro (1100)
Cadmio
Aluminio
Fierro δ Acero
Fierro Colado
Acero Inoxidable Cromo, 13% Cr.
(Activo)
Niquel Resistentes (High Ni Cast iron)
Acero Inoxidable 18-8 (Activo)
Acero Inoxidable Molibdeno 18-8 (Activo)
Soldadura de Sn - Pb
Plomo
Estaño
Niquel (Activo)
Inconel (Activo)
Hastelloy B (60% Ni, 30% Mo, 6% Fe, -
1% Mn)
Clorimet 2 (66% Ni, 32% Mo, 1% Fe)
Latones (Cu-Zn)
Cobre
Bronces (Cu - Sn)
Cuproniquel (60-90% Cu, 40-10% Ni)
Monel (70% Ni, 30% Cu)
Soldadura de Plata
Niquel (Pasivo)
Inconel (Pasivo) (80% Ni, 13% Cr,
7% Fe)
Acero Inoxidable Cromo 11-30% Cr
(Pasivo)

	Acero Inoxidable 18-8 (Pasivo)
	Acero Inoxidable Molibdeno 18-8 (Pasivo)
	Hastelloy C (62% Ni, 17% Cr, 15%Mo)
Noble	Clorimet 3 (62% Ni, 18% Cr, 18% Mo)
6	Plata
Catódico	Titanio
	Grafito
	Oro
	Platino

Entre más alta es la posición en la lista, mayor es la tendencia del metal a corroerse ó sacrificarse con preferencia a los otros metales cuando estén los dos conectados y en presencia de un electrolito. Esto explica la protección de superficies de acero empleando recubrimientos ricos en zinc. Sin embargo para -- que el zinc cumpla adecuadamente su función y se sacrifique para proteger al acero deberá presentar la mayor superficie de contacto posible con este último.

Muchas veces el contacto entre dos metales diferentes es inevitable, por lo cual se deben tomar ciertas precauciones, por ejemplo: un yate con casco demonel (70% Ni, 30% Cu) y remaches de acero se inutilizó rápidamente debido a una fuerte corrosión de -- los remaches de acero; los calentadores domésticos -- para agua hechos de fierro se corren rápidamente -- cuando son conectados a tubería de cobre; etc. Estos ejemplos demuestran que el papel del Ingeniero de Co rrosión es el de seleccionar los materiales adecuados y evitar las llamadas " celdas galvánicas". Sin embargo en muchas ocasiones resulta más económico -- usar materiales de construcción diferentes, en cuyo caso, se tratará de sobrediseñar la parte que actuará como ánodo y reducir la que lo hará como cátodo.

— Corrosión por Celdas.— En la corrosión por celdas se pueden considerar básicamente tres tipos, dependiendo de las reacciones de corrosión:

a) Celdas de Electrodo No-Similares.

Como ejemplo de este tipo de celdas de corrosión se forman las siguientes. Un metal que contiene -- en la superficie impurezas conductoras de la electricidad como una fase separada, o un tubo de co-

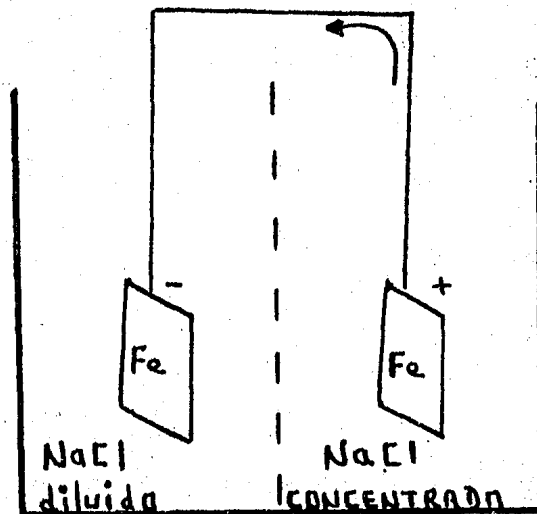
bre conectado a uno de fierro o una propela de -- bronce en contacto con el casco de acero de un -- barco. También se incluirían como este tipo el de metal trabajado en frío en contacto con el mismo-metal recocido.

b) Celdas de Concentración

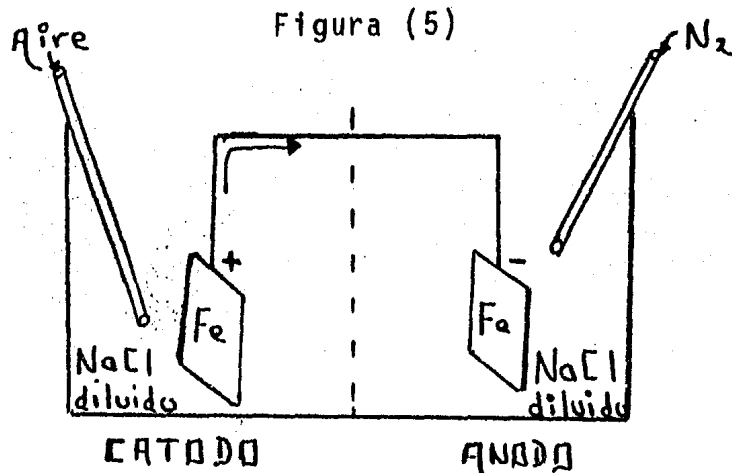
Estas son celdas que tienen dos electrodos idénticos cada una en contacto con una solución de diferente composición; y hay dos clases:

La primera es llamada "Celda de Concentración Salina" y está formada por dos electrodos del mismo material expuestos a una solución electrolítica de diferente concentración. En este caso particular el electrodo en contacto con el electrolito de menor concentración tenderá a disolverse (Anodo) y a depositarse sobre el otro electrodo que funcionará como Cátodo.

Figura (4.)



La segunda es llamada "Celda de Aereación Diferencial". En la práctica, ésta resulta más importante e incluye dos electrodos del mismo metal inmersos en un electrolito de la misma concentración pero con diferente aereación. La diferencia en la concentración de oxígeno produce una diferencia de potencial que origina un flujo de corriente del cátodo al ánodo. El electrodo inmerso en el electrolito con mayor concentración de oxígeno funcionará como cátodo, mientras que el otro lo hará como ánodo.



Este tipo de celda se presenta en las hendiduras dejadas por el traslape de placas metálicas, debido a que la concentración de oxígeno es menor dentro de la hendidura que en cualquier otra parte. Las celdas de aereación diferencial usualmente también inician picaduras en los aceros inoxidable, aluminio, níquel y otros de los llamados metales pasivos, cuando están expuestos a ambientes acuosos, tal como agua de mar.

c) Celdas de Temperatura Diferencial

Los componentes de estas celdas son electrodos del mismo metal, en donde cada uno de ellos está a diferente temperatura, sumergidos en un electrolito de la misma composición inicial.

En la solución electrolítica el electrodo que se encuentra a la temperatura más alta es el cátodo y el electrodo a la temperatura más baja es el ánodo. Esta regla no siempre se cumple, ya que para el caso de la plata la polaridad es al revés. Para el fierro sumergido en soluciones de cloruro de sodio aereadas, el electrodo caliente es anódico al metal más frío de la misma composición; pe-

ro pasadas algunas horas y dependiendo de la aereación, velocidad de agitación y de que si los - - electrodos están interconectados, la polaridad - puede invertirse.

Este tipo de celdas son encontradas en cambiadores de calor, hervidores, calentadores de inmersión y equipo similar.

En la práctica las celdas responsables de la corrosión pueden ser una combinación de estos tres tipos.

- 5) Corrosión Intercristalina. Los metales tecnológicos y sus aleaciones son sólidos cristalinos y se componen de un conjunto formado por una gran cantidad de pequeños cristales (granos) de superficie irregular orientados al azar. Las propiedades de estos materiales, denominados policristalino, se basan directamente en el tipo de enlace entre sus componentes y en su estructura. Los principales tipos de estructura cristalina son los siguientes:

- Cúbica a Cuerpo Centrado (CCuC)

Como ejemplo tenemos las estructuras del fierro y el acero convencional.

- Cúbica a Caras Centradas (CCaC)

Entre los materiales con este tipo de estructura tenemos a los aceros inoxidable austeníticos, plomo, cobre, aluminio, etc.

- Hexagonal Compacta (hc)

Como la estructura del zinc, magnesio, etc.

Todas esas estructuras cristalinas presentan una zona delgada en desorden entre los granos que se conoce como "Límite de Grano", la cual se caracteriza por poseer una energía mayor que el interior de la estructura, por lo que es más susceptible a los ataques corrosivos. Esta anomalía es debida a deficiencias en los procesos de fabricación de las aleaciones.

Las causas de una corrosión intercristalina pueden ser:

- Impurezas segregadas en los límites de grano.

- Enriquecimiento de un elemento de aleación en los límites de grano.
- Empobrecimiento de uno de los elementos de aleación en los límites de grano.

Podemos concluir que "la corrosión intercrystalina o intergranular consiste en la polarización de las partículas metálicas, en las cuales unas cuantas actúan como ánodo contra la mayoría que actúan como cátodo".

Un ejemplo de este fenómeno ocurre en el latón, donde los límites de grano son más ricos en zinc y por tanto, menos resistentes a la corrosión. Otro ejemplo clásico es la corrosión intercrystalina de los aceros inoxidables por agotamiento de cromo en los límites.

- 6) Corrosión por Disolución Selectiva La disolución selectiva es el proceso de corrosión en el cual uno de los elementos de una solución sólida o aleación se disuelve preferentemente dependiendo del medio en donde se encuentre, por ejemplo: Tenemos la disolución selectiva del zinc en el latón llamada dezincificación. Procesos similares ocurren en otros tipos de aleación en las cuales se disuelven los elementos aluminio, fierro, cobalto, cromo entre otros.

Características de la Dezincificada.- La sección dezincificada siempre es muy débil permeable y muy porosa; el material queda frágil y con una resistencia mecánica muy baja, lo que a menudo origina una falla mecánica de equipo trabajando con presión en el interior: La zona dezincificada es expulsada. La dezincificación de una solución sólida está determinada en función del tiempo y de la agresividad del medio.

Este tipo de corrosión casi no modifica ni las dimensiones ni el peso del material, de tal forma que en la práctica es a veces difícil darse cuenta que hubo una dezincificación, sobre todo si el material está recubierto de polvo, lodo o productos de corrosión.

Mecanismo de Dezincificación.- Se distinguen dos tipos de dezincificación: La uniforme o de capas y la local. En el primer caso la capa de aleación perdió su zinc hasta una cierta profundidad determinada por el tiempo y la agresividad del medio corrosivo. En el segundo caso sólo existe una reacción local de solubilidad del zinc.

Usualmente, la dezincificación uniforme o de capas ocurre en aleaciones con un alto contenido de zinc y en medios claramente ácidos. La dezincificación local es más típica para aleaciones de bajo contenido de zinc y medios alcalinos, neutros o ligeramente ácidos. Sin embargo hay muchas excepciones a esta regla.

Es posible disminuir la dezincificación reduciendo el poder agresivo del medio (por ejemplo: eliminando el oxígeno) o por protección catódica. Sin embargo, estos métodos no son económicos para la práctica. Es más usual elegir un tipo de aleación menos susceptible, es decir más resistente o noble.

- 7) Corrosión por Grafitización. Se puede considerar como un proceso de disolución selectiva que se realiza sobre todo en medios bastante débiles. Este fenómeno sólo ocurre en las fundiciones grises, las cuales se "Grafitizan" (la superficie parece ser puro grafito y se desprende fácilmente).

El término grafitización no es muy correcto, ya que la fundición contiene grafito desde su cristalización. Lo que ocurre es que el hierro o acero se disuelve de preferencia al grafito (se forman celdas galvánicas) dejando sólo una red bastante porosa de laminación de grafito y de herrumbre. En esta forma, la fundición pierde su resistencia mecánica y sus propiedades metálicas. Sin embargo, las dimensiones exteriores de la pieza no varían y por tanto resulta difícil detectar la reacción, lo que puede llevar a situaciones peligrosas, ya que la superficie del metal presenta una corrosión que parece ligera y homogénea, pero la realidad es que el material ha perdido su resistencia mecánica.

La grafitización no ocurre en las fundiciones nodulares (dúctiles), ni en las fundiciones maleables, ya que no contienen una estructura de armazón en base a grafito. En la fundición blanca, no hay carbono libre (grafito) y por tanto tampoco ocurre grafitización.

- 8) Corrosión por Desgaste. Con este término se conoce al tipo de corrosión localizada que ocurre en el área de contacto entre dos materiales, pudiendo ser metálicos ambos o sólo uno que están sujetos a una carga mecánica y a vibraciones y a deslizamientos. También se le conoce como "Oxidación por Fricción".

Como resultado de esta acción se forman picaduras

y rayones en la superficie de los materiales, que dando así expuestos a severos ataques corrosivos. Este tipo de corrosión se observa comúnmente en partes de motores, componentes automotrices y partes atornilladas. Se le considera un caso especial de corrosión-erosión y ocurre en condiciones atmosféricas más que en condiciones acuosas.

La corrosión por desgaste tiene una acción deteriorante muy fuerte debido a la destrucción de componentes metálicos y a la rápida oxidación a que quedan expuestos, lo que puede llevar a una pérdida inesperada de ciertas partes colocadas a presión. Además, la corrosión por desgaste puede iniciar una fractura por fatiga, ya que un aflojamiento de las partes puede aumentar las deformaciones haciendo que las picaduras actúen como concentradores de esfuerzo.

Los requisitos básicos para que ocurra una corrosión por desgaste son:

- Que las áreas de contacto entre dos superficies estén bajo carga mecánica.
- Que ocurra una vibración o movimiento relativo repetido entre las dos superficies. El movimiento relativo necesario para la corrosión por desgaste es muy pequeño ya que sólo bastarían unos cuantos angstroms.
- Que la carga y el movimiento relativo sean lo suficientemente altos para producir deslizamiento y deformación de las superficies.

Para reducir o casi eliminar la corrosión por desgaste se requiere aplicar uno o varios de los siguientes métodos de prevención:

- Lubricar las superficies con aceites y grasas de baja viscosidad y alta tenacidad para reducir así la fricción entre las partes y excluir el oxígeno; en algunas ocasiones se usan recubrimientos fosfatados y aceite debido a que los poros del recubrimiento funcionan como pequeños tanques de almacenamiento del aceite.
- Aumentar la dureza de los materiales en contacto eligiendo la combinación adecuada de componentes como se indica en la tabla (II), en la que se observa que los materiales duros resisten más que los blandos.

TABLA (II)

RESISTENCIA AL DESGASTE DE VARIOS MATERIALES

P O B R E	M E D I A	B U E N A
Aluminio sobre fierro colado	Fierro colado sobre fierro colado	Acero rolado en frío sobre acero rolado en frío.
Aluminio sobre acero inoxidable	Cobre sobre fierro colado	Fierro colado sobre fierro colado con recubrimiento de fosfato.
Magnesio sobre fierro colado	Bronce sobre fierro colado	Fierro colado sobre fierro colado con recubrimiento de hule cemento
Plástico laminado sobre fierro colado	Zinc sobre fierro colado	Fierro colado sobre fierro colado con recubrimiento de sulfuro de tungsteno
Baquelita sobre fierro colado	Fierro colado sobre placa de cobre amalgamada	Fierro colado sobre fierro colado con lubricante especial
	Fierro colado sobre fierro colado con superficie rugosa	Fierro colado sobre acero inoxidable con lubricante especial
	Zirconio sobre Zirconio	

- Incrementar la fricción entre las partes aumentando la rugosidad de las superficies; en ocasiones se recubren las superficies con -- plomo para evitar la corrosión por desgaste, ya que el plomo se elimina con el uso normal.

9) Corrosión por Tensión o Esfuerzo. Cuando se diseña un elemento metálico a un esfuerzo determinado, su resistencia disminuye por la presencia de un medio corrosivo. A su vez el material acelera su corrosión si hay la presencia de esfuerzos de tensión en un medio corrosivo específico. Este tipo de agrietamiento es diferente al producido por la corrosión debida a efectos del hidrógeno y que se conoce como "Fragilización por Hidrógeno". Estos dos fenómenos son totalmente diferentes y la diferencia más notable es que la protección catódica reduce el agrietamiento en corrosión bajo tensión, pero aumenta y acelera los efectos de la fragilización por hidrógeno.

El agrietamiento por corrosión bajo tensión es un ataque extremadamente localizado sobre una pequeña parte del material, mientras que el resto del mismo no presenta ninguna traza de corrosión. Este fenómeno se propaga por grietas muy finas a través de todo el material hasta llegar finalmente a una fractura de la estructura.

No todas las combinaciones de medios corrosivos con materiales metálicos son susceptibles a una acción corrosiva bajo tensión. Por ejemplo: Los aceros inoxidable se agrietan en medios corrosivos conteniendo iones cloruro y soluciones caústicas, pero resisten bien a los iones amonio, ácido sulfúrico, ácido nítrico, ácido acético y agua, mientras que el comportamiento del latón es exactamente al revés.

Las variables importantes que tienen efecto en el comportamiento de una acción corrosiva bajo tensión son: Temperatura, composición de la solución corrosiva, composición del material, estructura metalográfica y esfuerzos mecánicos.

Los métodos de prevención de este tipo de corrosión que en seguida se enumeran son empíricos y a menudo se utilizan uno o más:

- Disminución del esfuerzo mecánico por debajo del valor límite si lo hay.
- Eliminación de los elementos nocivos del medio corrosivo, por ejemplo: Desgasificación, Desmi

neralización, etc.

- Aplicación de protección catódica a través de una fuente externa de corriente o de un ánodo de sacrificio. Sin embargo, sólo hay que usar protección catódica si se tiene absoluta certeza de que la fractura sería ocasionada por corrosión bajo tensión y no por fragilización -- por hidrógeno en cuyo caso, la corriente catódica causaría aún más daño.
- Adición de sustancias inhibitoras tales como fosfatos y otros tipos orgánicos. Para medios corrosivos moderados.

10) Corrosión por Fatiga. Se define como la reducción de la resistencia o límite de fatiga de los metales por estar sometidos a ciclos de esfuerzos en presencia de algún medio corrosivo, se diferencia de la corrosión por tensión o esfuerzo en que el medio corrosivo acelera la ruptura al someterlo a esfuerzos diferentes aunque no lleguen a su límite de resistencia.

La fatiga de un material metálico es su tendencia a la ruptura bajo un esfuerzo inferior a su resistencia en condición estática, cuando trabaja bajo esfuerzos cíclicos (repetidos).

Quando un material es sometido a esfuerzos repetidos en presencia de un medio corrosivo cualquiera, su falla por fatiga sobrevendrá más rápidamente - (en menor tiempo y con menor peso) que si estuviera en condiciones normales de trabajo.

11) Corrosión por Daño por Hidrógeno. Este tipo de corrosión también es denominado daño por hidrógeno y se refiere al daño mecánico causado a un material por la presencia o la interacción con hidrógeno, según los cuatro tipos de daño siguientes:

- Ampollas de Hidrógeno
- Fragilización por Hidrógeno
- Descarburización
- Ataque por Hidrógeno

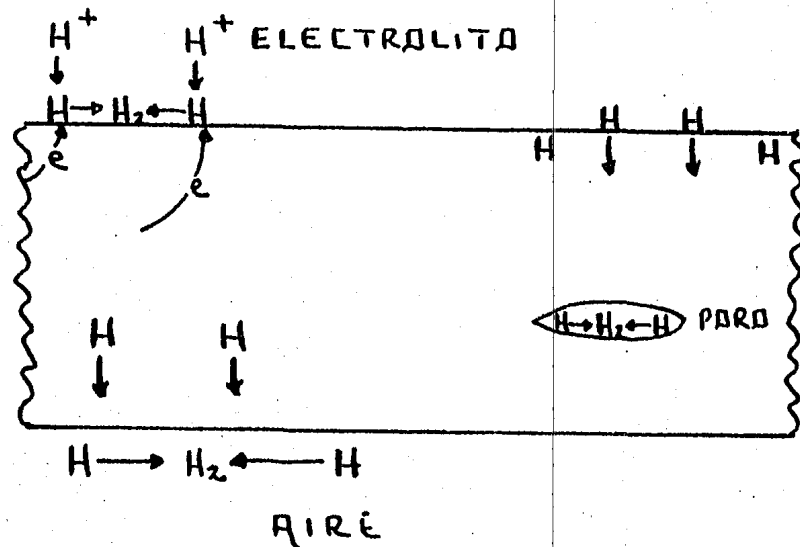
La formación de ampollas de hidrógeno se debe a la penetración de hidrógeno en el metal, lo que resulta en una deformación local del material y en casos muy extremos en la fractura total de la estructura. La consecuencia de una penetración de hidrógeno también puede ser la FRAGILIZACIÓN - (pérdida de ductibilidad y de resistencia mecánica).

ca) del metal. La descarburización (reducción -- del porcentaje en carbono del acero) ocurre en at-- mósferas húmedas de alta temperatura y reduce la-- resistencia mecánica y la dureza del material. El ataque por hidrógeno es una interacción entre este último y algún componente de la aleación a altas temperaturas.

Los Daños por Hidrógeno más Comunes son:

- Ampollas de Hidrógeno. El hidrógeno atómico (H) es el único que puede difundirse a través del -- acero y de otros metales, la forma molecular -- del gas (H_2) no se difunde. Existen varias -- fuentes de hidrógeno atómico: Atmósferas Húme-- das a alta temperatura, procesos de corrosión y electrólisis, etc. La figura siguiente repre-- senta esquemáticamente el mecanismo de la forma-- ción de ampollas de hidrógeno, por ejemplo: en-- la pared de un tanque.

Figura (6)



Se supone que el interior del tanque contiene un electrolito ácido y el exterior está expuesto a la atmósfera (aire). La reacción catódica sobre la superficie metálica en contacto con el electrolito produce hidrógeno molecular que se desprende en forma de burbujas e hidrógeno atómico que se difunde hacia el interior del metal. Una parte de este hidrógeno sale por el otro lado del mate-

rial, donde se recomienda formando moléculas de gas. Sin embargo, la otra parte del hidrógeno atómico se difunde por los defectos de la estructura donde forma moléculas de gas (H_2), el cual no puede difundirse y provoca en estos puntos presiones que pueden subir hasta unas 105 atmósferas y llevar a la falla del material.

- Fragilización por Hidrógeno. El mecanismo de la fragilización por hidrógeno no se conoce exactamente. Básicamente, se trata de la penetración de hidrógeno atómico en el metal. En los metales como titanio y otros con alta tendencia a formar hidruros, el hidrógeno disuelto reacciona formando estos componentes (hidruros) muy frágiles. En otros materiales como hierro y acero, no se conoce bien la interacción entre el hidrógeno y el metal.

La fragilización por hidrógeno se distingue del agrietamiento por corrosión bajo tensión por su comportamiento si se aplican corrientes catódicas cuando la corriente aplicada acelera el agrietamiento, se trata de un caso de corrosión por daño por hidrógeno, ya que la reacción catódica produce hidrógeno.

Métodos de Prevención.

Es posible prevenir las ampollas de hidrógeno con uno o más de los métodos siguientes:

- Usar aceros "Limpios" es decir, lo menos porosos posible.
- Utilizar recubrimientos metálicos orgánicos e inorgánicos impermeables a la penetración de hidrógeno y resistentes al medio corrosivo imperante; a veces se usa acero recubierto con una capa de inoxidable o capas de hule, plástico o cerámica.
- Utilizar inhibidores para reducir la velocidad de corrosión y la reducción de iones hidrógeno.
- Eliminar los venenos responsables de la acumulación de átomos de hidrógeno en la superficie del metal: Sulfuros, compuestos de arsénico, iones conteniendo fósforo y cianuros: varios de estos venenos se encuentran en procesos petroleros, lo que explica la ocurrencia frecuente de ampollas de hidrógeno en la industria petrolera.
- Substitución de aleaciones: Los aceros al níquel y las aleaciones a base de níquel presentan una difusión muy baja para el hidrógeno, lo

que reduce esencialmente el peligro de formación de ampollas.

Aunque la fragilización por hidrógeno, al igual que la formación de ampollas resulta de la penetración de hidrógeno en el material metálico, se usan métodos algo diferentes para evitar o reducir la fragilización:

- Reducción de la velocidad de corrosión. La fragilización por hidrógeno ocurre a menudo durante operaciones de decapado; una adición adecuada de inhibidor puede reducir la corrosión del metal base y disminuir así el desprendimiento de hidrógeno.
- Recocido de los materiales. Ya que la fragilización por Hidrógeno es un proceso reversible, un recocido para eliminación de hidrógeno (por ejemplo a 90° - 160°C) es muy usual para los aceros y permite recuperar las propiedades.
- Substituciones de Aleación. Los materiales más susceptibles son los de alta resistencia mecánica: Una adición de níquel o molibdeno reduce dicha susceptibilidad.
- Empleo de técnicas de soldadura adecuada: Hay que usar electrodos de bajo contenido en hidrógeno y conservar condiciones secas durante el proceso de soldadura, ya que el agua y el vapor son fuentes de hidrógeno.

12) Corrosión-Erosión. La corrosión-erosión es la aceleración del ataque corrosivo de un metal debido al movimiento relativo entre el medio corrosivo y la superficie del metal. Generalmente cuando el movimiento relativo es muy rápido ocurre un efecto de desgaste mecánico o de abrasión.

La apariencia de la superficie metálica atacada por corrosión-erosión es muy típica y presenta ondulaciones, huecos redondos y valles con una estructura orientada, como se muestra esquemáticamente en la figura (7).

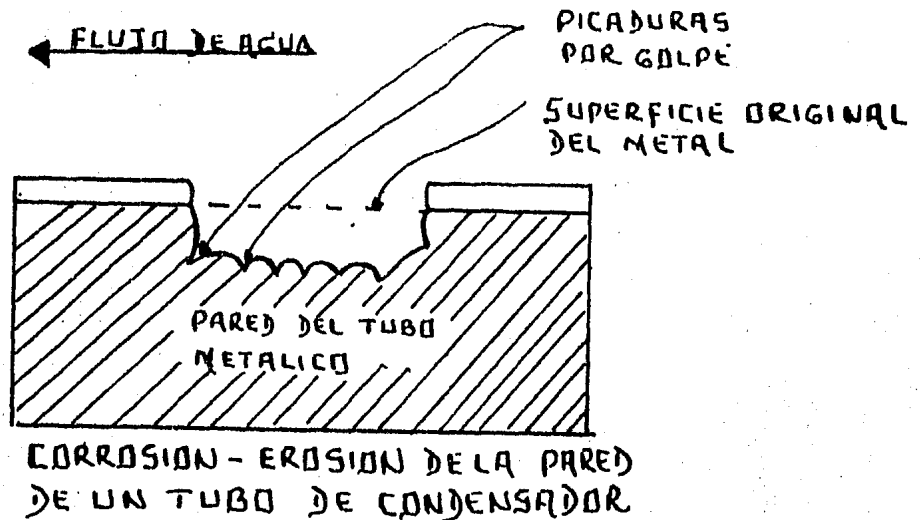


Figura (7)

La mayoría de los metales y aleaciones son susceptibles a daños por corrosión-erosión, sobre todo porque su resistencia a la corrosión se debe a la formación de una película protectora (pasivación) como por ejemplo en el aluminio y aceros inoxidable. El flujo mecánico daña las películas y las puede arrancar, provocando así una corrosión muy rápida. Los metales suaves como cobre y plomo -- son especialmente sensibles a la corrosión-erosión.

Cualquier tipo de equipo expuesto a fluidos en movimiento es susceptible a una corrosión-erosión: - Sistemas de tubería, especialmente codos y tees; - válvulas, bombas, impulsores agitadores, tanques agitados, tubería de intercambiadores de calor, - aspas de turbinas, torberas, etc.

Los líquidos que llevan sólidos en suspensión son muy destructivos en términos de corrosión-erosión.

- 13) Corrosión Biológica. La corrosión biológica es - la deterioración de un metal por procesos de corrosión que ocurren como consecuencia directa o indirecta de la actividad de organismos biológicos, incluyendo microorganismos como bacterias y macroorganismos como algas y lapas. La actividad biológica puede tener influencia sobre la corrosión en medios incluyendo suelos, agua natural y -

marina, productos naturales del petróleo y emulsiones agua-aceite para enfriamiento de herramientas.

Los organismos biológicos viven por medio de reacciones químicas: Se infieren alimentos o reactivos y se eliminan los desperdicios. Estos procesos pueden afectar el comportamiento en corrosión de las siguientes formas:

- Influencia directa sobre reacciones anódicas y catódicas.
- Influencia sobre películas superficiales protectoras.
- Creación de condiciones corrosivas.
- Producción de depósitos.

Estos efectos pueden ocurrir por separado o en combinación, según el ambiente y el tipo de organismo involucrado.

Los microorganismos se clasifican según su habilidad para desarrollarse en presencia o ausencia de oxígeno. Los microorganismos que requieren de oxígeno para su proceso de metabolismo y sólo viven en medios nutritivos que contienen oxígeno disuelto se denominan aeróbicos. A los que crecen en medios que contienen muy poco a nada de oxígeno se les llama anaeróbicos.

Los microorganismos anaeróbicos más importantes son probablemente aquellas que afectan el comportamiento en corrosión de las estructuras de acero enterradas del tipo reductor de sulfatos (D. Desulfuricans). Estas bacterias reducen los sulfatos a sulfuros, según la siguiente reacción:

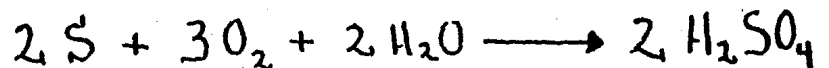


El hidrógeno (H_2) que interviene en la reacción anterior puede provenir de reacciones catódicas de corrosión (reducción de los iones H^+) o de productos orgánicos como celulosa, azúcar, etc., presentes en el suelo.

Las bacterias reductoras de sulfatos son lo más común en condiciones anaeróbicas como arcilla húmeda, suelos pantanosos y pantanos. La presencia de iones sulfuro tiene mucha influencia sobre las reacciones anódicas y catódicas que ocurren sobre

la superficie del hierro: Los sulfuros tienden a retrasar las reacciones catódicas, sobre todo la producción de hidrógeno y a acelerar la disolución anódica. En la mayoría de las condiciones, el efecto más importante es la aceleración de la disolución lo que se traduce en una mayor corrosión. El producto de corrosión en presencia de bacterias reductoras de sulfato es sulfuro de hierro, que se precipita cuando se unen los iones sulfurosos y ferrosos.

Los microorganismos aeróbicos oxidantes de azufre, como por ejemplo el "Thiobacillus Thiooxidans", son capaces de oxidar el azufre elemental o compuestos conteniendo azufre para formar ácido sulfúrico según la reacción siguiente:



Estos microorganismos habitan mejor en medios con un Ph bajo y pueden producir localmente ácido sulfúrico en concentraciones hasta del 5%, de modo que estos microorganismos son capaces de crear condiciones extremadamente corrosivas. Necesitan azufre en forma elemental o combinada para su existencia y por tanto se encuentran a menudo en minas de azufre, zonas de petróleo y en cualquier tipo de industria que maneje productos orgánicos que contengan azufre.

Los microorganismos reductores de sulfato y oxidantes de azufre pueden operar cíclicamente cuando las condiciones del suelo se modifican: Los microorganismos reductores de sulfato crecen rápidamente durante la temporada de lluvias cuando el suelo está húmedo y no permite el acceso de aire, mientras que los microorganismos oxidantes de azufre crecen rápidamente en temporada seca cuando el aire penetra en el suelo. En determinadas zonas, este efecto cíclico causa un daño de corrosión extensivo sobre tuberías enterradas. Además es evidente que la presencia de microorganismos puede acentuar las condiciones de "AERACION DIFERENCIAL DEL SUELO".

Existen otros microorganismos que tienen una influencia directa o indirecta sobre el comportamiento de metales en condiciones de corrosión biológica. Por ejemplo, hay varios tipos de bacterias que utilizan hidrocarburos y pueden dañar los recubrimientos asfálticos para tubería. Las-

Tabla (III)

Grupo y tipo	Requerimien- tos de oxí- geno.	Componentes del suelo reducido u oxidados	Clase de pro- ductos fina- les.	Lugar de Habitación	Ph de reacción óptimo aproxima- do	Límites de temperatura °C
I. Reductor de sulfato (desulfovibrio- de- sulfuricans).	Anaeróbico	Sulfatos, - - tiosulfatos sul- fitos, azufre - hiposulfuros.	Acido sulfhí- drico.	Agua, lodo - - agua de drena- je, suelos fon- do de depósi- tos, concreto, pozos petróle- ros.	Optimo: 6.0 -7.5 Límites:5.0 -9.0	Optimo: . 2.5 - 30 Máximo: 55 - 65
II. Oxidante de azufre- (Thiobacillus Thio- xidans).	Aeróbico	Azufre, sulfu-- ros tiosulfatos	Acido Sulfú- rico	Suelos compues- tos roca azu-- fre y fosforo- sa, suelos con compuestos de- azufre no com- pletamente oxi- dados.	Optimo: 2.0 -4.0 Límite: 0.50-6.0	Optimo: 28 - 30 18 - 37 Li- gero creci- miento
II. Oxidante de Tiosul- fato (thiobacillus- Thioparus).	Aeróbico	Tiosulfatos, -- azufre	de Tiosulfa- to a sulfato y azufre. De azufre a sul- fato.	Ampliamente -- distribuido, - en agua de mar y río, suelos- pantanosos y - Cañerías.	Optimo: Cercano- al neutro Límites: 7.0-9.0	Optimo: 30
IV. Bacterias del Hie-- rro (crenothrix y - leptothrix)	Aeróbico	Carbonato Ferro- so, bicarbonato ferroso, bicar- bonato de magne- sio.	Hidróxido fé- rrico.	Agua corriente y estancada -- que contiene - sales de fie- rro y materia- orgánica.		Optimo: 24 Límites: 5 - 40

bacterias del hierro son un grupo de microorganismos que asimilan los iones ferrosos en una solución y los precipita como hidróxido ferroso ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) o férrico ($\text{Fe}(\text{OH})_3$), en su estructura celular biológica. El crecimiento de bacterias del hierro resulta generalmente en tubérculos sobre la superficie del acero, los cuales tienden a provocar una corrosión en grietas. Algunas bacterias son capaces de oxidar el amoníaco, produciendo ácido nítrico (HNO_3), el cual al estar diluido ataca al fierro y a la mayoría de los demás metales. Sin embargo, en la mayoría de los suelos, la cantidad de amoníaco no es suficiente para provocar una acumulación suficiente de ácido nítrico, pero estas bacterias son muy importantes en suelos sobre los cuales se utilizó una gran cantidad de fertilizante a base de amoníaco. Además, la mayoría de los microorganismos produce gas carbónico (CO_2) el cual puede contribuir a la formación de ácido carbónico (H_2CO_3) y así a un aumento de la corrosividad del suelo.

En la tabla (III) se dan algunos de los microorganismos más importantes y sus características.

Prevención de la corrosión microbiológica. Antes de aplicar medidas anticorrosivas, es muy importante diagnosticar correctamente la presencia de corrosión microbiológica. El método más directo y más exacto de identificación es el análisis bioquímico de muestras del suelo.

Existen varias técnicas generales para la prevención de corrosión microbiológica, entre las que podemos mencionar para el caso de tubería y estructuras enterradas, al recubrimiento con asfalto, la cinta plástica o el concreto para evitar el contacto entre el metal y el medio corrosivo. El concreto es menos satisfactorio en presencia de microorganismos oxidantes del azufre porque no tiene resistencia en medios con ácido sulfúrico. La aplicación de protección catódica con el uso simultáneo de un recubrimiento resultó especialmente efectiva para prevenir la corrosión microbiológica. En algunos casos es posible alterar el medio y reducir así los efectos de corrosión microbiológica. Por ejemplo: El azufre y sus compuestos a menudo pueden ser eliminados por aereación de las aguas negras. Además, es posible añadir inhibidores o utilizar germicidas como el cloro y compuestos clorinados en sistemas de recirculación. También, se puede utilizar materiales de sustitución como asbestos y tubos de plástico en-

lugar de acero para prevenir los efectos dañinos de la actividad microbiológica en suelos muy agresivos.

Los macroorganismos a los que nos referimos son hongos o moho, aunque en realidad, los hongos y el moho son lo mismo, ya que ambos términos se refieren a un grupo de plantas caracterizado por su carencia de clorofila. Estas plantas asimilan materia orgánica y producen cantidades considerables de ácidos orgánicos incluyendo los ácidos oxálico, láctico, acético y cítrico. Pueden crecer sobre una gran variedad de sustratos y son un problema particularmente desagradable, sobre todo en áreas tropicales. El tipo de ataque más usual es el enmohecimiento de pieles y de telas. Además, los hongos pueden atacar el hule y superficies metálicas recubiertas o libres. En muchos casos, la presencia de los hongos no causa ningún daño mecánico severo, pero afecta la apariencia del producto. Además de producir ácidos orgánicos, los hongos pueden iniciar el ataque en grietas de superficies metálicas.

El crecimiento de moho sobre superficies metálicas, recubiertas o no, puede evitarse o reducirse por un servicio periódico de limpieza. La reducción de la humedad relativa durante el almacenamiento y el uso de agentes orgánicos tóxicos (por ejemplo "violeta de genciana"), también es efectivo para reducir el enmohecimiento de superficies metálicas. El crecimiento de moho sobre el hule natural de cables subterráneos es particularmente desagradable, ya que una perforación local del recubrimiento resulta en una pérdida de corriente eléctrica; para evitar este tipo de falla se substituye por hule sintético.

El agua dulce y agua marina pueden contener millares de tipos de vida animal y vegetal, incluyendo conchas, algas y otros macroorganismos. Estas formas animales y vegetales se fijan por sí mismo sobre superficies sólidas durante su ciclo de crecimiento. La acumulación de estos organismos puede causar corrosión en grietas y además la contaminación y destrucción de la estructura. Los cascos de los barcos acumulan rápidamente conchas y otros organismos que afectan marcadamente la línea hidrodinámica y aumentan la potencia requerida para mover el barco. Un barco severamente atacado puede requerir 30% más potencia para su operación. Similarmente, la acumulación de macroorganismos en intercambiadores de calor y otros equipos limita mucho la transmisión de calor y el

flujo de líquido, lo que finalmente puede llevar a una obstrucción completa.

La acumulación de macroorganismos acuosos es una función de las condiciones ambientales. El problema más grave ocurre en agua relativamente poco profunda, ya que en agua muy profunda no hay superficies a las cuales se podrían adherir los organismos. Entonces las condiciones portuarias son especialmente propicias para la formación de depósitos de estos organismos sobre los cascos de embarcaciones. En general el agua tibia favorece las largas temporadas de crianza y la multiplicación rápida de organismos como conchas o almejas. En agua marina de regiones nórdicas el crecimiento de macroorganismos es generalmente sólo importante en verano, mientras que en aguas tropicales el problema se presenta continuamente. Un movimiento relativo entre el objeto y el agua generalmente tiende a inhibir la fijación de organismos, de modo que los barcos rápidos sólo acumularán pequeñas cantidades de organismos y la mayor parte de la fijación ocurrirá cuando el barco está parado. El mismo efecto se observa en los intercambiadores de calor usando agua marina como refrigerante: el flujo rápido del fluido tiende a suprimir el depósito en los intercambiadores mientras que el flujo lento y los períodos de descanso favorecen la fijación de organismos. Además la naturaleza de la superficie tiene gran influencia sobre la adhesión de macroorganismos: Superficies duras y lisas ofrecen una posibilidad excelente de adhesión, mientras que superficies ásperas y escamosas tienden a inhibir la adhesión. Por ejemplo la adhesión de organismos sobre acero inoxidable y hierro ocurre con la misma velocidad inicial en agua marina. Sin embargo después de algún tiempo de exposición, la superficie del hierro se recubre de una capa de óxido de hierro de baja adherencia de modo que el depósito de organismos tiende a ser menos importante sobre el hierro que sobre el acero inoxidable, después de largos períodos de exposición.

El mejor método de prevenir eficientemente la adherencia de organismos es la aplicación de un recubrimiento especial conteniendo sustancias tóxicas de cobre, estaño o mercurio. Estos recubrimientos disuelven muy lentamente iones de cobre, estaño o mercurio en el medio acuoso, lo que representa un veneno para el crecimiento de muchos organismos. En sistemas cerrados se utiliza una técnica similar, añadiendo al medio corrosivo va-

rios agentes tóxicos y alagados como cloro y compuestos de cloro. El éxito de estos métodos depende de su aplicación, sin embargo, efectuando limpiezas periódicas son siempre necesarias para asegurar un flujo libre del líquido y la ausencia de ataque en grietas.

II.2 MATERIALES SUJETOS A CORROSION

En la construcción de puentes, automóviles, plantas industriales, tuberías, plantas termoeléctricas, etc, se emplea una variedad muy grande de materiales, desde platino hasta piedras. El ingeniero de corrosión se interesa principalmente en las propiedades químicas (resistencia a la corrosión) de los materiales, pero necesita además conocimiento de sus propiedades mecánicas, físicas y otras. Las propiedades de los materiales para ingeniería dependen de su estructura física y composición química básica.

Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas describen el comportamiento del material bajo esfuerzos mecánicos de tensión, compresión o de corte y se determinan por medio de pruebas mecánicas. Algunas propiedades mecánicas son: resistencia a la ruptura, límite elástico, límite convencional, resistencia a la termofluencia (creep), límite (o resistencia) a la fatiga, elongación (ductilidad), resistencia al impacto (tenacidad y fragilidad), dureza, módulo elástico. La deformación puede ser elástica (recuperable, proporcional al esfuerzo aplicado) o plástica (permanente).

Otras propiedades.

Otras propiedades importantes para el ingeniero de corrosión son la densidad, la fluidez o colabilidad, la formabilidad, las propiedades térmicas, eléctricas, ópticas, acústicas y magnéticas, la resistencia a la radiación atómica, etc.

El precio del material no es una propiedad, pero puede ser el factor decisivo en la selección de algún material ingenieril, cuando hay que trabajar con consideraciones económicas.

A) Metales y Aleaciones

a) Fundiciones de hierro

Las fundiciones de hierro son aleaciones de hierro con alto contenido en carbono, las cuales se clasifican usualmente en fundición gris, fundición blanca, fundición maleable y fundición dúctil o nodular.

La fundición gris contiene normalmente entre 2 y 4% de carbono y entre 1 y 3% de silicio y es el material metálico más barato de la ingeniería. La denominación "fundición gris" se debe a la presencia de escamas de grafito (carbono) negro, las cuales dan un color gris a la superficie de una fractura.

La ventaja principal de la fundición es su buena colabilidad y su punto de fusión relativamente bajo.

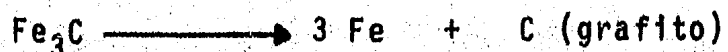
La alta resistencia a la compresión es la propiedad más notable de la fundición gris, la cual es frágil y casi no tiene ductilidad, debido al efecto de entalladura de las escamas de grafito. La fundición-gris no tiene un límite elástico bien definido, pero se usa en general 85% del esfuerzo a la ruptura. El módulo elástico es difícil de determinar, ya que la curva esfuerzo-deformación no es recta; su valor varía entre 9.6 y 23.5 x 10⁶ lbs/in², con el valor mínimo para la clase 20 y el valor máximo para la clase 60. La resistencia al impacto es bastante baja pero es mejor para el material con la máxima relación de resistencia a la tensión entre la dureza. La fundición gris tiene una alta capacidad de amortiguamiento, una densidad que varía entre 7 y 7.35- según la composición y conductividades térmicas y eléctricas inferiores que el fierro puro.

Fundición Blanca

En la fundición blanca, casi la totalidad del carbono se encuentra en forma del carburo de hierro, - Fe₃C, llamado cementita. Este material es extremadamente duro y frágil, contiene poco silicio que es un elemento grafitizante. Se puede evitar la formación de grafito (fundición gris) enfriando rápidamente la fundición para obtener una solidificación blanca en lugar de gris (p. ej., para la bancada de un torno).

Fundición Maleable

Se obtiene la fundición maleable desde una fundición blanca de composición adecuada por un tratamiento térmico de alta temperatura, durante el cual la cementita se disocia en ferrita más carbono según la siguiente fórmula:



El grafito formado se precipita en forma de rosetas o de islas en lugar de formar las escamas típicas de la fundición gris. La fundición tiene buena ductilidad (de allí el nombre : fundición "maleable").

Hierro Dúctil o Fundición Nodular

Estos materiales presentan una buena ductilidad sin tratamiento térmico después de la colada, ya que el grafito se cristaliza durante el proceso de solidificación en forma de esferas. Sin embargo, un tratamiento térmico puede ser aplicado para modificar las propiedades de la matriz (ferrítica, perlítica).

Fundición de Alto Silicio

Cuando el porcentaje en silicio de una fundición gris aumenta hasta más de 14%, el material se hace extramadamente resistente a la corrosión en muchos medios corrosivos, con la excepción notable del ácido fluorhídrico, HF.

TABLA (IV)

PROPIEDADES MECANICAS TIPICAS DEL HIERRO GRIS

ASTM CLASE	FUERZA DE TENSION lb/in ²	FUERZA DE COMPRESION lb/in ²	LIMITE DE FATIGA lb/in ²	DUREZA BRINELL
20	22,000	83,000	10,000	156
25	26,000	97,000	11,500	174
30	31,000	109,000	14,000	201
35	36,500	124,000	16,000	212
40	42,500	140,000	18,500	235
50	52,500	164,000	21,500	262
60	62,500	187,500	24,500	302

La dureza y la resistencia mecánica de los aceros depende sobre todo de su contenido en carbono y del tratamiento térmico efectuado. Generalmente, el porcentaje de carbono casi no afecta la resistencia general a la corrosión de un acero. Un acero al carbono puede tener las propiedades mecánicas siguientes: resistencia a la ruptura de 40 a 200,000 psi (28 a 140 kg/mm²) dureza Brinell de 100 a 500 y elongación de 5 a 50%.

b) Aceros de Baja Aleación

El acero al carbono puede ser aleado con uno o varios de los elementos siguientes: cromo, níquel, cobre, molibdeno, fósforo y vanadio en rangos de unos cuantos porcientos para producir acero de baja aleación. Adiciones importantes (mayor porcentaje) de elementos de aleación se efectúan usualmente para obtener mejores propiedades mecánicas y más templabilidad, mientras que adiciones menores (total 2% máximo) son de mayor interés para la resistencia a la corrosión atmosférica y a veces en soluciones acuosas.

c) Aceros Inoxidables

La característica principal de los aceros inoxidables es su buena resistencia a la corrosión, debido a una concentración de por lo menos 11% de cromo. El cromo es un elemento activo, pero tiene la facultad de pasivarse o de pasivar sus aleaciones, resistiendo así a muchos medios corrosivos. Existen muchos tipos de acero inoxidable y sus propiedades mecánicas, resistencia a la corrosión y precio varían en un rango muy amplio, de modo que es muy importante especificar exactamente el acero que se usará en alguna aplicación.

La tabla siguiente da la composición de los principales aceros inoxidables y los clasifica en cuatro grupos. Los aceros del grupo III son los más utilizados, después siguen los grupos II, I y IV en orden de importancia decreciente.

Los materiales del grupo I son los aceros inoxidables martensíticos, porque pueden ser templados a martensita por un tratamiento térmico similar al tratamiento de los aceros ordinarios. La resistencia mecánica aumenta y la ductilidad disminuye cuando el material se hace más duro. Usualmente, la resistencia a la corrosión es menor que en los grupos II y III, pero dentro del grupo I, la resistencia a la corrosión es superior en el material templado que en el material recocido y suave. Estos aceros se usan generalmente en aplicaciones que requieren una resistencia moderada a la corrosión, pero una alta resistencia mecánica y una alta dureza. En la tabla siguiente se indican algunas aplicaciones clásicas.

TABLA (V)
COMPOSICIONES QUIMICAS DE ACEROS INOXIDABLE

TIPO AISI	%C	%Cr	%Ni	% OTROS ELEMENTOS	OBSERVACIONES
GRUPO I		<u>ACEROS INOXIDABLES MARTENSITICOS</u>			
410	0.15 max	11.5-13.5	---	---	- Hojas de turbina, -- guardas para válvu-- las.
416	0.15 max	12-14	---	Se, Mo, o Zr	- Maquinado libre
420	0.35-0.45	12-14	---	---	- Cuchillería
431	0.2 max	15-17	1.24-2.5	---	- Ductería mejorado
440A	0.60-0.75	16-18	---	---	- Muy duro, cortadoras
GRUPO II		<u>ACEROS NO ENDURECIBLES FERRITICOS</u>			
405	0.80 max	11.5-14.5	0.5 max	0.1-0.3 Al	- El aluminio previene el endurecimiento.
430	0.12 max	14-18	0.5 max	---	---
442	0.25 max	18-23	0.5 max	---	- Resiste oxígeno y -- azufre a altas tempe raturas
446	0.20 max	23-27	0.5 max	0.25 N max	
GRUPO III		<u>ACEROS NIQUEL-CROMO AUSTENITICOS</u>			
201	0.15 max	16-18	3.5-5.5	5.5-7.5Mn	0.25 NMax - Manganeso sustituido por níquel
202	0.15 max	17-19	4-6	7.5-10Mn	0.25 NMax - Manganeso sustituido por níquel
301	0.15 max	16-18	6-8	2 Mn max	---
302	0.15 max	17-19	8-10	2 Mn max	- Usos arquitectónicos
302B	0.15 max	17-19	8-10	2-3 Si	- Silicio para la*oxi- dación a altas tempe raturas.
304	0.08 max	18-20	8-12	1 Si max	- 18-85 contínuo
304L	0.03 max	18-20	8-12	1 Si max	- Carbón muy bajo

(contfnua)

TABLA (V)
(Continuación)

TIPO AISI	%C	%Cr	%Ni	% OTROS ELEMENTOS	OBSERVACIONES
308	0.08 max	19-21	10-12	1 Si max	- 18-8 "alto"
309	0.2 max	22-24	12-15	1 Si max	- 25-12, resis- tencia al calor
309S	0.08 max	22-24	12-15	1 Si max	- Carbón más bajo
310	0.25 max	24-26	19-22	1.5 Si max	- 25-20, resis- tencia al calor.
310S	0.08 max	24-26	19-22	1.5 Si max	- Carbón más bajo
314	0.25 max	23-26	19-22	1.5 - 3.0	- Silicio para oxi- dación
316	0.10 max	16-18	10-14	2-3 Mo	- 18-8S Mo
316L	0.03 max	16-18	10-14	2-3 Mo	- Carbón muy bajo
317	0.08 max	18-20	11-14	3-4 Mo	- Molibdeno más -- alto
321	0.08 max	17-19	8-11	Ti 4 X C (Min)-	Titanio estabili- zado
347	0.08 max	17-19	9-13	Cb+Ta 10XC (Min)-	Columbio estabi- lizado
Alea ción 20*	0.07 max	29	20	3.5Cu, 2.25Mo	- Mejor resistencia a la corrosión

GRUPO IV ACEROS CON ENDURECIMIENTO POR ENVEJECIMIENTO

372	0.07	17	7	0.07 Ti, 0.2 Al
17-7PH**	0.07	17	7	1.0 Al
17-4PH**	0.05	16.5	4.25	4.0 Cu
14-bMo PH**	0.05 max	14	8.5	2.5 Mo, 1% Al
AM35C**	0.10	16.5	4.3	2.75 Mo
CD-MCu*	0.03	25	5	3.0Cu, 2.0 Mo

- * Composiciones típicas
 ** Designaciones comerciales
 • Forma de colado ordinario

El tipo 440 A se usa además para partes de válvulas, cojinetes de bola, el tipo 420 para instrumental quirúrgico, el tipo 416 es más maquinable y se usa para piezas de precisión reduciendo los costos de fabricación.

En el grupo II se encuentran los aceros ferríticos, los cuales no son templables en un tratamiento térmico, por que nunca forman la austenita necesaria para disolver todo el carbono. Estos aceros se componen de pura ferrita desde el punto de solidificación hasta la temperatura ambiente. El tipo 430 se deja conformar fácilmente y presenta buena resistencia a la corrosión atmosférica, además resiste bien al ácido nítrico y se usa en esta industria. Sin embargo, ahora se usa cada vez más el acero 304 (18-8) en estas aplicaciones debido a su mejor soldabilidad, mejor ductilidad y mejor resistencia a la corrosión si el tratamiento térmico fue adecuado.

Los tipos 442 y 446 se aplican en los casos que requieren buena resistencia a alta temperatura -- (aceros refractarios), como por ejemplo en partes de hornos y de equipo para tratamientos térmicos. Estos aceros resisten bien a la oxidación a alta temperatura con oxígeno y azufre debido a su alto contenido en cromo. Sin embargo los aceros de alto cromo tienen tendencia a precipitar una de sus fases, lo que los hace muy frágiles.

Un aspecto interesante de los aceros del grupo II es su buena resistencia a la corrosión bajo tensión, a menudo superior a la resistencia del 304, sobre todo en medios corrosivos conteniendo cloruros.

El grupo III contienen los aceros inoxidables austeníticos, los cuales no son magnéticos y no pueden ser tratados térmicamente; sólo se dejan endurecer por deformación en frío como los aceros ferríticos descritos antes. La mayoría de éstos contienen níquel como elemento (gamma)-geno (formador de austenita), pero las variedades 201 y 202 contienen menos níquel y más manganeso, Mn elemento que también es (gamma) - geno.

Los aceros austeníticos tienen mejor resistencia a la corrosión que los aceros de los grupos I y II y casi la mejor resistencia de los cuatro grupos. Por eso, los aceros inoxidables se utilizan mucho en condiciones de corrosión más fuerte como en algunas industrias químicas. No se oxidan a la

atmósfera y se aplican mucho a la arquitectura, - en la cocina, en la industria de los alimentos y - en los casos en los cuales hay que evitar una con- taminación del producto.

Los tipos 201 y 202 presentan casi la misma resis - tencia a la corrosión como el tipo 302. Los ace - ros del grupo III más utilizados en la industria - son los tipos 304, 304 L, 316 y 347. El tipo 316 - contiene molibdeno y es superior al 304 en varias aplicaciones, como en la resistencia a las picadu - ras, al ácido sulfúrico y a ácidos orgánicos ca - lientes. Además, la resistencia a la corrosión -- (húmeda) y a la oxidación (corrosión seca a alta - temperatura) aumenta con el porcentaje en cromo y en níquel). El tipo 310, también llamado 25-20 es una aleación refractaria de muy buena calidad.

El "Alloy 20" no tiene clasificación AISI pero -- puede ser considerado como aleación del grupo III. Esta aleación se conoce como "Carpenter 20" en es - tado conformado y como "Durimet 20" en estado co - lado. A veces la aleación lleva adiciones de co - lumbio.

En el grupo IV encontramos los aceros con endure- cimiento por precipitación: primero se disuelven - los elementos de aleación durante un recocido de - disolución (homogeneización), luego se temple la - aleación, quedando así sobresaturada y finalmente - se efectúa el revenido de precipitación a tempera - turas de 426.6 °C a 537.7 °C. Es posible obtener - resistencias mecánicas hasta 200,000 psi (140 --- kg/mm²). Las primeras 5 aleaciones del grupo IV - de la tabla anterior se usan principalmente en la industria aeronáutica en condiciones de corrosión ligera. La resistencia a la corrosión en un medio muy agresivo es usualmente inferior a la resisten - cia de un 304, con la excepción del CD-4MCu, que - es mucho muy superior a los 5 anteriores e inclu - so al 18-8 (304).

d) Acero Inoxidable Colado

Los aceros y las aleaciones inoxidable colados - tienen generalmente una composición ligeramente - diferente de su tipo conformado (wrought alloy), - p. ej. llevan más silicio, Si, para mejor colabi - lidad, especialmente para piezas de sección delga - da. Otra diferencia en aleaciones coladas es la - posibilidad de usar estructuras "duplex" de fe - rrita-austentita, lo que aumenta la resistencia -- mecánica del material pero dificultaría mucho el - conformado de las aleaciones no coladas (wrought-

alloys). Es posible aumentar la fracción de ferrita por un aumento en el porcentaje de formadores de ferrita (Cr y Mo) y una disminución del porcentaje de formadores de austenita (Ni, N y C). La tabla siguiente da la designación del ACI (Alloy - Casting Institute) para inoxidable colados y el equivalente según AISI para inoxidable conformado.

TABLA (VI)

DESIGNACIONES ESTANDAR Y RANGOS DE COMPOSICION QUIMICA DEL INSTITUTO DE ALEACIONES DE FUNDICION PARA FUNDICIONES RESISTENTES A LA CORROSION Y AL CALOR

DESIGNACION DE LA ALEACION COLADA	TIPO DE ALEACION FORJADA	C	Mn Max	Si max	Cr	Ni	Otros Elementos
CA-15	410	0.15 max	1.00	1.50	11.5-14	1 max	Mo 0.5 max
CA-40	420	0.20-0-0.40	1.00	1.50	11.5-14	1 max	Mo 0.5 max
CB-30	434 1	0.30 max	1.00	1.00	18-22	2 max	-
CC-50	446	0.50 max	1.00	1.00	26-30	4 max	-
CD-4MCu	-	0.010 max	1.00	1.00	25-27	4 75.6.00	Mo 1.75-2.25 Cu 2.75-3.2!
CE-30	-	0.30 max	1.50	2.00	26-30	8-11	
CF-3	304L	0.30 max	1.50	2.00	17-21	8-12	
CF-8	304	0.08 max	1.50	2.00	18-21	8-11	
CF-20	302	0.20 max	1.50	2.00	18-21	8-11	
CF-3M	316L	0.03 max	1.50	1.50	17-21	9-13	Mo 0.0-5.0
CF-8M	316	0.08 max	1.50	1.50	18-21	9-12	Mo 0.0-3.0
CF-12M	316	0.12 max	1.50	1.50	18-21	9-12	Mo 0.0-3.0
CF-8C	347	0.08 max	1.50	2.00	18-21	9-12	Cb 8 x C min 1.0 máx. ó Cb-T ₄ 10 x (min, 1.35 máx.

TABLA (VI) (Continuación)

DESIGNACION DE LA ALEACION COLADA	TIPO DE ALEACION FORJADA	COMPOSICION %						Otros elementos
		C	Mn Max	Si Max	Cr	Ni		
CF-16F	303	0.16 max	1.50	2.00	18-21	9-12	Mo 1.5 max S _c 0.20-0.35	
CG-8m	317	0.09 max	1.50	1.50	18-21	9-13	Mo 30-4.0	
CH-20	309	0.20 max	1.50	2.00	22-26	12-15		
CK-20	310	0.20 max	1.50	2.00	23-27	19-22		
CN-7M	-	0.07 max	1.50	--	18-21	21-31	Mo-Cu	
HA	-	0.20 max	0.35-0.65	1.00	8-10		Mo 0.90-1.20	
HC	446	0.50 max	1.00	2.00	26-30	4-max	Mo 0.5 max	
HD	327	0.50 max	1.50	2.00	26-	4-7	Mo 0 max	
HE	-	0.20 0.50	2.00	2.00	26-30	8-11	Mo 0.5 max	
HF	302B	0.20-0.40	2.00	2.00	19-23	9-12	Mo 0.5 max	
HH	309	0.20-0.50	2.00	2.00	24-28	11-14	Mo 0.5 max N 0.2 max	
HI	-	0.20-0.50	2.00	2.00	26-30	14-18	Mo 0.5 max	
HK	310	0.20-0.60	2.00	2.00	24-28	18-22	Mo 0.5 max	
HL	-	0.20-0.60	2.00	2.00	28-32	18-22	Mo 0.5 max	
HN	-	0.20-0.50	2.00	2.00	19-23	23-27	Mo 0.5 max	
HT	330	0.35-0.75	2.00	2.50	13-17	33-37	Mo 0.5 max	
HU	-	0.35-0.75	2.00	2.50	17-21	37-11	Mo 0.5 max	
HW	-	0.35-0.75	2.0	2.50	10-14	58-62	Mo 0.5 max	
HX	-	0.35-0.75	2.00	2.50	15-19	64-68	Mo 0.5 max	

La letra C indica aleaciones para resistencia a medios acuosos y la letra H para resistencia a alta temperatura. En forma general, pueden considerarse como idénticas las resistencias a la corrosión de las aleaciones conformadas y coladas.

A continuación se dan las propiedades mecánicas de algunos aceros inoxidable de los cuatro grupos. Hay que fijarse en la gran variedad de propiedades disponibles. Los materiales de alta resistencia mecánica tienen una buena relación resistencia/peso y se usan en la construcción de aviones y cohetes. Una alta dureza es deseable para resistencia a la abrasión y a veces para aplicaciones en las cuales ocurre una corrosión-erosión.

TABLA (VII)

PROPIEDADES MECANICAS NOMINALES DE ACEROS INOXIDABLES

MATERIAL	CONDICION	FUERZA DE TENSION - Lb/Pulg ²	PUNTO DE FATIGA - Lb/Pulg ²	% ELONGACION PULGAS	DUREZA	
					ROCKWELL	BRINELL
TIPO 410	RECOCIDO	75,000	40,000	30	882	155
TIPO 410	ENDURECIDO POR TEMP. A 315°C	180,000	140,000	15	C39	375
TIPO 410	ENDURECIDO POR TEMP. A 540°C	145,000	115,000	20	C31	300
TIPO 420	RECOCIDO	95,000	50,000	25	B92	195
TIPO 420	ENDURECIDO POR TEMP. A 315°C	230,000	195,000	25	C50	500
TIPO 440A	RECOCIDO	105,000	60,000	20	B95	215
TIPO 440A	ENDURECIDO POR TEMP. A 315°C	260,000	240,000	5	C51	510
TIPO 430	RECOCIDO	75,000	45,000	30	B82	155
TIPO 446	RECOCIDO	80,000	50,000	23	B86	170
TIPO 301	RECOCIDO	110,000	40,000	60	B85	165
TIPO 301	TRABAJADO EN FRIO, DURO	150,000	110,000	15	C32	320
TIPO 304	RECOCIDO	85,000	35,000	55	B80	150
CF-8	RECOCIDO	87,000	47,000	52	-	150
TIPO 304L	RECOCIDO	80,000	30,000	55	B76	140
TIPO 310	RECOCIDO	95,000	40,000	45	B87	170
TIPO 347	RECOCIDO	92,000	35,000	50	B84	160
ALEACION 20	RECOCIDO	85,000	35,000	50	B84	160
17-7PH	RECOCIDO	130,000	40,000	35	B85	165
17-7PH	ENVEJECIDO 510°F	235,000	200,000	6	C48	480
17-4PH	ENVEJECIDO 482°F	200,000	178,000	12	C44	420
14-8MoPH	RECOCIDO	130,000	50,000	30	B85	162
14-8MoPH	ROLADO EN FRIO ENVEJECIDO A - 482°C	280,000	270,000	2	C52	520
AM 350	RECOCIDO	160,000	55,000	40	B95	215
AM 350	ENVEJECIDO 454°C	220,000	190,000	13	C45	450
CD4MCu	RECOCIDO	105,000	85,000	20	C25	240
CD4MCu	ENVEJECIDO 410°C	140,000	120,000	15	C81	310

Los aceros inoxidables de las series 200 y 300 -- presentan casi las mismas propiedades mecánicas -- después de un recocido, con la excepción de las -- aleaciones coladas con estructura duplex. Los -- aceros austeníticos conservan una buena ductili-- dad y alta resistencia al impacto hasta temperatu-- ras muy bajas y se usan para el manejo de oxígeno y nitrógeno líquido (eso es una propiedad típica-- para cualquier material cúbico a caras centradas).

El único método para endurecer un acero austenítico es la deformación en frío, lo que sólo reduce ligeramente la resistencia a la corrosión, pero en algunos medios críticos, se puede establecer una celda galvánica entre zona deformada y zona recocida. Se usa mucho el tipo 301 deformado en frío para cuerpo de trenes y camiones. Es posible deformar un acero austenítico por laminado en frío y obtener resistencia mecánica cerca de 300,000 psi (210 kg/mm²) en alambres. No se usan los tipos 301 y 302 para medios muy corrosivos, debido al bajo contenido en cromo, Cr, y níquel, Ni, del primero y al alto contenido en carbono del segundo.

e) Aluminio y sus aleaciones.

El aluminio es un metal reactivo, pero forma una película de óxido de aluminio que evita la corrosión en muchos medios corrosivos. Esta película protectora es bastante estable en soluciones neutras y en varias soluciones ácidas, pero no resiste alcalinos. La película de óxido se forma en varios medios pero también se puede producir artificialmente por una corriente eléctrica (anodización). Las aleaciones de aluminio con alto contenido de cobre se usan sobre todo para construcciones (por su alta resistencia mecánica), mientras que las aleaciones sin cobre o de bajo contenido de cobre se usan cuando se requiere mayor resistencia a la corrosión.

Además de su buena resistencia a la corrosión, -- otras propiedades del aluminio son de gran importancia para el éxito del material: productos de corrosión sin color y no-tóxicos, apariencia agradable, conductividad térmica y eléctrica, reflectividad, bajo peso y buena relación resistencia mecánica/peso.

El aluminio puro es suave y débil, pero es posible alearlo y efectuar tratamientos térmicos para aumentar su resistencia mecánica y su dureza. Por ejemplo, el primer aluminio de alta resistencia contenía cerca de 4% de cobre, Cu. En la siguiente figura se representa el lado rico en aluminio del diagrama Al-Cu, aluminio-cobre, con K = Solución Sólida de Cu, cobre, en Al, aluminio y un compuesto intermetálico CuAl₂. Durante un tratamiento térmico adecuado se precipita la fase θ, -- lo en representa una multitud de obstáculos contra el movimiento de dislocaciones, o sea, contra la deformación plástica del material. Sin embargo, la presencia de las partículas de una segunda

fase reduce la resistencia a la corrosión, sobre todo la resistencia a la corrosión bajo tensión.- A menudo, se recubre el aluminio endurecido con una capa delgada de aluminio puro.

La siguiente lista muestra las composiciones de varias aleaciones conformadas o coladas de aluminio. El aluminio 3003 es la aleación más usada en la industria. El aluminio puede ser colado en formas de arena, de metal, etc.

TABLA (VIII)

COMPOSICION DE ALGUNAS ALEACIONES DE ALUMINIO FORJADAS Y COLADAS

NUMERO	% Cu	% Si	% Mn	%Mg	% Cr	% Zn	% Fe	% Ti
ALEACION CONFORMADA								
1100	COMERCIALMENTE PURO - 99.2% DE ALUMINIO MINIMO							
2014	4.4	0.8	0.8	0.4	0.1	0.25	1.0	0.15
3003	0.2	0.6	1.2	-	-	0.1	0.7	-
5052	0.10	BAJO	0.1	2.5	0.25	0.10	BAJO	-
6061	0.25	0.6	0.15	1.0	0.25	0.25	0.7	0.15
7075	1.6	0.5	0.30	2.5	0.3	3.6	0.7	0.20
7178	2.0	0.50	0.3	2.7	0.3	6.8	0.7	0.20
ALEACION COLADA								
43	-	5.0	-	-	-	-	-	-
195	4.5	0.8	-	-	-	-	-	-
220	-	-	-	-	-	-	-	-
356	-	7.0	-	0.3	-	-	-	-

La tabla (IX) muestra las propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio: observe el largo rango de propiedades disponibles, p. ej. la resistencia mecánica de un aluminio comercial puro es de 13,000 psi (= 9 kg/mm²) pero sube a 88,000 psi (= 62 kg/mm²) para una aleación 7178 con tratamiento térmico. La aleación 5052 presenta la mayor resistencia mecánica de las aleaciones sin posibilidad de tratamiento térmico. La aleación 7178 se utiliza en aeronáutica y viajes espaciales, debido a su muy alta resistencia mecánica.

TABLA (IX)

PROPIEDADES MECANICAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO

NÚMERO	TEMPLADO	FUERZA DE TENSION - Lb/Pulg. ²	FUERZA DE FATIGA	ELONGACION %	DUREZA BRINELL
CONFORMADA					
1100	0	13,000	5,000	40	23
1100	H14	18,000	17,000	15	32
2014	0	27,000	14,000	18	45
2014	T6	70,000	60,000	13	135
3003	0	16,000	6,000	35	28
3003	H14	22,000	21,000	12	40
5052	0	28,000	13,000	27	47
5052	H34	38,000	31,000	12	68
6061	0	18,000	8,000	27	30
6061	T6	45,000	40,000	15	95
7075	0	33,000	15,000	16	60
7075	T6	83,000	73,000	11	150
7178	0	33,000	15,000	15	--
7178	T6	88,000	78,000	10	-
COLADA					
43	S.C.	19,000	8,000	8	40
43	D.C.	33,000	16,000	9	-
195	Sand, T6	36,000	24,000	5	75
220	-	46,000	25,000	14	-
356	Sand, T6	33,000	24,000	3.5	70

f) Tungsteno.

Como se indica en la tabla (XIII), el tungsteno tiene el mayor punto de fusión de todos los metales. En sus principales aplicaciones se aprovecha su buena resistencia mecánica a alta temperatura, por ejemplo para filamentos de focos. El tungsteno tiene buena resistencia en ácidos y alcalinos, pero no se usa mucho para soluciones acuosas. Su resistencia mecánica es de 20,000 psi (140 kg/mm²) a 1,648.8 °C.

g) Zirconio.

En el área atómica, el zirconio se usa cada vez más debido a su sección efectiva muy baja para neutrones térmicos lentos (no hay mucha interfe-

rencia) y su buena resistencia a agua de alta temperatura y al vapor. Su alta resistencia a la corrosión se debe a la formación de una película protectora de óxido. El zirconio muestra buena resistencia en alcalinos y ácidos (incluyendo ácido iodhídrico y bromhídrico), con la excepción del ácido fluorhídrico, clorhídrico, concentrado y caliente y ácido sulfúrico. Cloruros férricos y cúpricos causan corrosión por picaduras. A veces se utiliza el zirconio para servicio en ácido clorhídrico. La resistencia a la corrosión del zirconio disminuye por la presencia de impurezas como nitrógeno, aluminio, fierro y carbono.

El zirconio aleado con ligeras adiciones de estaño, fierro, cromo y níquel (Zircalloys) tiene mejor resistencia al agua a altas temperaturas. El zirconio y sus aleaciones en agua a alta temperatura presentan primero una velocidad decreciente de corrosión, pero que puede ser seguida por un ataque lineal rápido, llamado a veces "breakaway". Además absorber hidrógeno y fragilizarse. El zirconio tiene una resistencia mecánica de unos 16,000 psi ($= 1.2 \text{ kg/mm}^2$) a 426°C y 80,000 psi ($= 56 \text{ kg/mm}^2$) a temperatura ambiente. Su módulo de elasticidad es 13,700,000 psi ($= 9,600 \text{ kg/mm}^2$).

h) Magnesio y sus aleaciones.

El magnesio, con densidad relativa 1.74, es uno de los metales comerciales más ligeros y se utiliza en camiones, motores de automóviles, escaleras, sierras portátiles, equipaje, aviación y aeronáutica por su buena relación de resistencia mecánica/peso. Sin embargo, es uno de los materiales menos resistentes a la corrosión y se usa mucho como ánodo de sacrificio para protección catódica y para pilas.

El magnesio presenta una buena resistencia a la corrosión atmosférica del interior del país (no a la atmósfera marina) debido a la formación de una película protectora de óxido. Esta película se rompe por picaduras en aire contaminado con sales (cloruros) y hay que tomar medidas de protección como la representada por los recubrimientos. La resistencia a la corrosión disminuye con las impurezas del magnesio y con los elementos de aleación. Las aleaciones de magnesio son bastante susceptibles a la corrosión bajo tensión y hay que protegerlas.

La presencia en el agua de oxígeno disuelto no --

tiene efectos significativo sobre la corrosión del magnesio, pero el metal es susceptible a la corrosión-erosión. El magnesio resiste mucho mejor que el aluminio a soluciones alcalinas, pero se corroe en la mayoría de los ácidos con las excepciones del ácido crómico y fluorhídrico. El producto de la corrosión en el ácido fluorhídrico, HF, actúa como película protectora.

El magnesio y sus aleaciones están disponibles en una gran variedad de piezas-conformadas y coladas. La resistencia mecánica varía dentro del rango -- 15,000 a 50,000 psi (10 a 35 kg/mm²).

i) Plomo y sus aleaciones.

El plomo es uno de los metales más antiguos; ya que se usaba durante el Imperio Romano para tubería y para monedas. El plomo forma películas protectoras de sulfatos, óxidos y fosfatos. La mayoría del plomo producido se utiliza en aplicaciones de corrosión, sobre todo con ácido sulfúrico. Se usan el plomo y sus aleaciones para tuberías, recubrimientos, soldaduras (plomo-estaño, Pb-Sn), acumuladores, recubrimiento de calbes, cojines, techos, municiones, etc. El plomo es muy deformable y tiene bajo punto de fusión, su resistencia a la corrosión-erosión es muy reducida.

Cuando se requiere una buena resistencia a la corrosión para equipo de producción se utiliza un plomo químico con 0.06% Cu, cobre, sobre todo para uso en ácido sulfúrico. Este plomo resiste el ácido sulfúrico, crómico, fluorhídrico y fosfórico, soluciones neutras; agua marina y suelos. El ataque en ácido acético es muy rápido y no se utiliza en contacto con ácido nítrico, clorhídrico u ácidos orgánicos.

El plomo químico (0.06% Cu) tiene una resistencia a la tensión de unos 2,300 psi (1.6 kg/mm²) a temperatura ambiente. Plomo duro, con 3 a 18% de antimonio, tiene una resistencia doble pero la resistencia de ambos materiales cae rápidamente cuando aumenta la temperatura y es casi igual a unos 110°C. A temperaturas superiores, el esfuerzo permitido en los diseños baja a cero.

j) Cobre y sus aleaciones.

El cobre es diferente de otros materiales porque combina una resistencia a la corrosión con alta conductividad eléctrica y térmica, deformabilidad, maquinabilidad, resistencia mecánica cuando está-

aleado y tratado térmicamente, excepto para la temperatura. El cobre tiene una buena resistencia a la corrosión atmosférica urbana, marina e industrial y también en inmersiones (aguas). Siendo el cobre un metal noble, el desprendimiento de hidrógeno no es parte del procesos de corrosión, de modo que sólo ocurre una corrosión de cobre, en ácidos si hay oxígeno o agentes oxidantes presentes (p. ej. el ácido nítrico, HNO_3). Por ejemplo, según la termodinámica la reacción entre Cu, cobre y ácido sulfúrico no es posible, pero si hay corrosión en presencia de oxígeno, con agua y sulfato de cobre como productos de corrosión. La reacción catódica predominante para la corrosión del cobre y de sus aleaciones es la reducción del oxígeno formando iones hidroxilos.

Aleaciones a base de cobre resisten en soluciones neutras y ligeramente alcalinas con la excepción de aquellas que contienen iones amonio (NH_4^+), en las cuales ocurre una corrosión bajo tensión y a veces un ataque general. En condiciones muy reductoras y alta temperatura (300 a 400°C) las aleaciones de cobre son a menudo superiores a los aceros y a las aleaciones inoxidable.

La tabla siguiente (X) da una lista de las composiciones químicas y de las propiedades mecánicas de algunas aleaciones típicas y comunes a base de cobre.

Existen varios cientos de composiciones diferentes con un rango muy amplio de propiedades mecánicas: p. ej. la resistencia mecánica va de 30,000 a 200,000 psi (21 a 140 kg/mm^2) para el cobre puro al cobre aleado con 2% de berilio.

Las aleaciones de cobre más comunes son los altores (Cu, Zn, cobre-zinc), los bronce (Sn, Al, o adiciones de Si, silicio, al Cu, cobre) y los cuproníqueles (Cu-Ni, cobre níquel. El llamado "Níquel Silver" de la tabla (X), planta alemana, no lleva plata pero tiene una apariencia parecida a plata y se usa mucho como base para cubiertos o joyería plateada. El Everdur tiene buena resistencia mecánica y se usa para remaches, tornillos, pernos y partes de válvulas, para evitar una celda galvánica en construcciones a base de cobre.

El cobre y los latones son sensibles a la corrosión-erosión y al efecto de impacto de un líquido. Los bronce y el latón al aluminio son más duros y más resistentes. Los cuproníqueles con ligera-

TABLA (X)

MATERIAL	COMPOSICION %	FUERZA DE TEN-- SION. Lb/pulg ²		FUERZA DE FATI GA. Lb/Pulg ²		ELONGACION		DUREZA ROCKWELL	
		Duro	Blando	Duro	Blando	Duro	Blando	Duro	Blando
COBRE DE ALTA PURE ZA	99.9 + Cu.	46,000	33,000	40,000	10,000	5	40	B-50	B-35
COBRE BE- RILIO	98 Cu, 1.9 Be, 0.2 Ni or Co.	200,000	70,000	150,000	30,000	2	35	C-38	B-65
LATON RO- JO	85 Cu, 15 Zn	70,000	40,000	55,000	15,000	7	45	B-76	B-5
LATON CO- LADO	85 Cu, 5 Zn. 5 Pb. 5 Sn.	-	33,000	-	15,000	-	25	-	B-7
LATON EN- CARTUCHO	70 Cu. 30 Zn.	76,000	48,000	60,000	17,000	10	65	B-83	B-20
METAL -- MUNTZ.	60 Cu. 40 Zn.	80,000	54,000	60,000	20,000	15	45	B-87	B-45
BRONCE -- FOSFORO A	95 Cu, 5 Sn. 0.25 P	80,000	48,000	65,000	20,000	8	50	B-86	B-28
BRONCE -- FOSFORO D.	90 Cu. 10 Sn. 0.25 P	102,000	66,000	70,000	28,000	12	65	B-98	B-55
BRONCE -- ALUMINIO	92 Cu. 8Al	105,000	65,000	65,000	25,000	7	69	B-96	B-50
EVERDUR - 1010	96 Cu, 3 Si, 1 Mn	95,000	58,000	60,000	22,000	7	60	B-92	B-35
LATON ALU- MINIO - - (As)	77 Cu. 21 Zn. 2 Al, 0.04 As	85,000	52,000	60,000	20,000	10	65	B-85	B-30
CUPRONI-- QUEL 10	88 Cu, 10 Ni, 1 Fe, 0.04 Mn	60,000	40,000	57,000	22,000	15	46	B-68	B-25
CUPRONI-- QUEL 30	69 Cu, 30 Ni, 0.5 Fe, 0.6 Mn	70,000	55,000	60,000	22,000	10	45	B-80	B-35
NIQUEL- PLATA	65 Cu, 25 Zn, 10 Ni.	88,000	55,000	70,000	20,000	7	42	B-87	B-30

adición de fierro también son superiores en corro-
sión-erosión.

Tubos duplex (metales diferentes para el interior
y el exterior) están disponibles de cobre y alea-
ciones de cobre en combinación con acero, alumi-
nio y acero inoxidable, lo que resuelve a menudo
problemas en intercambiadores de calor, por ejem-

plo con amoniaco por un lado (acero) y agua contaminada por el otro (admiralty metal).

El cobre y sus aleaciones se aplican mucho en tubería para agua, válvulas, tubería y láminas de intercambiadores de calor, alambre, techos, cojinetes, tanques, etc.

k) Níquel y sus aleaciones.

Un grupo importante de materiales para aplicación en corrosión está basado en el níquel, el cual es resistente en muchos medios corrosivos y es el material natural, para soluciones caústicas. Los problemas de corrosión más difíciles implicando soluciones caústicas se resuelven con níquel. Casi podemos, que la resistencia de aleaciones al hidróxido de sodio es proporcional a su contenido en níquel: por ejemplo, una fundición gris con 2% Ni, níquel, es muy superior a una fundición no aleada.

Otra ventaja importante del níquel como elemento de aleación es el incremento rápido e importante de la resistencia a la corrosión bajo tensión -- cuando el porcentaje en níquel de un acero inoxidable supera el 10%: por ejemplo, el Inconel tiene excelente resistencia a la corrosión bajo tensión y un tonelaje bastante importante se usa debido a esa cualidad. El níquel tiene en general una buena resistencia en soluciones neutras y ligeramente ácidas y se usa mucho en la industria alimenticia, pero no resiste a soluciones fuertemente oxidantes, como p. ej., ácido nítrico y soluciones amoniacales. Además, el níquel es una buena base para aceros que requieren resistencia a altas temperaturas. Sin embargo, el níquel y sus aleaciones presentan un ataque y una fragilización por gases calientes conteniendo azufre.

La tabla (XI) indica algunas composiciones de níqueles y aleaciones de níquel y algunos datos de propiedades mecánicas. El Duranickel envejecido (o sea endurecido por precipitación) tiene una -- muy buena resistencia mecánica y una buena resistencia a la corrosión en muchos medios. Monel es la aleación natural para ácido fluorhídrico. Chlorimet 3 y Hastelloy C son dos de las aleaciones anti-corrosivas comerciales más usuales. Chlorimet 3 y Hastelloy B son muy buenos cuando no hay condiciones oxidantes. Hastelloy D es frágil como las fundiciones de alto silicio. Nichrome se usa para resistencias eléctricas de calefacción.

TABLA (XI)

MATERIAL	%Ni	%C	%Cr	%Mo	%Cu	%Fe	OTRO	FUERZA- DE TEN- SION - Pulg. ²	PUNTO DE FA- TIGA- Pulg. ²	ELON- GA- CION%	DUREZA ROCK-- WEEL
NIQUEL 200	99.5	0.06	-	-	0.05	0.15		60,000	20,000	40	B-60
NIQUEL COLADO 210	95.6	0.80	-	-	0.05	0.50	1.6 Si 0.9 Mn	50,000	25,000	20	B-55
DURANIQUEL -- 301	94	0.15	-	-	0.05	0.15	4.3 Al 0.5 Ti	170,000	130,000	15	C-34
MONEL 400	66	0.15	-	-	31	1.4		75,000	30,000	40	B-65
MONEL "K"	66	0.15	-	-	29	0.9	3 Al	150,000	110,000	25	C-28
MONEL "S" (COLADO)	63	0.10	-	-	30	2	4 Si	120,000	90,000	2	C-31
INCONEL 600	76	0.08	16	-	0.2	8		85,000	35,000	40	B-70
CLORIMET 2 (COLADO)	62	0.03	-	32	-	3	1 Si	80,000	55,000	10	B-90
HASTELLOY B (FORJADO)	62	0.10	-	28	-	5	1 Si	130,000	56,000	50	B-92
CLORIMET 3 (COLADO)	60	0.03	18	18	-	3	0.6 Si	75,000	50,000	15	B-90
HASTELLOY C (FORJADO)	56	0.08	15	17	-	5	1 Si 4 W	120,000	52,000	49	B-94
HASTELLOY D (COLADO)	85	0.12	-	-	3	-	10 Si	115,000	115,000	0	C-34
HASTELLOY F	47	0.05	22	7	0.1	17	1 W 3 Co	102,000	46,000	45	B-86
NICROME	80	-	20	-	-	-	-	95,000	35,000	30	B-85

Resumiendo, podemos decir que el níquel, las aleaciones de alto contenido en níquel y aquellas con un contenido de níquel mayor que 8% son los materiales más utilizados para casos de corrosión grave.

1) Zinc y sus aleaciones.

El Zinc no es un metal que resista a la corrosión, pero se usa mucho como metal (ánodo) de sacrificio en la protección catódica del acero en forma de acero galvanizado (ésto es, en recubrimientos ricos en zinc) en tubería, clavos, alambre, lámi-

na, etc. Además se usa en forma de barras o lingotes como ánodo de sacrificio para la protección catódica de cascos de embarcaciones, tuberías enterradas y otras estructuras.

Las aleaciones de zinc son muy usuales para fabricar piezas fundidas que se emplean en máquinas automáticas debido a su bajo punto de fusión, como por ejemplo, para partes de automóviles, usualmente recubiertas por electrodeposito con metales resistentes a la corrosión.

11) Estaño y plateado de estaño.

Más de la mitad del estaño producido se usa como recubrimiento de otros metales, sobre todo de acero. La ventaja del acero recubierto de estaño no sólo es su resistencia a la corrosión, sino también su buena conformabilidad y soldabilidad, su buena adherencia con recubrimientos orgánicos, -- sus productos de corrosión no tóxicos y se buena apariencia. Se aplica usualmente el estaño por inmersión en el metal líquido (dipping) o por electrodeposición. Dos ventajas del segundo -- proceso son el control del espesor de la capa y la posibilidad de obtener un espesor diferente sobre cada lado de la lámina. Las latas de acero recubierto con estaño se usan para alimentos, bebidas, productos de petróleo, pinturas, etc. También es posible depositar aleaciones de estaño -- con Zinc, níquel, cadmio o cobre.

Normalmente, el estaño tendría que ser catódico -- con respecto al hierro, pero ocurre una inversión de potencial en la mayoría de las latas selladas -- y el estaño funciona como recubrimiento de sacrificio (ánodo), protegiendo así el acero. Esta inversión del potencial se debe probablemente a la formación de iones complejos. El estaño es relativamente inerte, pero presenta corrosión cuando el medio corrosivo contiene oxígeno o agentes oxidantes.

La resistencia del estaño en agua relativamente pura es excelente y se usa tubería y lámina de estaño o también cobre recubierto de estaño para la producción y el manejo de agua destilada. Los tubos de dentífrico y medicina se hacen de estaño. -- Los babbits son aleaciones típicas a base de Sn -- para cojinetes.

El estaño tiene buena resistencia a la corrosión atmosférica, a ácidos minerales diluidos en ausen

cia de aire y a muchos ácidos orgánicos, pero se corroe en ácidos minerales concentrados. Casi nunca se aplica para el manejo de productos alcalinos.

El Pewter es una aleación importante de Sn, estaño, con 6-7% de Sb, antimonio, y 1-2% Cu, cobre, la cual se usa para cántaros, floreros y otros recipientes.

El estaño es un metal débil, suave y dúctil, su resistencia mecánica a temperatura ambiente es de 2,500 psi (1.75 kg/mm²) y disminuye cuando se eleva la temperatura.

m) Cadmio.

Es un metal relativamente débil con una resistencia mecánica de unas 10,000 psi (7 kg/mm²) y una elongación de 50%. Se usa en aleaciones de bajo punto de fusión y debido a su aspecto brillante y su buena soldabilidad se emplea para equipos electrónicos.

El cadmio es menos electronegativo que el zinc y por tanto, menos efectivo como ánodo de sacrificio. Es más caro que el zinc y sus sales son tóxicas. Sin embargo, el cadmio tiene cierta resistencia a los álcalis.

Se utiliza un plateado con cadmio sobre aceros de alta resistencia para aviación debido al aumento de la resistencia a la corrosión-fatiga. Un problema importante del cadmio es su fragilización por hidrógeno. A temperaturas cercanas a su punto de fusión (321 °C), el cadmio puede atacar al acero.

n) Titanio y sus aleaciones.

El titanio es un metal relativamente "nuevo" y sólo empezó a ser utilizado en estructuras en 1952. Es un metal resistente con una densidad relativa de 4.5 (entre el aluminio y el acero), lo que le proporciona una buena relación resistencia/peso. Debido a esta propiedad, el titanio se utilizó primero en aviación y proyectos espaciales y, ahora también, en la industria. Es un metal reactivo, pero forma una película protectora de TiO₂, óxido de titanio. La fundición y la soldadura de este metal se efectúan en medios inertes (vacío o gas protector) porque el material se haría frágil si absorbiera gases. No es un material para uso a alta temperatura debido a su absorción de gases.

El titanio tiene tres propiedades especiales que justifican su uso en muchas aplicaciones de corrosión: su resistencia a los siguientes reactivos:

- 1) al agua marina y otras soluciones salinas con cloruros
- 2) a hipocloruros y atmósfera clorada húmeda
- 3) a ácido nítrico incluyendo el ácido fumante.

Sales como FeCl_3 , cloruro de fierro III, y CuCl_2 , cloruro de cobre II, que provocan picaduras en la mayoría de los metales y aleaciones inhiben la corrosión del titanio. El titanio no resiste en ácido sulfúrico y clorhídrico relativamente puro, pero sirve muy bien en esos ácidos cuando están muy contaminados con iones metálicos férricos y cúpricos. Presenta poco efecto galvánico, ya que se pasiva fácilmente. Tiene tendencia pirofórica en ácido nítrico rojo fumante con alto porcentaje de NO_2 , y bajo contenido en agua y, también, en gases halógenos secos.

Una adición de un 30% de molibdeno, Mo, aumenta mucho la resistencia al ácido clorhídrico. Ligeras adiciones de estaño reducen la oxidación durante el laminado en caliente. Pequeñas adiciones de paladio (Pd), platino (Pt) y otros metales nobles aumentan la resistencia del material en medios moderadamente reductores. Una de las aleaciones comerciales de titanio contiene alrededor de 0.15% de paladio (Pd). Muchos elementos sirven para alear el titanio; existen aleaciones comerciales con aluminio (Al), cromo (Cr), fierro (Fe), Manganeso (Mn), estaño (Sn), vanadio (V) y Zirconio (Zr).

La tabla (XII) da las propiedades mecánicas del titanio y de algunas aleaciones del mismo, donde se puede observar que hay 3 tipos metalúrgicos diferentes ya que el titanio (Ti) presenta polimorfismo.

A temperatura ambiente, el titanio es hexagonal compacto, (α , alfa), pero se transforma a cúbico a cuerpo centrado (β -beta) a la temperatura de 885°C . Hay elementos de aleación que estabilizan la fase α y otros que estabilizan la fase β .

Generalmente, las aleaciones alfa son más dúctiles y soldables. Estructuras duplex (de dos fases) pueden ser endurecidas por un tratamiento térmico. El módulo elástico del titanio de $16,800,000$ psi ($\approx 11,800$ kg/mm²) es bajo en com-

TABLA (XII)

MATERIAL	CONDICION	FUERZA- DE TEN- SION -- lb/Pulg ²	FUERZA- DE FATI GA Lb/pulg ²	ELONGA CION %
Ti COMERCIAL	RECOCIDO	85,000	70,000	26
ALEACION ALFA				
5% Al, 2.5% Sn	RECOCIDO	125,000	120,000	18
ALEACIONES ALFA BETA				
8% Mn	RECOCIDO	140,000	125,000	15
4 Al, 3 Mo, 1 V	TRATADO CON CALOR	195,000	165,000	6
6 Al, 4 V	RECOCIDO	135,000	120,000	11
6 Al, 4 V	TRATADO CON CALOR	170,000	150,000	7
ALEACION BETA				
3 Al, 13 V, 11 Cr	TRATADO CON CALOR	180,000	170,000	6

paración con el módulo del hierro (acero) de - -
30,000,000 psi (= 21,000 kg/mm²).

Piezas coladas de titanio comercial están disponi-
bles para bombas y válvulas y su utilización au-
menta de año en año porque disminuyen los costos-
de manufactura.

ñ) Metales refractarios.

La característica de estos metales es su muy alto
punto de fusión comparado con el hierro y el ace-
ro. Debido a los trabajos en motores de propul-
sión a chorro y los programas espaciales, estos -
materiales se hicieron comercialmente disponibles.
Desafortunadamente, su resistencia a la oxidación
a alta temperatura es muy reducida y requieren re-
cubrimientos protectores.

Aparte del tantalio, el columbio, niobio, molibde-
no, tungsteno (wolframio) y zirconio son elemen-
tos bastante nuevos para la aplicación en proble-
mas de corrosión en soluciones acuosas. Existen-

varias aleaciones de esos metales en el mercado.

Los puntos de fusión de estos metales se dan en la tabla (XIII):

TABLA (XIII)

METAL	PUNTO DE FUSION	
	°F	°C
COLUMBIO	4474	2468
MOLIBDENO	4730	2610
TANTALIO	5425	2996
TUNGSTENO	6170	3410
ZIRCONIO	3366	1852
FIERRO (PARA COMPARACION)	2798	1536

- Columbio

Este metal tiene buena resistencia a la corrosión en ácidos orgánicos/inorgánicos con la excepción del ácido fluorhídrico; ácido sulfúrico concentrado y caliente y del ácido clorhídrico. Esta resistencia se debe a la formación de una película protectora de pentóxido de columbio, Cb_2O_5 . La resistencia del columbio en soluciones alcalinas es baja.

- Molibdeno.

El molibdeno tiene buena resistencia en los ácidos fluorhídrico, clorhídrico y sulfúrico, pero agentes oxidantes como ácido nítrico provocan un ataque rápido. Su comportamiento es bueno en soluciones acuosas alcalinas. El metal forma el óxido volátil MoO_3 , trióxido de molibdeno, en el aire a temperaturas superiores a 705°C . Una gran ventaja mecánica del molibdeno es su alto módulo elástico $E = 50,000,000 \text{ psi}$ ($= 45,000 \text{ kg/mm}^2$): el metal se deforma muy poco con la carga aplicada.

- Tantalio.

El tantalio ya se usa desde hace muchos años debido a su alta referencia a la mayoría de los

medios corrosivos, con algunas excepciones que incluyen las soluciones alcalinas, el ácido flurohídrico y el ácido sulfúrico concentrado y caliente. Se usa el tantalio para el manejo de soluciones químicamente puras como por ejemplo el ácido clorhídrico. Se utiliza también para refacción de equipo recubierta de vidrio, por su espectro muy amplio de resistencia a la corrosión. Sin embargo, siempre hay que evitar cualquier reacción de desprendimiento de hidrógeno cerca del tantalio, ya que esto resultaría en una absorción y fragilización del material. No es práctico llevar a cabo un recocido de desorción del hidrógeno, debido a las altas temperaturas y bajas presiones requeridas.

Una lámina de tantalio es muy fuerte y se pueden ahorrar costos utilizando secciones delgadas. El tantalio se usa también para implantaciones quirúrgicas.

o) Metales nobles.

La característica de estos materiales es el potencial electroquímico muy alto comparado al hidrógeno, su excelente resistencia a la corrosión, sus óxidos inestables (o sea que no se oxidan estos metales) y su alto precio. Esto último es el responsable para la denominación de "metales preciosos". En la mayoría de los casos, no se requiere de ninguna película protectora. Los metales nobles son el oro, la plata, el platino y además cinco metales "platínicos": iridio, osmio, paladio, rodio y rutenio. El oro, la plata y el paladio están disponibles en la mayoría de las formas comerciales y los primeros tres se usan mucho en la industria. Los demás elementos nobles se utilizan sobre todo como elementos de aleación por ejemplo alambre de platino-rodio, Pt-Rh, para termopares. Su utilización en joyería es muy conocida. A pesar de su alto costo, los metales nobles pueden ser la solución más económica para algunos problemas de corrosión extrema. Su alto valor de recuperación (chatarra) es una ventaja importante. Es muy usual combinar recubrimientos de metal noble con metales de base proporcionando buena resistencia mecánica.

- Oro.

El oro es uno de los primeros metales utilizados por el hombre porque se encuentra en la na-

turalidad en estado puro y metálico. Se utilizó el oro sobre todo para joyería y monedas y actualmente sigue siendo muy utilizado para joyería, usualmente aleado con cobre para proporcionarle mayor dureza. El oro puro es de 24 kilates, siendo 1 kilate 1/24 parte: un oro de 12 kilates contiene 50% de cobre y 50% de Au, oro.

Además de joyería, el oro se usa como material dental, para contactos eléctricos, recubrimientos (dorado), cubiertos, equipo especial de producción industrial, circuitos integrados, etc.

La resistencia del oro en ácido nítrico diluido y en ácido sulfúrico concentrado y caliente es muy buena, pero se disuelve en "agua regia" - - (= 50% HNO_3 + 50% H_2SO_4 en ebullición) y no resiste al ácido nítrico concentrado, a cloruros y bromuros, al mercurio y a cianuros alcalinos.

- Platino.

Se usa el platino para termopares (Pt-PtRh), tanques para vidrio fundido, crisoles para química analítica, resistencias para hornos eléctricos (hasta 1,760 °C) y para cámaras de combustión o de reacción de productos extremadamente corrosivos a temperatura superior a 982.2°C, debido a su resistencia a muchos medios oxidantes y, sobre todo, al aire a alta temperatura. A veces se aplica el platino como recubrimiento sobre una base más barata con mayor resistencia mecánica; una capa intermedia de alumina (Al_2O_3) u otro producto evita la aleación o reacción del platino con el elemento de base. El platino reemplazó al cuarzo fundido en muchas aplicaciones químicas. Un contacto causal entre platino y cuarzo a muy alta temperatura fragiliza el platino. Una prueba del carácter inerte de platino es su uso amplio como catalizador.

Otras aplicaciones del platino y de sus aleaciones son como hiladores para rayón (70 Au, oro, 30 Pt, platino), absorbentes de ácido sulfúrico, ánodos para electroplateado, ánodos para voltaje aplicado, equipo químico y joyería de alta calidad. El platino resiste al mercurio.

Como se puede observar en la siguiente tabla -- (XIV) el platino tiene buenas propiedades mecánicas a alta temperatura, mientras que el oro y la plata son débiles.

TABLA (XIV)

MATERIAL	TEMPERATURA °C	FUERZA DE TENSION - Lb/Pulg. ²	FUERZA DE FATIGA -- Lb/Pulg. ²	ELONGACION %	DUREZA DE BRINELL	MODULO DE ELASTICIDAD	PUNTO DE FUSION °C
PLATA	AMBIENTE	18,000	8,000	55	26	11,000.000	960
ORO	AMBIENTE	19,000	--	70	25	11,600.000	1,060
70 Au-30 Pt	AMBIENTE	29,000	3,500	--	130	16,500.000	1,450
PLATINO	AMBIENTE	21,000	2,000	40	40	21,000.000	1,770
PLATINO	400	13,000	--	--	--		--
PLATINO	1,000	4,000	--	--	--		--
PLATINO	1,200	2,400	--	--	--		--

El platino no resiste el "agua regia", a los ácidos iodhídrico y bromhídrico, al cloruro férrico y a los cloruros y bromuros.

- Plata.

El uso principal de la plata es para monedas y cubiertos en forma sólida (maciza) o plateada. La plata Sterling no contiene más de 7.5% de cobre (Cu) para mayor dureza. La plata pierde su carácter noble (no reactivo) en contacto con azufre y se "oxida" formando sulfuros. Se usa mucho en tectos eléctricos, soldaduras y aleaciones dentales con mercurio, además, en la industria química en forma sólida y maciza o como recubrimiento de equipo, por ejemplo en tubería calentadora y condensadores para ácido fluorhídrico puro; en crisoles de evaporación para la producción de NaOH puro; en autoclaves para la producción de urea y en toda clase de equipo para la producción de alimentos y medicinas donde la pureza es de suma importancia. La plata resiste muy bien a los ácidos orgánicos.

La plata se disuelve en ácido nítrico, ácido clorhídrico caliente, ácidos iodhídrico y bromhídrico, mercurio, cianuros alcalinos y a veces presenta corrosión en ácidos reductores cuando hay agentes oxidantes presentes.

B) MATERIALES NO METALICOS

a) Hules naturales y sintéticos.

La característica principal de los hules y de los elastómeros en general es su buena flexibilidad, a la cual se debe el uso de hule en tubos, empaques, llantas, etc. Además su resistencia química y a la abrasión, y las buenas propiedades de aislante eléctrico son ventajas en muchas aplicaciones de corrosión. El hule y el ácido clorhídrico representan la combinación normal, ya que desde hace muchos años se usa tubería y tanques de acero recubiertos con hule para el manejo de este ácido.

En general, los hules naturales tienen mejores propiedades mecánicas que los hules artificiales o sintéticos, pero estos últimos tienen mayor resistencia a la corrosión.

- Hule natural.

El hule natural es una macromolécula (cadena muy larga) de isopreno (o sea, poli-isopreno), producido a partir del latex de un árbol específico. La forma espiral de ese tipo de moléculas es responsable de la buena elasticidad.

El hule suave puede ser utilizado hasta una temperatura de 71.1 °C o hasta 82.2 °C si se endurece por la adición de algunos elementos, como por ejemplo, el azufre, el cual forma "puentes" entre las cadenas y endurece el material: un porcentaje de 50% de azufre (S) da un hule duro llamado "ebonita". Hules duros y semi-duros se usan para llantas y recubrimientos de tanques. Normalmente la resistencia a la corrosión aumenta con la dureza. A veces, el recubrimiento de hule se aplica cuando todavía está suave y luego se le somete a un tratamiento de endurecimiento.

- Hules sintéticos.

Existe una gran variedad de hules sintéticos, a veces combinados con plásticos o endurecedores para lograr un rango amplio de propiedades: elasticidad, resistencia a la temperatura y a la corrosión. En la tabla (XV) se aprecia la

gran variedad en dureza, elongaciones, resistencia mecánica, elasticidad, resistencia a la temperatura y a la corrosión de los hules naturales y sintéticos.

TABLA (XV)

PROPIEDAD	HULE NATURAL	BUTIL (GR-1)	BUNA-S (GR-S)	NEOPRENO	NITRILO (BUNA-N)	HULE POLI ACRILICO	HULE SILICON
RANGO DE DUREZA (SHORE "A")	40-100	40-90	40-100	30-90	45-100	50-90	40-80
FUERZA DE TENSION (psi)	4,500	3,000	3,500	3,500	4,000	1,500	900
ELONGACION MAX. %	900	900	600	1,000	700	200	250
RESISTENCIA A LA ABRASION	EXCELENTE	BUENO	EXCELENTE	MUY BUENO	EXCELENTE	REGULAR	POBRE
RESISTENCIA A LA COMPRESION A 70 °C	BUENO	REGULAR	EXCELENTE	BUENO	EXCELENTE	BUENO	EXCELENTE
RESISTENCIA A LA COMPRESION A 121°C	POBRE	POBRE	EXCELENTE	REGULAR	EXCELENTE	BUENO	EXCELENTE
RESISTENCIA AL ENVEJECIMIENTO (TEMPERATURA NORMAL)	BUENO	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE	EXCELENTE
TEMPERATURA AMBIENTE NORMAL MAX. PERMISIBLE-°C	71	135	135	107	149	204	304
RESISTENCIA AL AMBIENTE Y AL OZONO	REGULAR	MUY BUENO	REGULAR	EXCELENTE	REGULAR	EXCELENTE	EXCELENTE
RESISTENCIA A LA FLEXION	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	EXCELENTE	REGULAR	EXCELENTE	POBRE

TABLA (XV) (Continuación)

PROPIEDAD	HULE NATURAL	BUTIL (GR-1)	BUNA-S (GR-S)	NEOPRENO	NITRILICO (BUNA-N)	HULE POLI ACRILICO	HULE SILICON
RESISTENCIA A LA DIFUSION DE GASES	REGULAR	EXCELENTE	REGULAR	MUY BUENO	REGULAR	--	--
RESISTENCIA A ACEITES Y GRASAS DEL PETROLEO	POBRE	POBRE	POBRE	BUENO	EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO
RESISTENCIA A ACEITES VEGETALES	BUENO	BUENO	-	-	-	-	-
RESISTENCIA A COMBUSTIBLES Y SOLVENTES NO-AROMATICOS	POBRE	POBRE	POBRE	REGULAR	BUENO	-	POBRE
RESISTENCIA AL AGUA Y ANTICONGELANTES	BUENO	BUENO	BUENO	REGULAR	EXCELENTE	POBRE	REGULAR
RESISTENCIA A ACIDOS DILUIDOS	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	-	-
RESISTENCIA A AGENTES OXIDANTES	POBRE	REGULAR	POBRE	POBRE	POBRE	-	-
RESISTENCIA A ALKALIS	REGULAR	REGULAR	REGULAR	BUENO	REGULAR	-	-
FUERZA DIELECTRICA	EXCELENTE	BUENO	EXCELENTE	REGULAR	REGULAR	-	-
RESISTENCIA A LA FLAMA	POBRE	POBRE	POBRE	BUENO	POBRE	-	-
CARACTERISTICAS DE FABRICACION	EXCELENTE	BUENO	BUENO	BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE
RESISTENCIA A LA BAJA TEMPERATURA	MUY BUENO	REGULAR	BUENO	REGULAR	BUENO	POBRE	EXCELENTE
RESISTENCIA AL DESGASTE	EXCELENTE	EXCELENTE	BUENO	BUENO	BUENO	REGULAR	POBRE

El neopreno y el hule nitrílico (buna N) resisten en gasolina y aceites (mangueras para gasolina), - el hule butílico (GR-1) es impermeable a los gases y se usa como sellador; además, tiene una buena resistencia en medios oxidantes como aire y ácido nítrico diluido.

En medios corrosivos, la resistencia a la temperatura disminuye mucho, por ejemplo, el hule natural en H_2SO_4 70% sólo resiste a temperatura ambiente. Tanques recubiertos de neopreno o de hule nitrílico se usan para el manejo de NaOH, hidróxido de sodio, puro y fuerte.

Uno de los elastómeros recientes es el Hypalón -- (polietileno cloro sulfonado) que tiene mayor resistencia a la oxidación; por ejemplo en H_2SO_4 , ácido sulfúrico, 90% y HNO_3 , ácido nítrico, 40% a temperatura ambiente.

Los hules suaves son mejores para la resistencia a la abrasión. Un error muy común es el de usar hule duro para problemas de corrosión-erosión.

La selección de un hule adecuado es muy difícil y la mejor solución es la entrevista con un representante de una casa comercial, ya que ellos tienen una gran cantidad de datos sobre los diferentes tipos de hule.

b) Plásticos.

Los plásticos son productos conteniendo macromoléculas en estado sólido después de su manufactura. Existe una enorme variedad de productos plásticos en su gran mayoría artificiales.

Comparados con los metales los plásticos son generalmente mucho menos fuertes, más suaves, más resistentes a iones de cloruro (Cl^-) y a ácido clorhídrico, menos resistentes a ácido sulfúrico concentrado y a ácidos oxidantes como el nítrico, menos resistentes a disolventes y tienen limitaciones a temperaturas mucho más bajas.

Los plásticos se clasifican en dos categorías: -- los termoplásticos y los termoduros o termofijados. Los primeros se suavizan al calentarlos, regresan a su dureza original al enfriarse y pueden fundir sin disociación. Los termofijados se hacen más duros con calentamiento, conservan su dureza al enfriarse y no son reutilizables.

En la tabla (XV) se dan algunas propiedades y resistencia a la corrosión de unos plásticos comunes: se tiene un rango muy amplio de propiedades disponibles y además, la adición de rellenos y en

endurecedores permite varias aún más las propiedades.

Normalmente, los plásticos no se disuelven como los metales, sino que experimentan una degradación o corrosión debido a un hinchado, pérdida de propiedades mecánicas, ablandamiento, endurecimiento, agrietamiento o decoloración.

— Termoplásticos

Fluorocarbonados

El teflón, Kel F (marcas registradas) y otros fluorocarbonos son como los metales nobles entre los plásticos, ya que resisten a casi todos los medios corrosivos hasta temperaturas de 290°C. Los fluorocarbonos se componen de carbono y fluor y el primero fue el Teflón o PTFE (poli tetrafluoretileno) desarrollado por Du-Pont.

Además de su buena resistencia a la corrosión - el teflón tiene un coeficiente de fricción muy bajo, lo que le hace muy útil para partes de válvulas y de equipo en movimiento; el teflón actúa como lubricante y evita problemas de bloqueo de partes.

También se usa mucho para sellos, empaques, aislamiento de cables, recubrimiento de tubería, válvulas, etc.

Acrílicos

Lucita y Plexiglass son dos metilmetacrílicos -- muy conocidos, usados como mango de brochas y cepillos, objetos transparentes, modelos, luces traseras de carros, etc. Los acrílicos son suaves, fácilmente rayables y no resisten mucho a la temperatura.

Nylon

El Nylon se usa mucho para mangueras y para aplicaciones de corrosión pura, sobre todo por su resistencia mecánica, bajo coeficiente de fricción y resistencia a la abrasión. Se usa en forma de hilo (equipo de pesca, tenis, etc.). También se aplica como aislante eléctrico resis

tiendo una mayor temperatura que el hule.

Poliéteres clorinados

El Pentón es un plástico reciente del tipo de poliéster clorinado que se usa mucho para el manejo de medios corrosivos, incluyendo medios muy agresivos, por ejemplo en tubería y válvulas, recubrimientos, etc.

Polietileno

Los polietilenos son los plásticos más producidos y más utilizados. Algunas marcas son Alaton-Aeroflex, Polythene, etc. Se utilizan para envolturas, botellas, recipientes, tubería para agua o productos químicos, pero algunos productos pueden ocasionar una corrosión bajo tensión.

Polipropileno

Algunas marcas comerciales de polipropileno son Moplen, Pro-Fax y Escon. Estos plásticos presentan mayor resistencia a la temperatura y a la corrosión que el polietileno y además son más rígidos.

Poliestireno

El poliestireno (Styron, Lustrex) se usa mucho para paredes, cajas de tuberías, cajas de radio, tapas de botellas, partes de refrigeradores, etc tiene buena resistencia a la corrosión (también HF, ácido fluorhídrico) pero es demasiado frágil para muchas aplicaciones estructurales.

Cloruro de polivinilo rígido (PVC)

Este material es rígido pero puede hacerse blando por la adición de acetato de polivinilo. El PVC se usa para tubería, empaque, hojas, láminas recubrimientos, etc.

Vinílicos

Unos vinílicos conocidos son el Tygon, Vinylite, Plioflex, Saram, la mayoría son copolímeros de cloruro de vinil con acetato de vinil. Se usan para tubería, envoltura, pisos, fibras, discos grabados, impermeables, manguera para jardín, aislamiento, etc. Se dejan unir partes con pegamentos o calor (soldadura de plástico)

Termofijos

Epoxy

Los epoxy como Epon, Durcon, Araldite, presentan tal vez la mejor combinación de resistencia mecánica y a la corrosión, son disponibles en forma de colados, extrusiones, hojas, pegamentos, recubrimientos protectores, circuitos imprimidos, etc.

Fenólicos

Los fenólicos son unos de los plásticos más antiguos. Algunas marcas son Bakelita, Durez, Resinnox. Se producen principalmente a partir de fenol y formaldehído y se aplican en cajas de radio, teléfonos, partes de equipo eléctrico doméstico, bombas, válvulas, charolas, etc.

Poliester

Mylar, Dacron, Dypol, Vibrin son unos tipos de poliester muy usados (por ejemplo el satélite "Echo" se hizo de un globo de Mylar recubierto de una película de metal). Su resistencia a la corrosión es inferior a la de los demás plásticos. Se usa mucho el poliester como material reforzado, por ejemplo para equipaje.

Silicones

Los silicones tienen buena resistencia al calor y sus propiedades mecánicas varían poco con la temperatura. Estos plásticos difieren de los demás porque el silicio inorgánico es un elemento básico de su estructura. Se usan silicones para moldear, evitar pegamiento, aislar partes eléctricas, etc.

Ureas

Las ureas (por ejemplo: Lauxite, Beetle, Avisco) se producen a base de urea y formaldehído. Su resistencia a la corrosión no es muy buena y se usa para equipo doméstico, partes eléctricas, pegamento para madera, etc.

Plásticos Laminados y Reforzados

Estos plásticos son generalmente termofijos laminados, unidos o mezclados con materiales de relleno como tela, papel, fibras de vidrio, etc.,

para proporcionarles una mayor resistencia mecánica, la cual puede llegar hasta 50,000 psi ($=35 \text{ kg/mm}^2$), resultando así una buena relación resistencia mecánica/peso. Se utilizan estos plásticos en tanques, tuberías, barcos, cohetes y satélites.

C) OTROS MATERIALES NO METALICOS

a) Cerámica

Los materiales cerámicos son compuestos de elementos metálicos con elementos no-metálicos, como por ejemplo la magnesita, MgO . Otros materiales cerámicos son ladrillos, piedras, sílice fundida, barro vidrio, porcelana, concreto, abrasivos, morteros y refractarios para alta temperatura.

En general, comparados con los metales, los materiales cerámicos resisten una mayor temperatura, tienen mayor resistencia a la corrosión y a la abrasión, incluyendo la corrosión-erosión y son mejores aisladores. Sin embargo, los materiales cerámicos son frágiles, más débiles en tensión y sensibles a los choques térmicos. La mayoría de las cerámicas resisten bien a la corrosión, con la excepción del ácido fluorhídrico y de caústicos. Se pueden conformar por compresión, extrusión o colada (porcelana).

b) Ladrillos Acidos

Estos ladrillos contienen 10% más de sílice, SiO_2 , que los ladrillos comunes y se utilizan sobre todo como forro de tanques y otros recipientes para resistir a la corrosión por ácidos calientes o a la corrosión-erosión. Usualmente, un tanque de acero con forro de ladrillos tiene una lámina intermedia de plomo, hule o plástico. Las uniones de ladrillos se efectúan con cementos y morteros resistentes a los ácidos. Los suelos sujetos a derramamientos de ácido se construyen con ladrillos ácidos.

c) Barro y Porcelana

Se utilizan ambos por su buena resistencia a la corrosión, la porcelana es sobre todo para piezas más pequeñas. La porcelana es menos porosa que el barro, pero es posible glasear ambos para evitar problemas de limpieza. La resistencia mecánica para los productos es de 2,000 y 5,000 psi (1.5 a 3.5 kg/mm^2) respectivamente. Se construyen alcanta

rillas de barro, torres de absorción, tubería, - válvulas, etc. de barro o de porcelana.

d) Arcilla Estructural

Estos productos de arcilla son ladrillos de construcción, terra-cota, tubería, techos, paredes, etc. A veces no resisten a ácidos calientes.

e) Vidrio

El vidrio es un óxido inorgánico, amorfo, principalmente de sílice (SiO_2) que se enfrió en condiciones que no permitieron su cristalización. Se usa mucho el vidrio para equipo de laboratorio - (Pyrex), para recipientes, para tubería y bombas. En algunos elementos de equipo se aprovecha la transparencia del vidrio (por ejemplo medidores de flujo). La fibra de vidrio se usa mucho para filtros de aire, aislamiento térmico y plástico-reforzado. El ácido fluorhídrico y soluciones cáusticas atacan el vidrio, y también ocurre una ligera corrosión en agua caliente.

f) Sílice vitreosa

Este material, también llamado sílice fundida, es casi pura sílice, y tiene mejores propiedades -- térmicas que la mayoría de las cerámicas y una excelente resistencia a la corrosión a alta temperatura. Se usa para muflas de hornos, quemadores, cámaras de reacción, etc., sobre todo cuando hay que evitar una contaminación del producto

g) Concreto

Se utilizan tanques y tuberías de concreto para el manejo de productos moderadamente corrosivos. Si el medio es más agresivo, se protege el concreto con recubrimiento o con forros.

En la tabla (XVI) se dan algunas propiedades de refractarios para muy alta temperatura, llamados super-refractarios, los cuales se usan para resistir a metales fundidos, escorias y gases calientes. La alúminia (Al_2O_3) se aplica para bombas y asientos de válvulas por su alta dureza y buena resistencia al desgaste y a la corrosión-erosión.

TABLA (XVI)

	MAGNESIA	MULLITE	SILICON CARBIDE	ESTABI- LIZADO CON- ZIRCONIA	LIGADO 99%Al ₂ O ₃
PUNTO DE FUSION	2,650	1,820	-	2,600	2,010
LIMITE DE USO °C	2,300	1,650	1,650	2,430	1,820
	OXIDA 1,700 REDUCE				
MODULO DE RUPTU RA Lb/PULG ²	2,500	1,500	2,000	1,900	2,000
DUREZA Moh	6	6.5	9.6	7	9
RESISTENCIA AL CHOQUE TERMICO	POBRE	BUENO	BUENO	REGULAR	REGULAR
COSTO RELATIVO	2.8	1	2.1	10	3.1

h) Carbono y grafito

Estos materiales son los únicos no-metálicos buenos conductores eléctricos y térmicos. Una alta conductividad térmica resulta en excelente resistencia al choque térmico. Se utilizan el carbono y el grafito para intercambiadores de calor, columnas, bombas, ánodos para protección catódica, etc. Estos materiales son inertes en muchos medios corrosivos, pero son débiles y frágiles en comparación con los metales: su resistencia mecánica varía de 500 a 3,000 psi (35 a 210 kg/cm²) y su resistencia al impacto es nula. La resistencia a la abrasión es muy reducida, su estabilidad a alta temperatura es buena y pueden utilizarse hasta 2,200 a 2,760 °C si están protegidos contra la oxidación (quemado). Recubrimientos a base de silicio (silícidos o carburo de silicio) y de iridio dan protección hasta 1,600 °C.

El carbono tiene una buena resistencia a alcalinos y a la mayoría de los ácidos. Agentes oxidantes como el ácido nítrico, sulfúrico concentrado y crómico lo atacan. También ioduros, fluoruro, bromuros y cloruros pueden atacar el carbono. --Karbate (marca registrada) es un grafito ligado con resina que se aplica mucho en la industria -

química. El grafito se usa mucho en reactores nucleares.

El grafito pirolítico es un material anisotrópico de alta densidad con mayor resistencia mecánica y a la oxidación que el tipo común de carbono.

1) Madera

Las mejores maderas para uso en corrosión son: ciprés, pino, roble y pino de California. Los marcos de filtros a presión, partes estructurales de construcciones, barriles y tanques se hacen a veces de madera. Hay que guardar los recipientes mojados, para evitar que sequen y se formen fugas. Generalmente, se limita el uso de madera para agua y productos químicos en baja concentración. Ácidos fuertes, ácidos oxidantes y alcalinos disueltos atacan la madera. Además puede ocurrir un ataque biológico. Una impregnación con ceras y con plásticos reduce el ataque químico y biológico.

III.- SISTEMAS DE PROTECCION ANTICORROSIVA

III.1: METODOS DE PROTECCION

A la fecha se cuenta con varios métodos que han resultado ser los más prácticos para controlar la corrosión del acero, y cuya selección para cada caso específico dependerá de las condiciones del medio y de factores técnico-económicos. Estos métodos son los siguientes:

- A).- Selección de Materiales de Construcción
- B).- Alteración del medio Corrosivo
- C).- Diseño Anticorrosivo.
- D).- Protección Catódica y Anódica.
- E).- Recubrimientos Anticorrosivos.

A).- Sistema por Selección de Materiales de Construcción.

- Metales y Aleaciones
- Materiales no Metálicos
 - Hules Naturales y Artificiales
 - Plásticos
 - Ladrillos y Cerámicas
 - Carbono y Grafito
 - Madera.

La selección de materiales de construcción adecuados, es uno de los métodos más comunes para prevenir la corrosión. A continuación, se presentan algunos aspectos que deben ser cuidadosamente considerados por las personas encargadas del control de corrosión en la industria para evitar, posibles errores en la selección de los materiales adecuados.

- a) El acero inoxidable (11.5 - 3.0% Cr y 0 - 22.0% Ni) se usa mucho en condiciones corrosivas, pero su resistencia no es adecuada en cualquier medio, por ejemplo: En medios conteniendo cloruros y estructuras bajo tensión, en los cuales los aceros inoxidables son menos resistentes que el acero ordinario de construcción. Además, los aceros inoxidables son más susceptibles a una corrosión local, como la

corrosión intergranular, por picaduras y corrosión bajo tensión.

b). Una serie de combinaciones "NATURALES" metal-medio corrosivo, las cuales representan la mayor resistencia a la corrosión para el más bajo precio en:

- 1.- Acero Inoxidable - Acido Nítrico.
- 2.- Níquel y sus Aleaciones - Soluciones Cáusticas.
- 3.- Monel - Acido Fluorhídrico.
- 4.- Hastelloy y Chlorimet - Acido Clorhídrico Caliente.
- 5.- Plomo - Acido Sulfúrico Diluido.
- 6.- Aluminio - Exposición Atmosférica no Agresiva.
- 7.- Estaño - Agua Destilada.
- 8.- Titanio - Soluciones Oxidantes Concentradas y Calientes.
- 9.- Tantalio - Ultima Resistencia.- Resiste a la mayoría de los ácidos a cualquier temperatura y concentración y se usa generalmente en aplicaciones donde se requiere una corrosión mínima, como por ejemplo: En implantaciones en el cuerpo humano. Además el Tantalio tiene casi la misma resistencia a la corrosión que el vidrio y a menudo se usa para sellar o refaccionar equipo de vidrio o equipo recubierto de un forro de vidrio.
- 10.- Acero - Acido Sulfúrico Concentrado.

En la lista anterior sólo se presentan algunas combinaciones y en la mayoría de los casos, existen materiales más baratos y otros más resistentes.

c) Unas reglas muy generales para la resistencia a la corrosión de metales y aleaciones son:

- 1.- Para medios reductores y no oxidantes, como ácidos sin aire disuelto y soluciones acuosas, se utilizan mucho el níquel, el cobre y sus aleaciones.
- 2.- Para condiciones oxidantes, se utilizan aleaciones conteniendo cromo.
- 3.- Para condiciones oxidantes extremadamente fuertes, el titanio y sus aleaciones tienen la mayor resistencia.

- d) Generalmente, los hules y los plásticos comparados con los metales y las aleaciones, son mucho más débiles, más suaves, más resistentes a los iones de cloruro y al ácido clorhídrico, pero menos resistentes a los disolventes y tienen limitaciones de temperatura bastante estrechas (para la mayoría hasta 80 - 95°C.)
- e) Los materiales cerámicos tienen excelente resistencia a la corrosión (con excepción del ácido fluorhídrico y de cáusticos) y a la alta temperatura, pero tienen la desventaja de ser frágiles y tener una baja resistencia mecánica a la tensión.
- f) Los carbonos tienen buena resistencia a la corrosión, buena conductividad térmica y eléctrica, pero son frágiles. Su resistencia al impacto es nula y su resistencia a la abrasión - muy reducida.
- g) Las maderas no poseen resistencia en medios corrosivos agresivos. Las mejores maderas para uso en corrosión son: ciprés, pino, roble y pino de California. Generalmente, se limita el uso de madera para aguas y productos químicos a baja concentración. Los ácidos fuertes, ácidos oxidantes y álcalis disueltos atacan la madera. Además puede ocurrir un ataque biológico.

B)- Alteración del Medio Corrosivo

Los problemas de corrosión pueden ser reducidos a través de los siguientes cambios o modificaciones del medio corrosivo:

- Reducción de la Temperatura.
- Reducción de la Velocidad de Flujo del medio Corrosivo.
- Eliminación del Oxígeno y/o Agentes Oxidantes.
- Modificación de la Concentración y/o Composición.
- Uso de Sustancias inhibidoras de la Corrosión.

Reducción de la Temperatura. - La Temperatura aumenta la velocidad de casi todas las reacciones químicas. En la figura (8) se pueden observar dos ejemplos muy comunes de la influencia de la temperatura sobre la velocidad de corrosión.

Usualmente, una reducción de la temperatura disminuye mucho la velocidad de corrosión. Sin embargo, bajo algunas circunstancias, las-

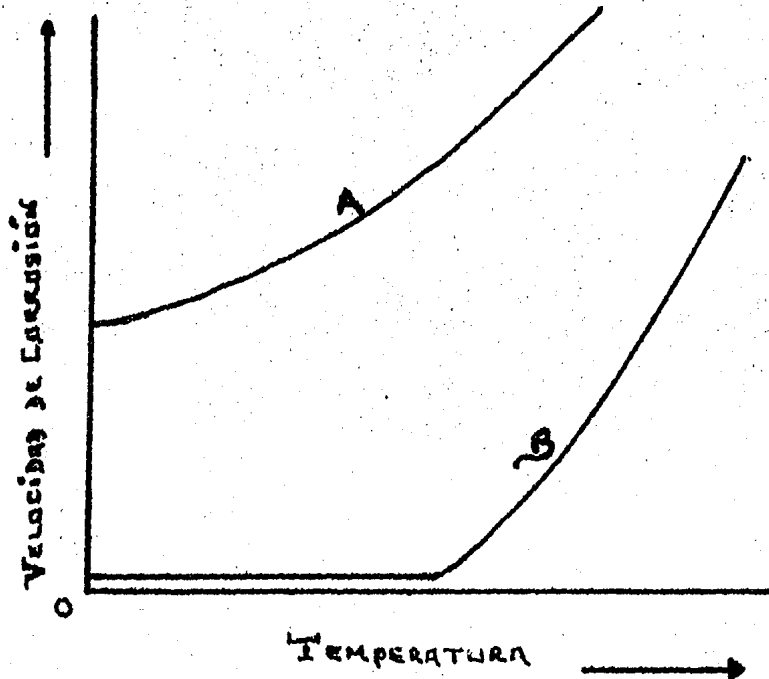


Figura (8)

Efecto de la temperatura sobre la velocidad de corrosión.

Ejemplos:

Curva A: 18 Cr - 9 Ni en H_2SO_4

Ni en HCl

Fe en HF

Curva B: 18 Cr - 8 Ni en HNO_3

Monel en HF

Ni en NaOH

variaciones de temperatura casi no afectan la velocidad de corrosión y en otros casos, una mayor temperatura reduce el ataque por corrosión. Por ejemplo, el agua marina en ebullición es menos corrosiva que estando caliente (por ejemplo, a 65°C), debido a que la solubilidad de oxígeno en agua disminuye conforme aumenta la temperatura.

Reducción de la velocidad de flujo del medio corrosivo.- Este efecto es muy complejo y depende de las características del metal y del medio corrosivo. Sin embargo, es muy común observar que la velocidad de flujo aumenta el ataque corrosivo, aunque existen algunas excepciones importantes. Usualmente, los metales y aleaciones pasivables, como los aceros inoxidable, tienen mayor resistencia a medios corrosivos en movimiento que a soluciones estancadas debido a que con una mayor agitación se logra más rápidamente la formación de la película pasivadora.

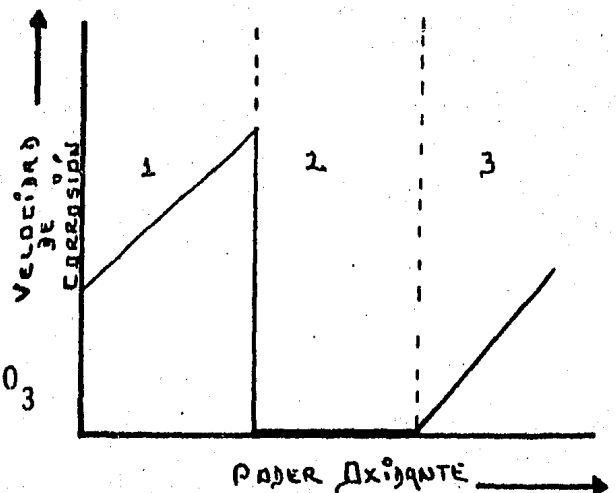
Una recomendación importante es evitar siempre las velocidades de flujo muy altas, ya que podrían causar daño por Corrosión-Erosión.

Eliminación del oxígeno y/o agentes oxidantes.- El efecto de un agente oxidante sobre la velocidad de corrosión es muy diferente según el metal considerado. En la figura (9) se muestra esquemáticamente el efecto del oxígeno o de los agentes oxidantes sobre la velocidad de corrosión:

EJEMPLOS

- 1.- Monel en $\text{HCl} + \text{O}_2$
Cobre en $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$
Fierro en $\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$
- 1-2.- Acero inoxidable 304
(18 Cr - 8 Ni)
en $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}^{3+}$
Titanio en $\text{HCl} + \text{Cu}^{2+}$
- 1-2-3.- Acero Inoxidable 304
en mezclas de $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{HNO}_3$
 HNO_3 concentrados a
temperaturas elevadas.
- 2.- Acero inoxidable 304
en HNO_3
Hastelloy C en FeCl_3

FIGURA (9)



2-3.- Acero inoxidable 304

en $\text{HNO}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$ en
mezclas de $\text{H}_2\text{SO}_4 +$
 HNO_3 concentrados a
temperaturas elevadas.

El comportamiento en la zona 1 del diagrama es característico para los metales normales (que no presentan el fenómeno de pasivación) y también para metales pasivables, pero sobre los cuales todavía no se forma la película protectora. En los ejemplos dados para la zona 1, el hierro puede ser pasivado pero la solubilidad del oxígeno en el agua es demasiado baja para proporcionar el poder oxidante necesario.

Los materiales en la zona 1-2, pasarán a la zona 2 (pasiva) siempre y cuando el poder oxidante del medio corrosivo sea suficiente. De esta manera se reducirá muchísimo su corrosión.

Los materiales en la zona 2 son totalmente pasivos y una variación del poder oxidante no les afecta. Estas condiciones se encuentran normalmente cuando un metal pasivable está en contacto con medios oxidantes como ácido nítrico y cloruro férrico.

El comportamiento en la zona 2-3 ocurre cuando un metal pasivado se expone a un oxidante demasiado fuerte ($\text{HNO}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$), pasando a la zona transpasiva o zona 3.

En algunos casos, como por ejemplo con el acero inoxidable 304 en mezclas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3) a altas temperaturas, se transcurren todas las zonas.

Una observación cuidadosa de la gráfica nos permite concluir, que el efecto de un oxidante sobre la velocidad de corrosión será diferente según el medio y el metal considerados.

Modificación de la concentración y/o composición.- El efecto de la concentración de un medio corrosivo sobre la velocidad de corrosión muy variado y depende en gran parte del tipo de metal que está en exposición. Con la siguiente gráfica se explica a grandes rasgos este fenómeno.

Curva A:

1: Ni en H_2O

Acero inoxidable

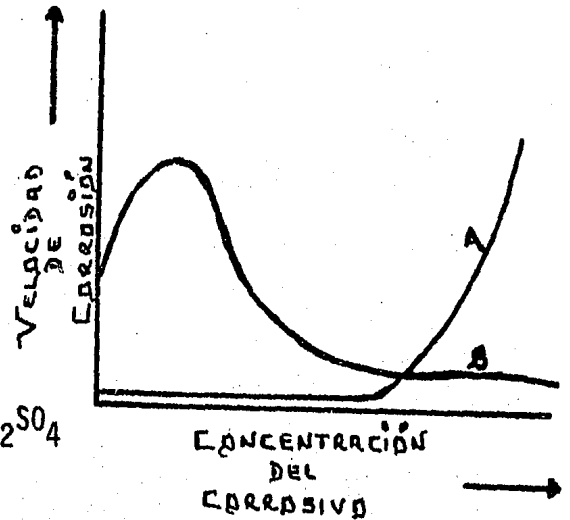
ble 304 en HNO_3

FIGURA (10)

Hastelloy B en HCl
 Bcl
 Ta en HCl
 1-2: Monel en H 1
 Plomo en H_2SO_4

Curva B:

Aluminio en Acido Acético y H_2SO_4
 Monel en HCl
 Acero inoxidable
 304 en H_2SO_4
 Fierro en H_2SO_4



En la curva A se observan las zonas 1 y 2. Si el metal es pasivo, casi no le afecta la concentración. (Zona A-1) en algunos casos un aumento de la concentración puede destruir dicha pasividad. En el caso del plomo en ácido sulfúrico (H_2SO_4), la capa protectora de sulfato de plomo ($PbSO_4$), se disuelve en el ácido concentrado.

Curvas del tipo B son típicas para ácidos solubles en cualquier concentración: Al principio, conforme aumenta la concentración del ácido, aumenta la corrosión debido a la mayor concentración de iones Hidrógeno (H^+). Si la concentración continúa aumentando, la corrosión llega a un máximo y empieza a disminuir. Esto se debe a la reducción de la velocidad de disociación del ácido cuando su concentración aumenta mucho. Esto explica el porqué ácidos comunes como el sulfúrico, acético, fluorhídrico y otros son prácticamente inertes en estado puro (100% de concentración) y a temperatura moderada, pero que aumentan su corrosividad cuando se diluyen.

De las consideraciones anteriores podemos concluir lo siguiente:

- a)- Una disminución de la concentración del agente corrosivo generalmente reduce la corrosión.
- b)- La eliminación de un tipo determinado de reactivo, reduce considerablemente la velocidad de corrosión. Por ejemplo, la corrosividad del agua de enfriamiento para reactores nucleares se reduce eliminando los iones cloruro (Cl^-).
- c) Muchos ácidos como el sulfúrico y el fosfórico son virtualmente inertes a alta concentración y temperatura moderada. En -

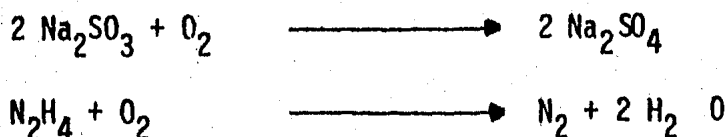
estos casos, es posible reducir la corrosión incrementando la concentración del ácido.

Uso de sustancias inhibidoras de la corrosión.- Un inhibidor es una sustancia que se añade en baja concentración a un medio corrosivo y que reduce la velocidad de corrosión. Existen muchos tipos y composiciones de inhibidores, la mayoría de los cuales fueron desarrollados empíricamente y a veces no se conoce su composición exacta por motivos de patentes y derechos. El mecanismo de la inhibición no está perfectamente entendido, pero es posible clasificar a los inhibidores según su composición y mecanismo básico en los siguientes tipos:

- a).- Inhibidores de tipo absorción.- La gran mayoría de los inhibidores son de este tipo y son compuestos orgánicos que se adsorben en la superficie del metal y suprimen la disolución del mismo, así como las reacciones de reducción (catódicas).- Las aminas son típicas para esta clase de inhibidores.
- b).- Venenos para el desprendimiento de hidrógeno.- Algunos productos, como los iones de arsénico (As) y de antimonio (Sb) retardan especialmente la reacción catódica de desprendimiento de hidrógeno de tal forma que son muy efectivos en soluciones ácidas pero, resultan inefectivos en medios en los cuales la reacción catódica no es el desprendimiento de hidrógeno, sino por ejemplo, la reducción de oxígeno disuelto, etc.

El efecto retardante del desprendimiento de hidrógeno, favorece la polarización, que es uno de los mecanismos naturales para reducir la corrosión.

- c).- Scavengers (Eliminadores de oxidantes).- Son sustancias que actúan eliminando el agente corrosivo de la solución, por ejemplo el sulfito de sodio (Na_2SO_3) y la hidrazina (N_2H_4) eliminan el oxígeno disuelto en soluciones acuosas de acuerdo a las siguientes reacciones:



Está claro que estos inhibidores son muy efectivos en soluciones en las cuales la reducción del oxígeno disuelto es la reacción catódica que controla la corrosión, pero que no son efectivos en soluciones ácidas concentradas.

- d).- Oxidantes.- Compuestos oxidantes como cromatos, nitratos y sales férricas pueden actuar como inhibidor en algunos sistemas, sobre todo en fenómenos de corrosión de metales y aleaciones que presentan transiciones Activo-Pasivo, como el hierro y las aleaciones inoxidables.
- e).- Inhibidores en fase vapor.- Son sustancias que poseen una ~~presión de vapor significativa~~, de tal forma que pueden ser usadas para proteger materiales contra la corrosión atmosférica sin estar en contacto directo con ellos. Se colocan en la cercanía del material a proteger y se transfieren a la superficie del mismo por sublimación y condensación. Estos inhibidores sólo son efectivos en espacios cerrados como envolturas de equipo o de maquinaria por ejemplo durante el transporte o el almacenaje.

Tienen la ventaja de su facilidad de aplicación y de que el artículo protegido puede ser usado inmediatamente sin necesidad de primero remover alguna película de grasa o aceite residual. Tienen la desventaja de acelerar la corrosión de algunos metales no ferrosos, decolorar plásticos y requerir un sellado efectivo de los empaques contra la pérdida de vapor inhibidor.

El mecanismo de inhibición no se conoce en detalle, pero parece ser que el inhibidor es absorbido formándose una película sobre la superficie del metal la cual provee protección contra agua u oxígeno, o ambos. Uno de los inhibidores más efectivos en fase vapor es el nitrito de dicloro-hexil-amonio.

Es muy importante recordar que los inhibidores son productos-específicos con respecto al metal, medio corrosivo, temperatura y rango de concentración y sólo hay que usarlos en las condiciones descritas por los proveedores en sus boletines técnicos. También es importante utilizar una cantidad suficiente de inhibidor, ya que varios agentes inhibidores pueden acelerar la corrosión, sobre todo la corrosión local como picaduras, si están presentes en muy baja concentración: Demasiado poco inhibidor es peor que ningún inhibidor. Para evitar esta posibilidad, conviene utilizar siempre un exceso del producto y checar con frecuencia la concentración del inhibidor presente.

Cuando se añaden 2 sustancias inhibidoras, el efecto puede ser más fuerte que cuando se usa un producto individualmente (efecto sinérgico).

Aunque los inhibidores tienen muchas ventajas existen algunas restricciones en su uso:

- 1) En algunas ocasiones el inhibidor representa una contaminación del medio corrosivo.
- 2) Muchos inhibidores son productos tóxicos y no se pueden usar en la industria de alimentos o medicamentos.
- 3) Los inhibidores se usan sobre todo en circuitos cerrados en los cuales el medio corrosivo se recircula durante mucho tiempo, y no son prácticos para casos de flujo continuamente nuevo o renovado.
- 4) Los inhibidores pierden rápidamente su efectividad, cuando la temperatura y la concentración del medio corrosivo aumentan.

TABLA (XVII)

LISTA DE REFERENCIA DE INHIBIDORES DE LA CORROSION

METAL (SUBSTRATO)	AMBIENTE (MEDIO DE EXPOSICION)	I N H I B I D O R
Aluminio	Acido Nítrico, 2-5%	0.05% Hexameten Tetramina.
Aluminio	Acido Fosfórico 20%	0.5% Cromato de sodio.
Aluminio	Alcohol Anticongelante	Nitrito de Sodio y Molibdato de Sodio.
Aluminio	Bromoformo	Aminas
Aluminio	Etanól Comercial	0.03% Carbonato Alcalinos, Lactatos, Boratos o Acetatos.
Aluminio	Aromáticos Clorinados	0.1-2% Nitroclorobenceno.
Aluminio	Peróxido de Hidrógeno, Alcalino.	Silicato de Sodio.
Aluminio	Hidróxido de Sodio, 4%	18% Glucosa.
Fierro Galvanizado.	Agua Destilada	15 PPM de una mezcla de Metafosfato de Zinc.

METAL (SUBSTRATO)	AMBIENTE (MEDIO DE EXPOSICION)	I N H I B I D O R
Magnesio	Alcohol	Sulfuros Metálicos Alkali nos.
Acero Inoxidable	Acido Sulfúrico 2.5%	5-20 PPM $\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Acero	Acido Sulfúrico Diluf do.	Aminas Aromáticas.
Acero	Acido Sulfúrico, 60-70%	Arsénico.
Acero	Alcohol Etilico 70%	0.15% Carbonato de Amonio -- más 1% de Hidróxido de Amonio.
Acero	Furfural	0.1 % Mercaptobenzotiazol
Acero	Herbicidas como 2,4 Di nitro-6-Alquil fenoles en Aceites Aromáticos.	1.0 - 1.5% Furfural.
Acero	Isopropanol, 30%	0.03 Nitrito de Sodio más 0.015% de Acido Oleico.
Acero	1:4 Metanol-Agua	A 4 Lts. de agua y 1 Lt. de- Metanol agregar 1 gramo de - Piridina y 0.05 gramos de Pi ragalol.
Acero	Soluciones Fertiliza-- das de Nitrógeno.	0.1 Tiocianato de Amonio.
Acero	Acido Fosfórico Concen trado.	0.01-5% Dodecilamina ó - - 2 -Aminobiciclohexil y - - 0.001 de ioduro de Potasio, Iodato de Potasio o Acido -- Iodoacético.
Acero	Fluidos Glicol Polioxi alquilenos.	2% Acido Dilinoleico 1.25% $\text{N}(\text{CHMe}_2)_3$ 0.05-0.2% Mercaptobenzotia-- zol.
Acero	Cloruro de Sodio 0.05%	0.2 Nitrito de Sodio.

METAL (SUBSTRATO)	AMBIENTE (MEDIO DE EXPOSICION)	I N H I B I D O R
Acero	50% Solución de Sodio-Tricloro Acetato.	0.5% Dicromato de Sodio.
Acero	Sulfuro conteniendo salmuera.	Formaldeido.
Acero	Alcohol Tetrahydrofuril	1% Nitrato de Sodio o 0.3% de Cromato de Sodio.
Acero	Agua	Acido Benzoico.
Acero	Agua para operaciones de inundación	Resina Amina.
Acero	Agua Saturada de Hidrocarburos.	Nitrito de Sodio.
Acero	Agua Destilada	Aerosol (agente humectante iónico)
Estaño	Tetracloruro de Carbono Húmedo	0.001-0.1% Anilina.
Estaño	Aromáticos Clorinados	0.1-2.0% Nitroclorobenceno.
Lámina de Estaño	Agentes de Limpieza Alcalinos como el Fosfato Trisódico, Carbonato de Sodio, etc.	Nitrato Dietileno Diamino cobaltico.
Lámina de Estaño	Jabón Alcalino	0.1% Nitrato de Sodio.
Lámina de Estaño	Tetracloruro de Carbono	2% Mesitil Oxido, 0.001% Difenilamina.
Lámina de Estaño	Cloruro de Sodio, 0.05%	0.2% Nitrito de sodio.
Titanio	Acido Clorhídrico	Agentes Oxidantes como Acido Crómico ó Sulfato de Cobre.
Zinc	Agua Destilada	15 ppm de mezcla de Metafosfato de Calcio y Zinc.

c) Diseño Anticorrosivo

El diseño anticorrosivo de equipo, recipientes y estructuras es tan importante como la selección de los materiales para construcción. - En un diseño hay que considerar requerimientos de resistencia mecánica simultáneamente con los aspectos de corrosión. A continuación se describen algunas reglas que deben ser cuidadosamente observadas en el diseño anticorrosivo.

- a) Como la corrosión es una acción penetrante, hay que aplicar esta información en el diseño de tubería, tanques y otras componentes industriales y estructurales. Es usual utilizar un espesor equivalente al doble de lo necesario para lograr la vida útil programada o planeada. Por ejemplo: Si se requiere una vida de 10 años para un tanque y su velocidad de corrosión es de 1/8" en ese período, se diseñará dicho tanque con un espesor de pared igual a 1/4", permitiéndole así una variación en la profundidad del ataque durante la corrosión. Desde luego, el espesor de la pared debe satisfacer otras condiciones, como resistencia mecánica, a la presión, peso, etc.
- b) Usar soldadura en lugar de remaches para la construcción de tanques y otros recipientes, ya que las juntas remachadas son muy susceptibles a corrosión en grietas.
- c) Diseñar tanques y recipientes para drenar y limpiar fácilmente. Esto es muy importante ya que los residuos de un corrosivo en determinadas condiciones puede causar un fuerte ataque al substrato, por ejemplo: El ácido sulfúrico concentrado no ataca mucho al acero, pero si un tanque de acero para ácido sulfúrico no se vacía totalmente, el ácido restante, siendo higroscópico, atrae la humedad de la atmósfera, se diluye y causa un fuerte ataque del acero.
- d) Realizar el diseño de los sistemas de tal manera que las partes que fallarán primero sean fácilmente reemplazables: En la industria química, las bombas fallan rápidamente por tanto hay que diseñar la tubería de tal manera que sea fácil y rápido cambiarlas.
- e) Evitar tensiones mecánicas excesivas y concentraciones de esfuerzo en componentes expuestos a medios corrosivos, ya que esfuerzos mecánicos o residuales son los requisitos para que ocurra un agrietamiento de corrosión bajo tensión; habrá que respetar esta regla sobre todo cuando se usan materiales susceptibles a la corrosión bajo tensión, como los aceros inoxidables y los latones.
- f) Evitar el contacto eléctrico entre materiales disimilares pa-

ra prevenir la corrosión galvánica. Si es posible, es conveniente utilizar materiales similares para toda la estructura, o aislar perfectamente los materiales disimilares entre sí.

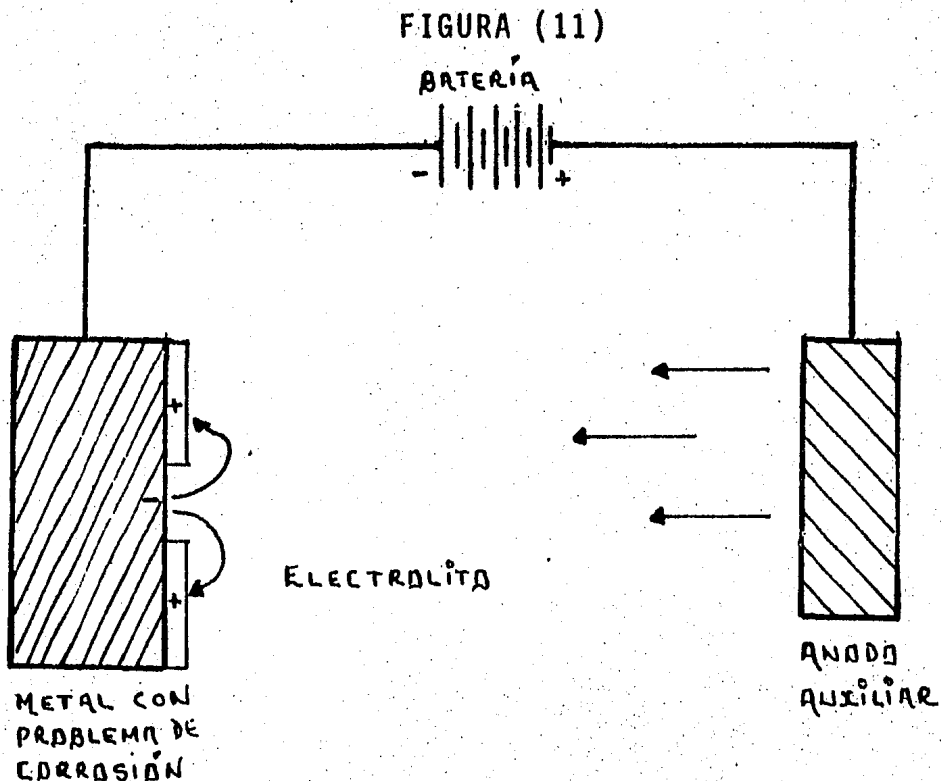
- g) Evitar codos muy prolongados en sistemas de tubería, ya que los lugares en los cuales ocurre un cambio brusco en la dirección de flujo de un líquido puede presentarse una corrosión-erosión, sobre todo con los materiales susceptibles a este tipo de ataque como son el plomo, el cobre y sus aleaciones.
- h) Evitar puntos calientes durante operaciones de transferencia de calor, diseñando intercambiadores de calor con gradientes de temperatura uniformes; una distribución irregular de la temperatura lleva a un calentamiento local y altas velocidades de corrosión. Además, los puntos calientes producen tensiones mecánicas, las cuales pueden llevar a una corrosión bajo tensión.
- i) Diseñar cuidadosamente la forma para excluir el aire, ya que la reducción del oxígeno es una de las reacciones catódicas más comunes durante procesos de corrosión; si se elimina el oxígeno, muchas veces se reduce o previene la corrosión. En el diseño de equipo para la industria química hay que tener mucho cuidado en los agitadores, entradas de líquidos y otros puntos por los cuales es posible que penetre el aire. Los metales y las aleaciones con transición Activo-Pasivo son una excepción a esta regla; el titanio y los aceros inoxidables son más resistentes a los ácidos que contienen aire disuelto y otros oxidantes.
- j) La regla más general para el diseño es Evitar la Heterogeneidad. Materiales metálicos diferentes, espacios de vapor, distribuciones desiguales de calor y de esfuerzos y otras diferencias entre puntos de un sistema llevan a un daño, por corrosión.

D) Protección Catódica y Anódica.

Protección Catódica.- Este tipo de protección es quizá el más importante de todos los métodos para el control de la corrosión. Por medio de una corriente eléctrica aplicada externamente, la corrosión es reducida virtualmente a acero, y una superficie metálica puede mantenerse en un ambiente corrosivo sin deterioración por un tiempo indefinido.

La base de la protección catódica es mantener la polarización del cátodo usando una corriente externa de tal manera que ambos electrodos (cátodo y ánodo) obtienen el mismo potencial y por lo tanto la-

corrosión no ocurre. Esta acción se lleva a cabo suministrando una corriente externa al metal que se está corroyendo, sobre la superficie del cual operan celdas de acción local. La corriente sale del ánodo auxiliar (compuesto de cualquier conductor metálico o no metálico) y entra a ambas áreas la catódica y la anódica de las celdas de corrosión retornando a la fuente de corriente directa. Cuando las áreas catódicas están polarizadas por la corriente externa al potencial de circuito abierto de los ánodos, toda la superficie del metal está al mismo potencial y la corriente de acción local no fluye por más tiempo. El metal, por tanto, no puede corroerse tanto tiempo como la corriente externa es mantenida.



Como ya fue mencionado, el mecanismo de protección depende de una corriente externa que polariza los elementos catódicos de las celdas de acción local al potencial de circuito abierto de los ánodos. La superficie llega a ser equipotencial (los potenciales de cátodo y ánodo llegan a ser iguales), y las corrientes de corrosión no fluyen más (El metal, por tanto, no puede corroerse mientras la corriente externa es mantenida). Visto en otra forma, a un valor suficientemente alto de densidad de corriente externa, una corriente-

positiva neta entra al metal en todas las regiones de la superficie metálica (incluyendo áreas anódicas) y así no hay tendencia para -- los iones metálicos a entrar en solución.

La protección catódica puede ser aplicada en la práctica para proteger metales tales como aceros, cobre, plomo y bronce contra la corrosión en todo tipo de tierras (suelos) y en casi todos los medios acuosos. La corrosión por picadura puede ser prevenida en metales pasivos como los aceros inoxidable o el aluminio. Puede ser usada efectivamente para eliminar el "cracking" por corrosión debido a esfuerzo (por ejemplo, de bronce, acero medio, aceros inoxidable, -- magnesio, aluminio). La fatiga por corrosión de la mayoría de los metales (pero no la fatiga mecánica), la corrosión intergranular -- por ejemplo del dura aluminio, acero inoxidable 18-8 etc. o la deciniquificación del bronce. No puede ser usado para evitar la corrosión en tanques de almacenamiento para agua arriba de la línea de -- llenado debido a que la corriente impresa no puede alcanzar las -- áreas del metal que están fuera de contacto con el electrolito.

"BREVE HISTORIA DE LA PROTECCION CATODICA"

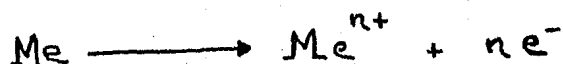
En 1824, Sir. Humphry Davy reportó que el cobre pudo ser protegido exitosamente contra la corrosión por apareamiento a fierro o zinc. -- El recomendó la protección catódica de barcos con casco de cobre em pleando blocks de sacrificio de fierro, el cual sería atacado, en -- la relación de fierro a superficie de cobre de aproximadamente 1 a -- 100. En la práctica (en H₂O de mar) la velocidad de corrosión del -- cobre se redujo apreciablemente, tal y como Davy lo había predecido, pero desafortunadamente, el cobre protegido catódicamente está suje -- to al "lastre" por los organismos marinos, contrariamente al compor -- tamiento del cobre no protegido el cual suministra una concentra -- ción suficiente de iones cobre para envenenar los organismos parási -- tos. Debido a que el lastre reduce la velocidad de los barcos du -- rante la navegación la British Admiralty se decidió contra la idea.

En 1829 un sobrino de Davy, Edmund Davy, protegió exitosamente el -- acero por medio de blocks de zinc atacables, y en 1840 Roberto Ma -- llet produjo una aleación de zinc particularmente adecuada como un -- ánodo de sacrificio.

La protección catódica total de barcos que viajan por los mares fue explorada por segunda ocasión hasta aproximadamente en 1950 en este tiempo por la marina canadiense. Por medio del uso adecuado de pin -- turas antivegetativas en combinación con pinturas anticorrosivas se demostró que es posible la protección catódica de barcos y que pue -- de ahorrarse considerablemente en mantenimiento.

COMO SE APLICA LA PROTECCION CATODICA

Para explicar los principios de la protección catódica observemos - la corrosión de un metal Me típico en un medio ácido. Las reacciones electroquímicas son la disolución del metal y el desprendimiento de hidrógeno.



Se logra una protección catódica suministrando electrones a la estructura metálica a proteger, ya que al examinar las reacciones anteriores observamos que la adición de electrones a la estructura -- tiende a suprimir la disolución del metal y a acelerar la produc- -- ción de hidrógeno. Si consideramos que la corriente eléctrica fluye de positivo (+) a negativo (-), como en la teoría electrónica -- convencional, entonces una estructura estará protegida si la co- -- rriente eléctrica entra desde el electrolito a la estructura. Si - sucediera lo contrario, si la corriente pasara del metal al electro- lito ocurriría una corrosión acelerada.

Existen dos métodos para proteger catódicamente una estructura:

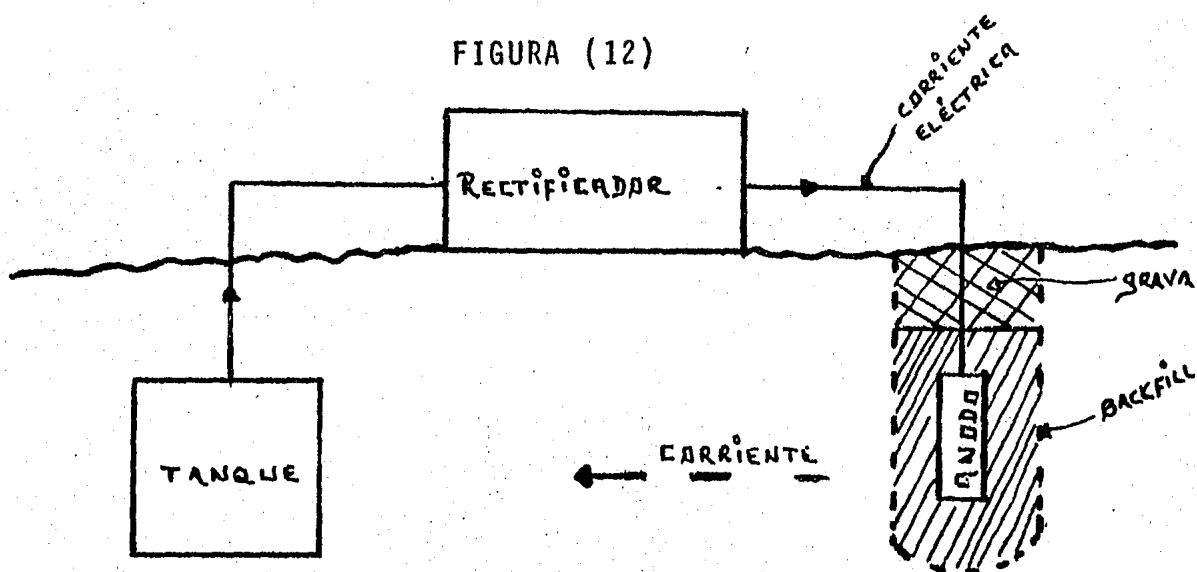
a).- Con una fuente externa de energía eléctrica.

b).- Con una celda galvánica adecuada.

a).- Protección catódica por aplicación de una corriente eléctrica externa. - Este tipo de protección catódica requiere una fuente de corriente directa y un electrodo auxiliar (ánodo) usualmente de fierro o grafito localizado a una cierta distancia - de la estructura a proteger. La fuente de corriente directa se conecta con su terminal positiva al electrodo auxiliar y - con la negativa a la estructura que se va a proteger. El voltaje aplicado no es crítico, necesita sólo ser suficiente para suministrar una densidad de corriente adecuada a todas las partes de la estructura a proteger. En suelos o aguas de alta resistividad, el voltaje aplicado debe ser más alto que en ambientes de baja resistividad.

La fuente de corriente eléctrica es usualmente un rectificador que suministra corriente directa de bajo voltaje y de varios amperes. Han sido usados motores generadores, aún cuando su mantenimiento es problemático; los generadores de molino de viento son empleados en áreas donde los vientos prevalecen regularmente.

En la figura (12), se ilustra un dispositivo típico de protección catódica. Una fuente de corriente eléctrica se conecta con su polo negativo a un tanque enterrado que se quiere proteger mientras que el polo positivo se conecta a un electrodo de grafito o durirón. Los conductores eléctricos hacia el tanque y hacia el electrodo inerte se aíslan cuidadosamente para evitar pérdidas de corriente. Generalmente, el electrodo inerte se rodea con un relleno que puede ser cisco de coque, yeso o bentonita para mejorar el contacto eléctrico entre el ánodo y el suelo. La corriente entra desde el suelo hacia el tanque, eliminando así su corrosión.



- b).- Protección catódica con una celda galvánica adecuada.- Si el ánodo auxiliar está compuesto de un metal más activo en la serie galvánica que el metal a ser protegido, se forma una celda galvánica que genera una corriente que se desplaza exactamente en la misma dirección que como fue descrito en la parte anterior de protección catódica. La fuente externa de co-

rriente, es decir el rectificador puede entonces ser omitida y el electrodo auxiliar es denominado un ánodo de sacrificio. Los metales de sacrificio usados para protección catódica son principalmente magnesio o sus aleaciones y en último caso - zinc y aluminio. Los ánodos de sacrificio sirven esencialmente como fuente de energía eléctrica portátil. Son usados particularmente donde no se dispone fácilmente de fuerza eléctrica o en situaciones donde no es conveniente o económico instalar líneas de fuerza para este propósito.

La diferencia de potencial de circuito abierto del magnesio - respecto al acero es de aproximadamente un volt (el potencial ϕ_H del magnesio en agua de mar = -1.3 v), de tal forma que solamente una longitud limitada de una línea de tubería por - ejemplo, puede ser protegida por medio de un solo ánodo, particularmente en suelos de alta resistividad. Este voltaje bajo es algunas veces una ventaja sobre voltajes impresos más altos, ya que el peligro de sobre protección hacia algunas - porciones del sistema es menor, y siendo que la corriente total por ánodo es limitada, el peligro de daño por "corrientes vagabundas" o problemas de interferencia a estructuras metálicas unidas es reducido.

El potencial de zinc es menor que para el magnesio (ϕ_H en - agua de mar = - 0.80 v) y por lo tanto la corriente de salida por el ánodo es también menor. Un zinc de alta pureza es generalmente especificado para evitar una polarización anódica significativa, que trae como consecuencia la reducción de la corriente de salida, que es originada por la acumulación de - productos de reacción del zinc aislantes y adherentes sobre - zinc comercial. Esta tendencia es menos pronunciada en zinc - de alta pureza.

El aluminio opera teóricamente a un voltaje entre el magnesio y el zinc. Tiende a ser pasivo en agua o en suelos con acompañamiento de cambio de potencial a un valor cercano al potencial del acero, donde deja de funcionar como un electrodo de sacrificio. En estos casos, si se quiere evitar la pasividad es necesario rodear al electrodo con un ambiente químico especial rico en cloruros; sin embargo, tal ambiente llamado - "Backfill", es solamente una medida temporal. En agua de mar la pasividad es mejor evitada por medio de aleaciones. Por ejemplo: El aluminio aleado con 0.10% de estaño seguido por un tratamiento con calor a 620°C durante 16 horas y enfriado en agua, disminuye mucho la polarización anódica en soluciones de cloruro. El potencial de corrosión de la aleación anterior en cloruro de sodio 0.10N es de - 1.20 V., al - - - 0.50 V, para el aluminio puro. Algunos ánodos de sacrificio de aluminio contienen aproximadamen-

te 0.10% de Estaño y 5.00% de zinc, otra composición contiene 0.60% de zinc, 0.04% de mercurio y 0.06% de fierro. Tales -- aleaciones en la forma de ánodos de sacrificio tienen actualmente un consumo aproximado de 3 millones de kilogramos anualmente en los Estados Unidos.

La mayor parte de los ánodos de sacrificio son de Magnesio y son a menudo aleados con 6% de aluminio y 3% de zinc para reducir el ataque por picadura e incrementar la eficiencia de corriente. Usando magnesio de alta pureza con un contenido aproximado de 1.0% manganeso, se obtiene la ventaja de un potencial más alto. Esta aleación opera a una eficiencia de corriente en agua de mar similar a la aleación de aluminio con 0.10% de Estaño ($\phi_H = -1.20$ V), pero a eficiencia algo más baja en suelos normales. La eficiencia práctica de ánodos de magnesio promedian aproximadamente 500 AMP-Hr/libra comparada a la eficiencia teórica de 1000 AMP-Hr(libra.

El consumo anual de magnesio para ánodos de sacrificio en los Estados Unidos es de aproximadamente ocho millones de kilogramos.

La figura (13) ilustra un ánodo de magnesio instalado en un tanque de acero para agua caliente.

El magnesio es anódico con respecto al acero y se corroe en la celda galvánica magnesio (ánodo)-fierro (cátodo). En este caso particular, se habla de un ánodo de sacrificio o ánodo sacrificado ya que se destruye durante el tiempo de protección al acero.

Este tipo de protección también se usa para proteger tubería enterrada. En la figura (14) se observa el dispositivo de protección catódica para una línea de tubería bajo tierra:

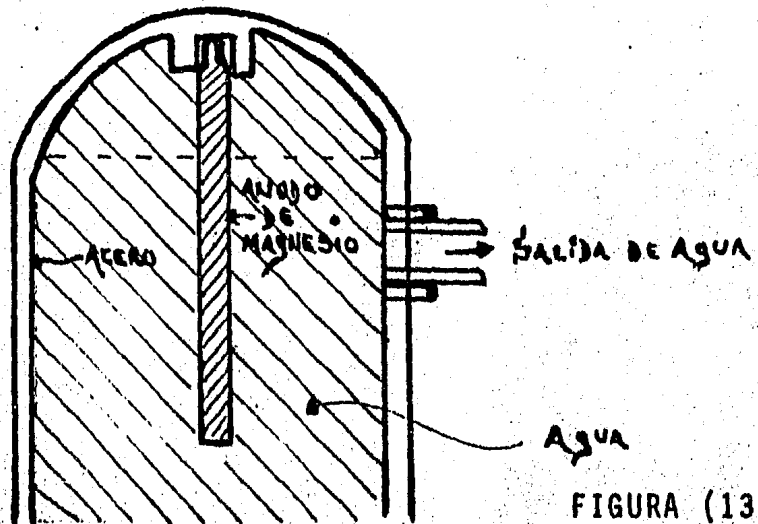
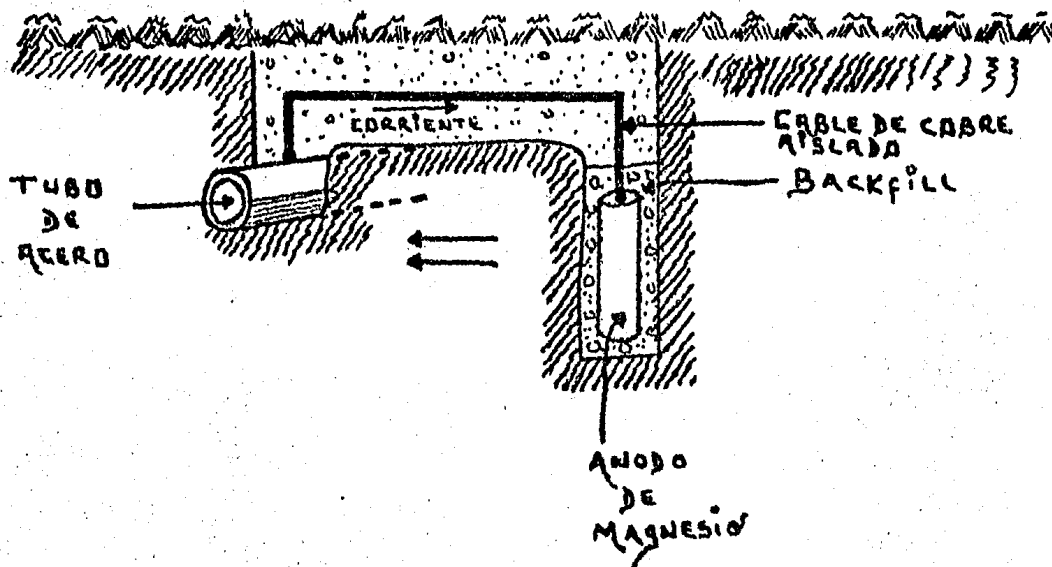


FIGURA (13)

FIGURA (14)



Se colocan varios ánodos a lo largo de la tubería para lograr una distribución uniforme de la corriente. La determinación de las corrientes de protección es usualmente empírica. Los siguientes valores empíricos son comúnmente empleados y representan los requerimientos típicos de corriente para la protección catódica del acero:

ESTRUCTURA	AMBIENTE	CONDICIONES	DENSIDAD DE CORRIENTE (mA/pe ²)
Tanque	Acido Sulfúrico Caliente	Estático	30,000-50,000
Líneas de y Tanques de Almacenamiento.	Bajo Tierra (Suelos)	Estático	1 - 3
Líneas de Tubería	Agua Fresca	Fluido	5 - 10
Calentadores de Agua	Agua Fresca y Caliente	Flujo lento	1 - 3
Piletas	Agua de Mar	Movimiento de oleaje	6 - 8

La densidad de corriente de protección contra corrosivos agresivos como ácido caliente, requiere valores demasiado altos, mientras que se requieren corrientes mucho más bajas para proteger el acero en medios menos agresivos. Los valores arriba anotados son típicos -- promedio de las corrientes de protección, pero hay que tener presente que en aplicaciones específicas pueden variar considerablemente. Por ejemplo, en algunos suelos muy ácidos se requieren corrientes de 10-15 mA/pie² para reducir la corrosión de estructuras de acero a un nivel aceptable, mientras que para proteger tubería con recubrimiento orgánico se requiere mucho menos corriente, ya que sólo hay que proteger algunas zonas descubiertas o vacancias en la zona protectora.

En la gran mayoría de los casos, durante las operaciones de protección catódica se requieren ajustes del tamaño de ánodo y del valor del voltaje aplicado hasta que se llegue al nivel de protección deseado. Un método menos empírico y más rápido es medir el potencial electroquímico de la estructura a proteger con un electrodo de referencia adecuado. Esta medición se realiza con un voltímetro de alta resistencia interna: Se coloca el electrodo de referencia sobre el suelo, o mejor sobre una esponja impregnada de solución salina para mejorar el contacto eléctrico con el suelo y se determina fácilmente la densidad de corriente catódica necesaria para polarizar la tubería.

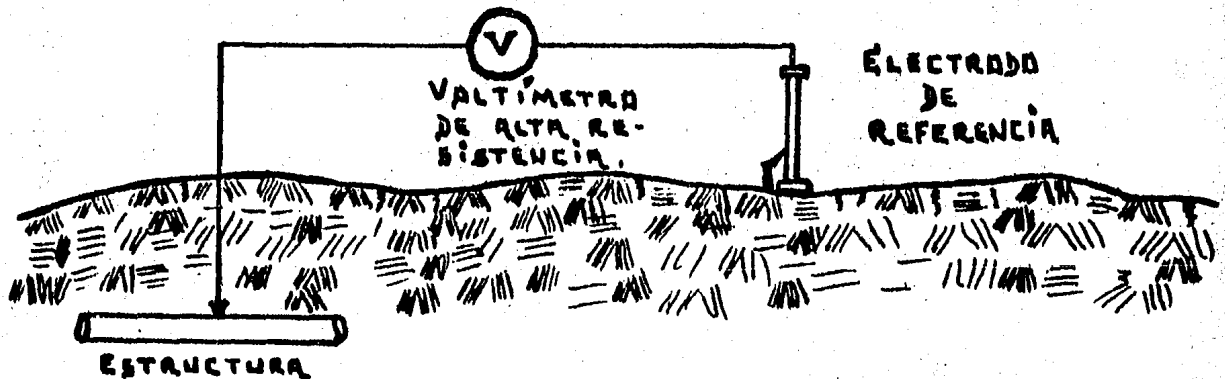


FIGURA (15)

En el caso de ánodos de sacrificio por ejemplo: De magnesio, la medición es la misma y sirve para determinar el número y el tamaño de los ánodos necesarios para lograr una protección total. Es necesario efectuar un control programado de los potenciales, a lo largo de una tubería o de estructuras más complejas para determinar la uniformidad de la corriente aplicada.

La selección de un ánodo de sacrificio se efectúa a partir de consideraciones ingenieriles y económicas. El magnesio es el ánodo sacrificado más utilizado; su eficiencia es baja (50%), pero su potencial es muy negativo y produce una alta densidad de corriente.

En la siguiente tabla (XVIII) se comparan varios tipos de ánodos de sacrificio y ánodos para voltaje aplicado:

ANODOS DE SACRIFICIO

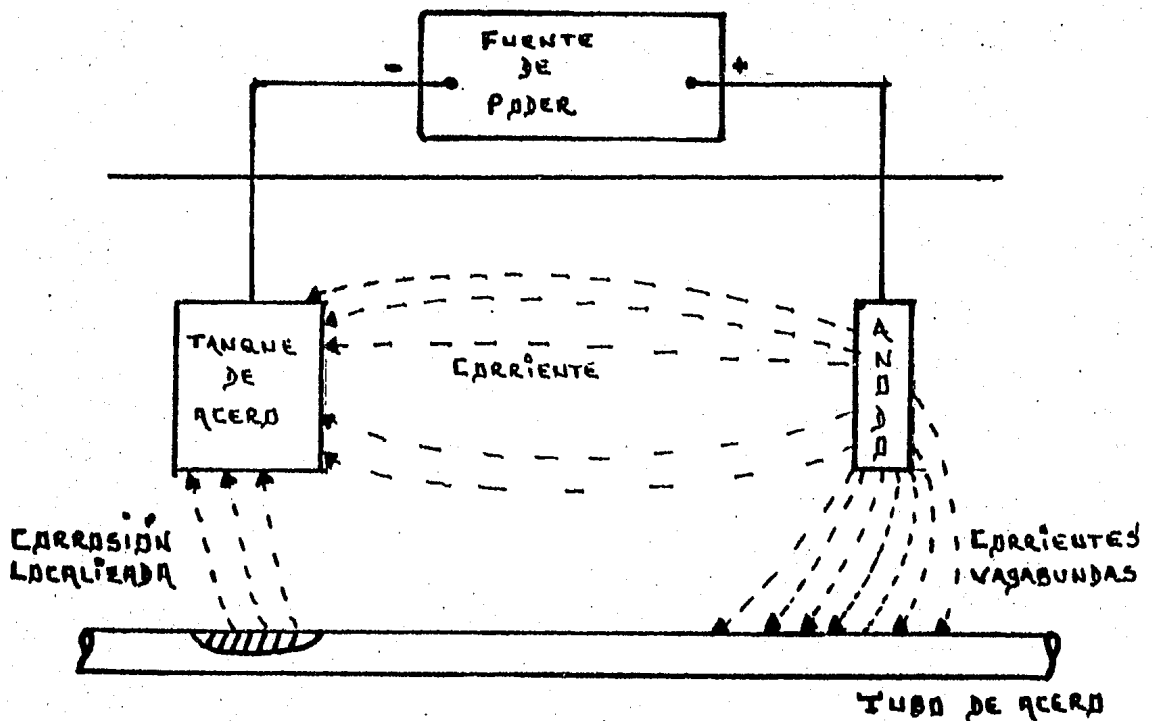
	<u>MAGNESIO</u>	<u>ZINC</u>	<u>ALUMINIO</u>
Consumo Teórico Libras/Amp.-año	9	23	6.50
Consumo Real Libras/Amp.-año	18	25	16-20
Potencial VS Electrodo Cu/CuSO ₄	-1.70	-1.15	-1.30

ANODOS PARA CORRIENTE IMPRESA

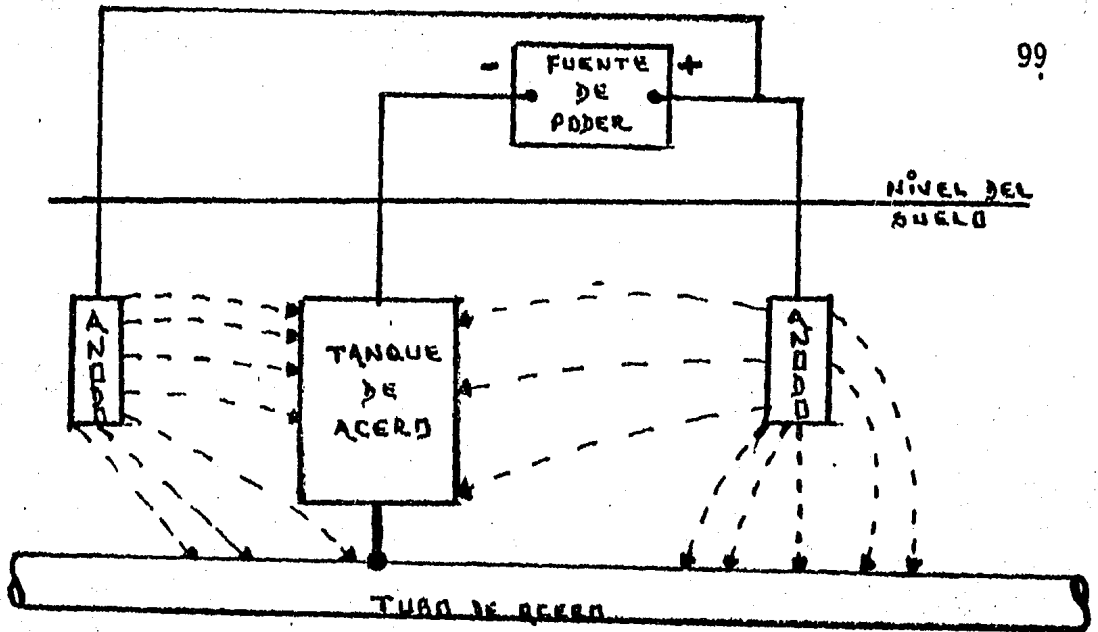
MATERIAL	APLICACIONES TIPICAS	PERDIDA TIPICA lb/Amp. - año
Chatarra de Fierro	Suelos, Agua Fresca y Agua de Mar.	2.0
Aluminio	Suelos, Agua Fresca y Agua de Mar	10 - 12
Grafito	Suelos y Agua Fresca	0.25 - 5.00
Fierro de Alto Si- licio y	Suelos, Agua Fresca y Agua de Mar.	0.25 - 1.00
Fierro Silicio Cro- mo.		
Plomo	Agua de Mar	0.10 - 0.25
Titanio Platinizado	Agua de Mar.	-----

Como puede observarse en la tabla, existe una variedad considerable de ánodos para voltaje o corriente aplicada, desde la chatarra de acero - con grandes pérdidas por corrosión, hasta el electrodo inerte de titanio-recubierto de platino, caro pero muy efectivo. Los materiales más utilizados en la práctica como ánodo son: El acero, el grafito y el hierro de alto silicio o duriron, aunque el plomo y el titanio con recubrimiento de platino se usan cada vez más en medios marinos.

Los sistemas de protección catódica a menudo provocan -- efectos de "Corrientes Vagabundas" ó "Corrientes Parásitas", que son corrientes directas que se difunden a través de los suelos. Si se coloca un material metálico en un campo eléctrico fuerte, se desarrolla una diferencia de potencial sobre su superficie, lo que lleva a una corrosión acelerada en la zona por la cual sale la corriente eléctrica. La figura (16) muestra las corrientes vagabundas resultantes de una protección catódica y la zona de una tubería atacada por corrosión acelerada (zona donde sale la corriente).



Si ahora la persona ó compañía propietaria de la tubería enterrada, que está siendo dañada, decide aplicar a la misma una protección catódica, se entraría a un ciclo vicioso con un escalonamiento de las corrientes parásitas. La solución a este problema está representado en la figura (17).):



Se conecta el tanque a la tubería por medio de un conductor eléctrico bien aislado, el cual llevará la corriente directamente de regreso a la fuente de energía. En esta forma, se eliminan los problemas de corrosión y se ahorra la adquisición de un equipo extra de protección catódica.

USO DE LA PROTECCION CATODICA COMBINADA CON RECUBRIMIENTOS

La distribución de corriente en un tanque de acero para almacenar agua protegida catódicamente, no es la ideal ya que demasiada corriente puede fluir hacia los lados y casi nada hacia la tapa o el fondo. Una mejor distribución de corriente se logra aplicando al tanque un recubrimiento aislante, por ejemplo: Un recubrimiento orgánico a temperatura ambiente o un recubrimiento inorgánico a temperaturas elevadas. El recubrimiento aislante no necesita estar libre de porosidades, ya que la corriente fluye preferentemente hacia las arenas expuestas del metal dondequiera que estén localizadas, y que son precisamente las que necesitan protección.

Los recubrimientos bien adheridos, además de proteger a las superficies como una barrera impermeable, contribuyen a distribuir perfectamente la corriente protectora y a reducir las necesidades totales de corriente. Como la corriente total requerida es menor para un tanque recubierto que para uno sin recubrir, el ánodo de sacrificio es más pequeño.

En la práctica actual, se acostumbra usar un recubrimiento aislante de alguna clase con la aplicación de protección catódica usando corriente impresa o ánodos de sacrificio ya que, por ejemplo: La distribución de corriente-

en una línea de tubería recubierta es mucho más controlada que en una línea de tubería descubierta; la corriente total y el número de ánodos requeridos son menores y la longitud total de tubería protegida por un solo ánodo es mucho mayor. Un ánodo de magnesio puede proteger tanto como ocho kilómetros de una línea de tubería recubierta, mientras que para una línea desprotegida, la distancia correspondiente podría ser de sólo treinta metros. Usando una corriente impresa a voltajes más altos, un ánodo podría proteger hasta 80 kilómetros de una línea de tubería recubierta.

El límite de la longitud de tubería protegida por un ánodo no está condicionado por la resistividad del suelo, sino por la resistencia mecánica de la misma línea.

PROTECCION ANODICA.

Este tipo de protección es relativamente nuevo, se considera que apareció por vez primera en 1954 y fué desarrollado a partir de los principios de cinética química. El principio de la Protección Anódica es la formación de -- una película protectora sobre metales y aleaciones por medio de una corriente anódica.

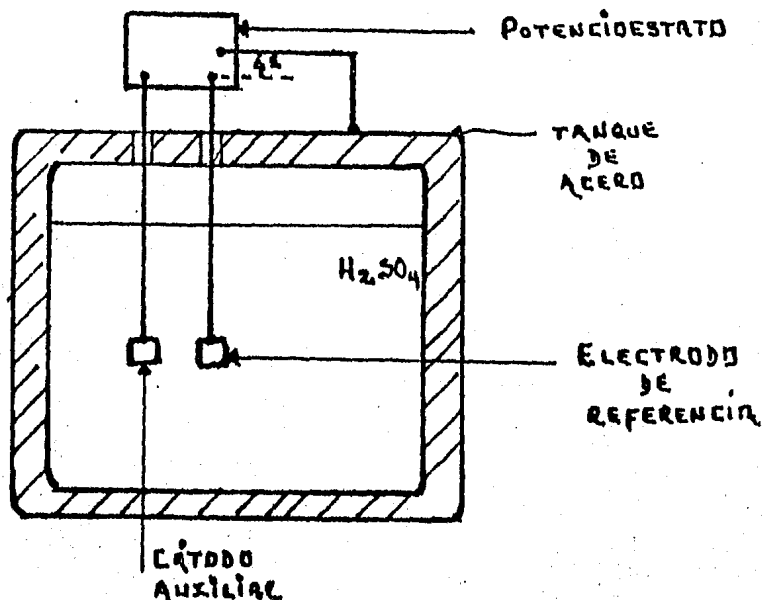
CONSIDEREMOS LAS SIGUIENTES REACCIONES:



Se observa que la aplicación de una corriente anódica aumentaría la disolución del metal, o sea provoca una mayor corrosión y reduce el desprendimiento de hidrógeno. Efectivamente, ésto es lo que pasa con la mayoría de los metales a excepción de aquellos que presentan una transición de estado Activo-Pasivo, como el níquel, fierro, cromo, titanio y sus aleaciones. Si a cualquiera de estos materiales se les aplica una corriente anódica cuidadosamente controlada, se PASIVAN y la velocidad de corrosión disminuye. De lo anterior, se desprende que sólo algunos metales pueden ser protegidos efectivamente haciéndolos anódicos y elevando su potencial dentro de la región pasiva de la curva de polarización anódica. El potencial pasivo del sustrato se mantiene constante automáticamente a través del dispositivo electrónico de un instrumento llamado "POTENCIOESTATO".

La aplicación práctica de la protección anódica y el uso del potencioestato para este propósito, fueron sugeridos primeramente por Edleaw. En la gráfica (18) se ilustra el dispositivo de protección anódica de un tanque de acero para almacenar ácido sulfúrico.

FIGURA 18



El potencioestato tiene tres terminales: Una se conecta al tanque, otra a un cátodo auxiliar de platino u otro material recubierto con platino y la tercera a un electrodo de referencia, por ejemplo de calomel. Durante la operación, el potencioestato mantiene un potencial constante entre el tanque y el electrodo de referencia. El potencial óptimo de protección se determina por mediciones electroquímicas.

El empleo de la protección anódica puede reducir considerablemente la corrosión, aunque nunca la reduce a cero, contrariamente a la protección catódica del acero. Por otra parte, las densidades de corriente requeridas en ácidos corrosivos son generalmente mucho más bajas que para la protección catódica ya que para esta última la corriente no puede ser menor que la corriente de corrosión equivalente normal en el mismo ambiente. Las densidades de corriente para iniciar la pasividad (i crítica) son relativamente altas por ejemplo, para el acero inoxidable 316 en ácido sulfúrico a 24 °C es de 0.06 mA/cm², pero las corrientes para mantener la pasividad son usualmente bajas, el orden de magnitud es de 0.10 μ A/cm² a 0.15 μ A/cm² para el mismo material mencionado arriba, en el mismo medio y a la misma temperatura.

La protección anódica ha encontrado aplicación en el manejo particularmente de ácido sulfúrico, aunque es también aplicable a otros ácidos como por ejemplo al ácido fosfórico, a álcalis y algunas soluciones salinas. Se ha encontrado que resulta efectiva para incrementar la resistencia a la fatiga por corrosión de varios tipos de acero inoxidable en sulfato de sodio 0.5 M, en ácido sulfúrico al 10% ó nitrato de amonio al 10% y de acero al carbón 0.19% en nitrato de amonio al 10%.

La desventaja de la protección anódica es que sólo es aplicable a metales (principalmente a metales de transición) y aleaciones que son rápidamente pasivados cuando se polarizan anódicamente. Este método no es aplicable, por ejemplo: A zinc, manganesio, cadmio, plata, cobre o aleaciones de cobre. Además, la protección anódica no es útil para protección a distancia como en el caso de la protección catódica, debido probablemente a la alta resistencia eléctrica de la película pasiva. En el caso del acero inoxidable la causa pudiera deberse a las propiedades inhibitorias de la corrosión de los productos de corrosión anódica liberados en pequeñas cantidades, las cuales elevan el potencial de corrosión dentro de la región pasiva en ausencia de una corriente aplicada.

Aún cuando la protección anódica está limitada a metales y aleaciones pasivables, la mayoría de los materiales estructurales de la tecnología moderna contienen elementos pasivables, por lo que la restricción descrita anteriormente no es tan drástica como parece a primera vista.

En la tabla (XIX) se muestran algunos valores de la velocidad de corrosión para aceros inoxidables austeníticos, en soluciones de ácido sulfúrico a 30°C conteniendo iones cloruro, con y sin protección anódica.

TABLA (XIX)

TIPO DE ALEACION	AMBIENTE EXPUESTO AL AIRE	SIN PROTEGER	ANODICAMENTE PROTEGIDO (0.5 V)
304 (19 Cr - 9 Ni)	H ₂ SO ₄ N + NaCl 10 ⁻⁵ M	14	0.025
	H ₂ SO ₄ N + NaCl 10 ⁻³ M	2.9	0.045
	H ₂ SO ₄ N + NaCl 10 ⁻¹ M	3.2	0.200
	H ₂ SO ₄ 10N + NaCl 10 ⁻⁵ M	1930	0.016
	H ₂ SO ₄ 10N + NaCl 10 ⁻³ M	1125	0.040
	H ₂ SO ₄ 10N + NaCl 10 ⁻¹ M	77	0.210

En la tabla (XX) se dan los requerimientos de corriente para protección anódica en varios sistemas.

TABLA (XX)

FLUIDO Y CONCENTRACION	TEMPERATURA °C	METAL	DENSIDAD DE CORRIENTE, ma/Pie ²	
			PARA PASIVAR	PARA MANTENER
H ₂ SO ₄				
1 MOLAR	24	316 SS	2,100	11
15%	24	304	390	67
30%	24	304	500	22
45%	66	304	165,000	830
67%	24	304	4,700	3.6
67%	24	316	470	0.09
67%	24	CARPENTER 20	400	0.80
93%	24	ACERO MEDIO	260	21
OLEUM	24	ACERO MEDIO	4,400	11
H ₃ PO ₄				
75%	24	ACERO MEDIO	38,000	19,000
115%	82	304 SS	0.03	0.00014
NaOH				
20%	24	304 SS	4,400	9.4
50%	60	ACERO MEDIO	41	125

COMPARACION ENTRE PROTECCION ANODICA Y CATODICA

La tabla (XXI) indica algunas de las principales diferencias entre la protección Anódica y Catódica.

TABLA (XXI)

	PROTECCION ANODICA	PROTECCION CATODICA
Aplicabilidad a Metales	Solo Metales Activo-Pasivos	Todos los Metales
Corrosivos	De Débiles a Agresivos	De Débiles a Moderados.
Costo Relativo de Instalación	Alto	Bajo
Costo Relativo de Operación	Muy Bajo	De Medio a Alto
Condiciones de Operación	Pueden ser Acertadas y Rápidamente Determinadas por Mediciones Electroquímicas.	Deben ser Usualmente Determinadas Empíricamente.

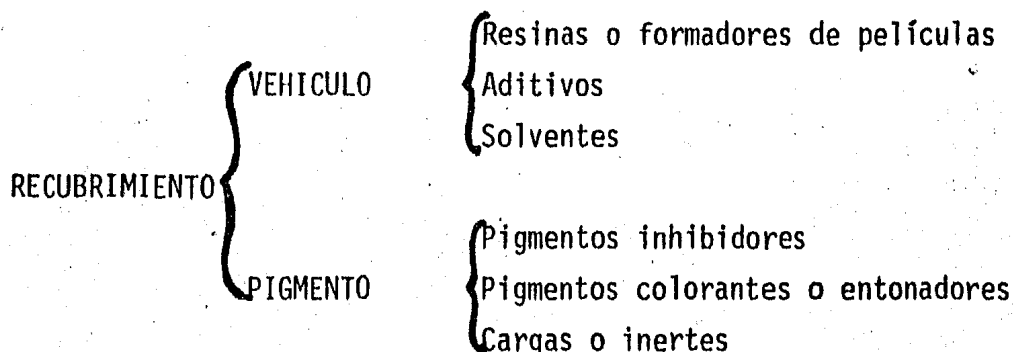
Cada método tiene sus ventajas y desventajas y los dos se complementan uno al otro. La protección anódica se puede aplicar en medios desde ligera hasta extremadamente corrosivos, mientras que la protección catódica sólo se puede utilizar en medios moderadamente corrosivos debido a la alta densidad de corriente requerida cuando aumenta la agresividad del medio corrosivo. No es práctico aplicar una protección catódica en medios muy agresivos. Los costos de instalación de un sistema de protección catódica son relativamente bajos ya que los elementos son sencillos y no hay problemas de montaje. La protección anódica requiere de una instalación más compleja que incluye un potencioestato y un electrodo de referencia y sus costos de instalación son altos. La uniformidad de la distribución de la densidad de corriente en la protección catódica es baja y se requieren varios electrodos bastante-

cerca para lograr una protección uniforme, mientras que en los sistemas de protección anódica la distribución es más uniforme y un solo cátodo auxiliar puede proteger un área mayor.

E.- RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS.

En términos generales un recubrimiento anticorrosivo puede definirse como una dispersión relativamente estable de uno o más pigmentos finamente divididos en una solución perfectamente probada, tal que al ser aplicada y estar seca la película resultante representa una barrera flexible, adherente y con máxima eficiencia de protección contra la corrosión.

Normalmente un recubrimiento considera los siguientes componentes básicos:



Estos componentes deberán mezclarse íntimamente en un orden adecuado claramente definido en la formulación y a través de métodos específicos para obtener finalmente el producto terminado.

La eficiencia de protección contra la corrosión y el buen comportamiento de un recubrimiento dependen, además de su buena calidad de otros factores igualmente importantes tales como: la preparación de la superficie, la técnica de aplicación y de una adecuada selección del sistema de recubrimiento que va a ser aplicado en base a la naturaleza del medio corrosivo.

A la fecha han sido desarrollados una gran diversidad de recubrimientos cuya formulación o composición obedece a la resolución de un problema específico. Enunciar todos y cada uno de los recubrimientos existentes resulta además de muy difícil, impráctico, por lo que se resumirá en la siguiente clasificación:

- a) Por el tipo de función que va a desempeñar el recubrimiento una vez aplicado.
- Recubrimientos anticorrosivos.- Cuya finalidad es proteger un sustrato de un medio corrosivo por aislamiento. Estos recubrimientos, con fines de formulación, requieren del uso de resinas y pigmentos altamente resistentes que permitan una alta eficiencia de protección contra los agentes de la corrosión.
 - Pinturas arquitectónicas.- Se utilizan esencialmente con fines decorativos para embellecer y proteger superficies interiores y exteriores, pisos, azoteas, albercas, etc. Las materias primas utilizadas en este tipo de recubrimientos se dan tonos y efectos especiales.
 - Pinturas para señalamiento.
- b) Por el procedimiento que requiere el recubrimiento para alcanzar sus propiedades o características de operación o comportamiento.
- Recubrimientos en un solo componente de secado al aire. La primera etapa de este proceso, considera una eliminación de solventes por evaporación a temperatura ambiente y posteriormente por una interacción con el aire las moléculas de la resina o agente aglutinante se unen o polimerizan en forma entrelazada dando lugar a películas relativamente continuas de Resina-Pigmento. Ejemplos de este tipo son los recubrimientos alquidáticos, vinílicos y acrílicos.
 - Recubrimientos de dos componentes de secado al aire. En este tipo de recubrimientos la primera etapa es nuevamente una eliminación de solventes a temperaturas ambiente desarrollándose simultáneamente una reacción de enlazamiento tridimensional entre las resinas de cada uno de los componentes, una de las cuales se denomina comúnmente CATALIZADOR. El tiempo requerido para que se lleve a cabo la reacción de polimerización o curado es del orden de 3 a 7 días, el cual es muy superior a la etapa de eliminación de solventes, por lo cual el recubrimiento no debe ponerse en operación o exponerse a medios corrosivos fuertes o inmersión antes de tiempo. Los recubrimientos epóxicos y poliuretanos secan y curan en esta forma.

- Recubrimientos cuyos curados son a altas temperaturas.- En este caso, la primera etapa considera la eliminación de solventes a temperatura ambiente y ante la incapacidad de la resina para reaccionar con el aire a bajas temperaturas, es necesario exponer el recubrimiento a temperaturas elevadas superiores a los 100 °C, lográndose en esa forma el entrelazamiento o curado requerido para alcanzar las características adecuadas de operación o protección.
- c) Por el tipo de resina o agente aglutinante formador de película usado en la fabricación de los mismos.

- Recubrimientos alquidálicos.- Son recubrimientos económicos, los cuales en los últimos 30 años se han convertido en el "caballito de batalla" de los recubrimientos para conservación o mantenimiento industrial en condiciones de exposición normales ya que su durabilidad es buena en exposiciones de intemperismo normal. Estos recubrimientos tienen buena retención de brillo, buena resistencia a medio ambientes secos o húmedos sin salinidad o gases corrosivos, presentan buena adherencia y poder humectante por lo que pueden tolerar cierto grado de impurezas en la superficie donde van a ser aplicados, las cuales por lo general son preparadas por limpieza manual. Secan por evaporación de solventes e interacción con el aire (oxidación).

Sus limitaciones están representadas por su baja resistencia a solventes fuertes como aromáticos (benceno, xileno, tolueno), cetonas (acetona, metil etil cetona, metil isobutil cetona, etc.), éteres, alcoholes (metanol, etanol, etc.), ésteres (acetato de etilo, acetato de butilo, etc.) y disolventes clorados, aún cuando presenten regular resistencia a los disolventes alifáticos. Los recubrimientos alquidálicos no son recomendables para inmersión continua; su resistencia química es pobre y especialmente mala en condiciones alcalinas ante las cuales se saponifica y destruye. Su poca resistencia a los ácidos diluidos se debe no tanto a fallas en la película, sino más bien a la penetración de la película y ataque a la superficie metálica. No resisten productos alcalinos de la corrosión por lo que una vez iniciada la corrosión interpelicular disminuye su adherencia. Por estas razones no se recomienda la aplicación de un recubrimiento alquidálico sobre concreto, galvanizado o inorgánico de zinc. Además, no se recomienda para exposiciones superiores a 60-65°C.

- Recubrimientos vinílicos.- Estos productos están hechos a base de resinas que son copolímeros de cloruro y acetato de vinilo. Para un tipo de pintura se disuelven copolímeros con un 87% de cloruro de vinilo y 13% de acetato de vinilo aproximadamente en disolventes muy enérgicos del tipo cetona apoyados por hidrocarburos aromáticos y se pigmentan y modifican con plastificantes adecuados. Son recubrimientos no tóxicos y muy durables, superan a los recubrimientos alquidáticos en conservación del brillo y en duración. Son muy resistentes a la abrasión y resisten la inmersión continua en agua dulce o salada, resisten soluciones diluidas de la mayor parte de los ácidos orgánicos e inorgánicos, incluyendo el ácido clorhídrico, ácido nítrico, ácido fosfórico, ácido sulfúrico, ácido cítrico, etc. no son afectados por derivados del petróleo tales como gasolina diesel, petróleo crudo, etc. A temperatura normal resisten soluciones de hidróxido de sodio hasta el 40%, carbonato de sodio, hidróxido de calcio (Ca(OH)_2) y amoníaco (NH_4OH) hasta el 10%.

Los recubrimientos vinílicos proporcionan una superficie que va desde mate (sin brillo) hasta semi brillante, con una alta resistencia a la intemperie aún en condiciones altamente húmedas y corrosivas. Como su resistencia al agua es excelente pueden usarse para servicio de inmersión continua en agua. Entre sus limitaciones principales podemos mencionar su baja resistencia a disolventes del tipo éter y cetona, a la inmersión prolongada en alcoholes, ésteres, hidrocarburos clorados y disolventes con más de 30% de aromáticos. Con el tiempo los recubrimientos son afectados por los rayos del sol presentando un caleo superficial. Las resinas vinílicas son también termoplásticas y se descomponen a temperaturas elevadas por lo que se recomienda que la máxima temperatura de exposición de este tipo de recubrimientos sea de 65°C para servicio permanente.

Los recubrimientos aquí considerados son vinílicos base solvente. Las pinturas llamadas vinílicas son emulsiones vinílicas base acuosa, que cumplen solamente funciones decorativas.

La película de estos materiales seca por evaporación de solventes. Su secado es muy rápido, por lo que se recomienda aplicarlos por aspersión. Pa

ra aplicar los recubrimientos vinílicos es necesario que las superficies sean debidamente preparadas ya sea con chorro de abrasivo o por cualquiera de los otros métodos enunciados en el capítulo de preparación de superficie.

- Recubrimientos epóxicos. - El tipo de recubrimiento epóxico empleado en operaciones de protección anti corrosiva es el denominado epóxico catalizado, el cual se almacena en dos envases separados. Uno de ellos contiene la resina epóxica y el otro el catalizador o agente curante. El contenido de los dos envases se mezcla perfectamente hasta el momento de su aplicación.

El agente de curado por entrecruzamiento denominado vulgarmente catalizador está constituido por -- una solución de resinas amínicas o poliamídicas, -- lo que significa que los productos pueden diferir grandemente entre sí; sin embargo, sus propiedades características caen dentro de un área general. -- Las películas finales tienen buenas propiedades generales, incluyendo resistencia al calor, a la humedad, excepcional resistencia a los medios alcalinos, buena resistencia a los medios ácidos, a los disolventes (hidrocarburos alifáticos y aromáticos, alcoholes, etc.), a la intemperie y a la abrasión. Presentan también un alto grado de impermeabilidad permaneciendo inalterables ante la exposición e inmersión en agua dulce, salada y vapor de agua.

En términos generales el nivel de adherencia, dureza, flexibilidad y resistencia a los medios corrosivos de los recubrimientos epóxicos no es superado por ningún otro tipo de los recubrimientos existentes. Pueden ser aplicados sobre superficies de concreto, metálicas, galvanizadas o inorgánico de zinc.

Su principal limitación considera la formación de un caleo o degradación superficial sin mayores inconvenientes a sus propiedades de película, así como su alto costo relativo; además, a largo plazo tiende a fragilizarse. Su resistencia a los ácidos es buena, excepto a los ácidos oxidantes y a los ácidos orgánicos concentrados. El contacto prolongado con cetonas o disolventes clorados reblandecen las películas de estos recubrimientos.

Los recubrimientos epóxicos catalizados presentan-

un factor muy importante en relación con su aplicación, este factor se refiere al tiempo promedio -- que se tiene para aplicar el material una vez que los dos componentes (base y catalizador) han sido mezclados. Este período se denomina tiempo de vida en el envase o "pot life" y varía dependiendo del tipo de catalizador o agente curante utilizado. Por regla general una vez mezclada la base con el catalizador, debe aplicarse el material dentro de las tres o cuatro horas siguientes, en algunos casos este período puede ser ampliado.

- Recubrimiento de hule clorado.- Los recubrimientos de este tipo tienen como base resinas que se obtienen por cloración de hule natural. Las resinas de este tipo constituyen un polvo fino de color blanco que al ser disuelto en solventes adecuados generalmente tipo aromático, proporcionan una película muy inerte, transparente y resistente a las bacterias. El uso de resinas de hule clorado está dedicado en un 75% a la industria de pinturas, y entre sus aplicaciones encontramos que se usan para pinturas de tráfico, de mantenimiento industrial, para medios marinos, instalaciones costeras, etc.

Se dispone básicamente de dos tipos de recubrimientos con base en resinas de hule clorado. Uno de ellos está constituido por una solución de resina de hule clorado modificada con plastificantes clorados, y el otro es una mezcla de hule clorado con resinas alquidálicas u otros plastificantes saponificables. Estos recubrimientos no se recomiendan para contacto directo con álcalis y ácidos, sólo para lugares donde hay derrames ocasionales. Como seca por evaporación no es resistente a la mayoría de los solventes. Se ablandan y plastifican con aceites y grasas vegetales y animales. Resistencias temperaturas hasta 60 - 70 °C de temperatura, pero no se recomiendan para temperaturas de 80 °C o mayores. Tienen la ventaja de brindar un fácil mantenimiento ya que las superficies pueden ser repintadas con el tiempo sin problemas debido a que el solvente penetra a la capa vieja ablandando la película, permitiendo que la otra se adhiera. Este proceso es más difícil en cualquier otro tipo de recubrimiento. Los recubrimientos de hule clorado tienen la tendencia a calearse o enyesarse, especialmente en climas tropicales. Debido a la rapidez de su secado se recomienda aplicarlos por aspersión, especialmente con equipo "airless".

Recubrimientos Fenólicos.- Son recubrimientos duros, brillantes y muy adherentes; en términos generales su resistencia a los solventes, medios ácidos y alcalinos va de buena, a excelente por lo que se recomiendan para inmersiones continuas. Su eficiencia de protección contra la corrosión es superior a la de los epóxicos. Si el recubrimiento fenólico es horneado, su resistencia al agua y a los solventes se incrementa considerablemente.

Este tipo de recubrimiento se recomiendan para estar en contacto con medios ácidos a bajas concentraciones y con medios básicos hasta muy altas concentraciones. Su estabilidad al calor, dureza y resistencia a la abrasión son excelentes.

- Recubrimientos de silicón.- Este tipo de recubrimientos es muy especial, y su utilización está reservada para aplicaciones donde se requiere una alta estabilidad térmica hasta de 500 °C, la película de recubrimiento resultante es muy resistente a la intemperie y a atmósferas contaminadas. Las resinas de silicón empleadas en este tipo de recubrimientos han sido desarrolladas debido al interés en encontrar productos intermedios en propiedades mecánicas y resistencia al calor entre el vidrio y las resinas orgánicas. La facilidad de incorporación dentro de recubrimientos y sus características inertes han hecho ganar a estas resinas un lugar bien reservado en el campo de la tecnología de recubrimientos.

La mayoría de las resinas silicón son suministradas como soluciones en solventes de hidrocarburos aromáticos. Los solventes alifáticos y los alcoholes pueden también ser usados, mientras que las cetonas y ésteres no son recomendados. Con respecto al curado de este tipo de materiales, las resinas silicón curan en un mínimo de 60 minutos a 250 °C para lograr sus propiedades óptimas. Responden también a la catálisis y el ciclo de curado puede a menudo ser reducido a 30-60 minutos a 200°C. Los catalizadores más comunmente usados son en realidad secantes metálicos del tipo naftenato, octoato y nuxtra de metales como zinc, hierro, plomo, estaño, calcio, manganeso y cobalto.

Recubrimientos Acrílicos.- Son productos que secan por simple evaporación de solventes. Poseen una muy buena retención del brillo y resistencia al caleo, no se recomiendan para exposiciones en atmósferas industriales donde halla salpicaduras y derrames de compo-

nentes industriales como ácidos, álcalis, agentes oxidantes y solventes. No se recomiendan para inmersión en agua, su resistencia a la abrasión es buena al igual que su dureza, su estabilidad al calor es limitada. Estos productos pueden usarse sin problema en ambientes húmedos y lluviosos.

Recubrimientos ricos en Zinc.- En este tipo de recubrimientos, podemos distinguir dos clases perfectamente definidas:

1. Recubrimientos orgánicos ricos en Zinc.- Estos recubrimientos al igual que todos los otros están constituidos por un pigmento y un vehículo. Son ricos en pigmento específicamente polvo de zinc y pobres en vehículo el cual puede ser del tipo epoxi, fenoxi, acrílico o hule clorado. Las películas finales de estos recubrimientos contienen carbón por lo que se queman y destruyen por combustión. Entre las ventajas de estos recubrimientos podemos mencionar su gran facilidad de aplicación, sus necesidades de preparación de superficie no son tan críticas como en el caso de los inorgánicos ricos en zinc y su rápido acabado. Entre sus desventajas se cuentan su limitación de temperatura, su menor resistencia a la abrasión en comparación con los inorgánicos de zinc y su baja resistencia a los solventes fuertes.
2. Recubrimientos Inorgánicos Ricos en Zinc.- La película ya curada no contiene carbón por lo que no se queman o destruyen por combustión. Al igual que los anteriores, estos recubrimientos son ricos en pigmento (zinc) y pobres en vehículo el que puede ser del tipo Alquil Silicato y Alkali Silicato. Entre sus ventajas podemos mencionar su gran resistencia a la temperatura hasta un límite de 400 °C, su gran resistencia a la abrasión y a la gran mayoría de los solventes lo que les permite ser usados para interiores de tanques de almacenamiento de solventes. Sus desventajas más notables consisten en su tendencia a producir brisado (Dry Spray), su gran sensibilidad a las condiciones atmosféricas durante la aplicación, requieren mejor preparación de superficie que los orgánicos, son más difíciles de recubrir con los acabados subsecuentes.

Los recubrimientos formulados con alquil silicatos curan por reacción con el agua (hidrólisis) y curan muy lentamente en condiciones de baja humedad,

(abajo de 50%), resisten la lluvia después de 15 minutos de aplicados. Los formados con álcali silicatos son básicamente de dos tipos. Uno de ellos base acuosa, autocurante, no inflamable, y el otro base acuosa también que cura por la aplicación sobre la película una vez aplicada de una solución o agente curante y que se denomina postcurado.

De los dos tipos de recubrimientos anteriormente mencionados los 100% inorgánicos son los más usuales y en cierta forma estos recubrimientos son ungalvanizado en frío, en el cual la película es formada por la aplicación de una mezcla homogénea de polvo de zinc y una solución acuosa de silicato orgánico o inorgánico; la eliminación de agua y solvente junto con la interacción de los componentes antes mencionados permite obtener una película de silicato de zinc con oclusiones de zinc en polvo, por lo que su naturaleza es finalmente inorgánica. El mecanismo de protección de este tipo de recubrimiento difiere totalmente del correspondiente a los otros tipos de recubrimientos mencionados anteriormente. En lugar de presentar una barrera impermeable al medio corrosivo se antepone a ésta, una película de zinc con alta conductividad eléctrica capaz de sacrificarse anódicamente para proteger el acero, es decir, lo protege a partir del principio de la protección catódica. Dado que el espesor recomendado de película y por tanto la cantidad de material disponible para el sacrificio es muy pequeña 2.0 a 3.0 milésimas de pulgada, es necesario recubrirlo posteriormente con un adecuado recubrimiento de acabado a fin de que la película de inorgánico de zinc o protección catódica solo actúe en presencia de posibles discontinuidades, grietas o raspaduras. Estos revestimientos son únicos en cuanto a resistencia al agua salada y a disolventes orgánicos, poco flexibles y muy adherentes. No se recomiendan para inmersiones en ácidos o álcalis.

Los recubrimientos inorgánicos ricos en zinc se distribuyen en dos envases (vehículo y polvo) para el caso del tipo autocurante, y en tres envases (vehículo, polvo y solución curadora) para el post curado.

En la actualidad, se ha desarrollado un nuevo tipo de recubrimiento rico en zinc autocurante base solvente en un solo componente, lo que se traduce en-

un ahorro económico y de tiempo, ya que el proceso de incorporación y mezclado de dos componentes se reduce a una simple operación de homogeneización en el mismo envase. Además, con este nuevo producto se evitan errores a veces muy comunes en los operarios en lo que se refiere a la mezcla proporcional de cada uno de los componentes que se involucran. El material cura en condiciones de resistencia muy similares a las de los recubrimientos inorgánicos anteriormente mencionados:

- Recubrimientos Antivegetativos. Son recubrimientos desarrollados para prevenir el crecimiento de organismos marinos en superficies sumergidas por largos períodos. En su formulación intervienen resinas vinílicas, brea y óxido cuproso o tóxicos organo-metálicos que permiten esta acción de inhibición. Estos recubrimientos requieren de una formulación muy cuidadosa a fin de que el tóxico abandone el reclutamiento paulatinamente en cantidad suficiente para inhibir el crecimiento de organismos marinos.

Deben tener características muy especiales y entre ellas se requiere una buena adhesión de la pintura a la superficie (por ejemplo el caso de una embarcación) y al mismo tiempo una cohesión relativamente baja de la película en sí, con el objeto de que los organismos marinos muertos, en contacto con el óxido cuproso, puedan desprenderse de la superficie y no quedarse adheridos a ella. La brea colofonia hace que la película sea más soluble en el agua de mar y por tanto, aumenta su efectividad tóxica.

El empleo de este tipo de recubrimientos es muy delicado y grandes medidas de seguridad deberán tomarse en el momento de su aplicación a fin de evitar problemas de envenenamientos.

- Recubrimientos de Poliuretano. Estos recubrimientos poseen muchas cualidades deseables que pueden ser aprovechables para mejorar las características de la protección anticorrosiva.

En el pasado el uso de estos materiales estuvo muy limitado debido a la alta toxicidad de uno de sus componentes (los isocianatos), pero gracias a que en los últimos años se han podido obtener isocianatos que no representan ningún peligro y a que en general la industria de los recubrimientos se está familiarizando

con el uso de productos de dos componentes, estos materiales están despertando un gran interés.

Las resinas usadas para este tipo de recubrimientos son por lo general poliésteres saturados de bajo índice de acidez que endurecen por la adición de un isocianato en una proporción de mezcla adecuada a las características finales que se desean.

Estos recubrimientos pueden ser aplicados por cualquiera de los métodos usados normalmente para aplicar recubrimientos, esto es: brocha, rodillo, aspersión - inmersión, etc.; secan y curan a temperatura ambiente a una velocidad que depende del tipo de resina e isocianato usados aunque las condiciones atmosféricas -- juegan un importante papel, se estima que el secado - al tacto se lleva a cabo en un período de 6 horas como máximo y el tiempo necesario para curar totalmente a temperatura ambiente es por lo general de 7 días. - Hasta este punto las propiedades generales de resistencia mejoran, pero después la curva resistencia - tiempo desciende y ya no se puede obtener ningún mejoramiento. Por lo tanto se recomienda dejar secar los acabados durante 7 días completos por lo menos antes de someterlos a la intemperie o al ataque con sustancias químicas. El curado de estos materiales puede ser acelerado con altas temperaturas siendo las más comunes 100 - 120°C lo que permite obtener un curado completo en un tiempo de 30 - 60 minutos.

Otra de las ventajas de los acabados de poliuretano es su adaptación en comportamiento físico, a las condiciones de la superficie, como por ejemplo: dureza y elasticidad. Esto se realiza por un lado, con la selección de los poliisocianatos correspondientes y por el otro, con la selección de las combinaciones adecuadas del componente que contiene los radicales hidroxilo.

Los recubrimientos de poliuretano poseen en general propiedades de resistencia excelentes a una amplia gama de productos químicos, soluciones salinas, aceites vegetales y minerales y muchos disolventes. También resisten el ozono y poseen buenas características de resistencia a la abrasión y a temperaturas elevadas hasta de 175 °C. Sus propiedades de retención del color al ser expuestas a la luz solar o a la luz ultravioleta son inferiores en comparación con muchos otros recubrimientos.

La combinación de algunos de los recubrimientos anteriormente mencionados, nos permite obtener nuevos productos que se usarán para resolver problemas específicos de protección anticorrosiva. Entre los más comunes tenemos los siguientes:

- Recubrimientos Epoxi-Alquitrán de Hulla. Es un recubrimiento que ha sido desarrollado específicamente para resolver los problemas de deterioramiento prematura por inmersión continua en agua salada por muy largo tiempo y en el cual se combina la alta resistencia y características de un recubrimiento epóxico con la alta impermeabilidad del alquitrán de hulla; se recomienda también para inmersiones continuas en petróleo crudo. El producto no resiste el contacto continuo con disolventes y cuando se expone por mucho tiempo a la acción de los rayos del sol tiende a cuartear y calearse por influencia del alquitrán de hulla. Al igual que los recubrimientos epóxicos, existen dos tipos; uno de ellos catalizado con poliamidas y el otro catalizado con aminas.
- Recubrimiento Vinil-Acrílicos. En este recubrimiento se combina la alta resistencia química y a la abrasión de los acabados vinílicos con la excepcional resistencia al intemperismo y a la acción de los rayos del sol de las resinas acrílicas para obtener un producto con el mejor poder de retención de brillo y color de todos los recubrimientos desarrollados hasta la fecha, por lo que, además de ser resistentes a medio salinos, ácidos y alcalinos dando lugar a una alta eficiencia de protección contra la corrosión, presenta magníficas características decorativas. La presencia de la resina acrílica disminuye la resistencia a los disolventes de tipo aromático, cetonas, ésteres y alifáticos por lo que no se recomienda para inmersión continua en los mismos.
- Recubrimientos Vinil-Epóxicos. Estos recubrimientos cuando son formulados adecuadamente empleando pigmentos inhibidores e inertes apropiados dispersados en un vehículo vinílico con modificación de resina epoxi, tienen una excelente adherencia, una gran compatibilidad con diversos recubrimientos, excelente capacidad para detener la corrosión bajo película; son resistentes a los ambientes húmedos con o sin salinidad, a los gases derivados del azufre y a la inmersión en agua potable.

La aplicación de estos recubrimientos deberá hacerse

por aspersión y en lugares bien ventilados. El adelgazador recomendado es una mezcla de xileno y metil - isobutil cetona. Para obtener las óptimas propiedades de protección, la superficie deberá prepararse -- con chorro de abrasivo hasta un acabado tipo comercial como mínimo.

E.1- SISTEMAS DE RECUBRIMIENTOS.

Los recubrimientos en general poseen una permeabilidad natural en menor o mayor grado que permite el paso de suficiente cantidad de agua y oxígeno que ocasionan corrosión ininterrumpida de la superficie; por tal motivo y para -- efectos de protección anticorrosiva deben aplicarse a un espesor tal que la película seca nunca sea inferior a las seis milésimas de pulgada.

En principio podría pensarse en cubrir este espesor con -- una sola formulación de un recubrimiento que incluya un -- tipo de resina adecuado y un porcentaje determinado de -- pigmentos inhibidores, pero tomando en cuenta factores de tipo económico se ha dado lugar a la utilización de diferentes formulaciones para cubrir el espesor antes mencionado. Dependiendo de su posición dentro de una serie de películas de recubrimiento aplicadas sobre un sustrato estas formulaciones se denominan respectivamente Primario, Enlace o Intermedio y Acabado.

Al conjunto de los tres tipos de recubrimiento se le conoce como Sistema de Recubrimiento. Una característica fundamental de los sistemas de recubrimiento es que todas -- las partes constitutivas del mismo posean buena adhesión al sustrato para evitar que la humedad y el oxígeno que -- penetran la película desplacen a las moléculas del recubrimiento provocando herrumbramiento en la interfase.

Al hablar de operaciones para protección anticorrosiva -- por aplicación de recubrimientos debemos hacer hincapié -- que nunca se debe hablar y mucho menos recomendar un recubrimiento como una unidad individual, sino que debemos -- siempre referirnos a un conjunto, a un todo conocido como Sistema del cual forma parte importantísima el método de preparación de la superficie a ser recubierta.

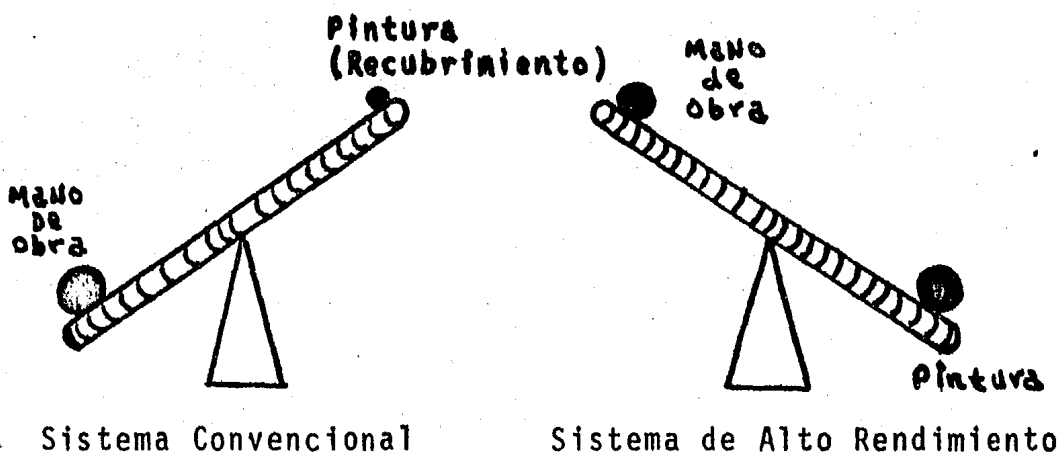
En general podemos hablar de dos tipos de sistemas de protección anticorrosiva por aplicación de recubrimientos:

- a) Sistema convencional. -- Emplea recubrimientos convencionales, buenas pinturas aplicadas en su medio co- -

recto. Constituye las aplicaciones más frecuentes - con todos sus inconvenientes. Por ejemplo: alquidálicas y anticorrosivas.

- b) Sistema de Alto Rendimiento. Emplea recubrimientos de buena calidad denominados de alto rendimiento como -- son los hules clorados, epóxicos, vinílicos, etc.

Al examinar cada uno de los dos tipos de sistemas se puede observar que en el sistema convencional resulta más -- costosa la mano de obra que los materiales de recubrimiento, mientras que en los sistemas de alto rendimiento sucede exactamente lo contrario.



Considerando los incrementos sucedidos en los costos de los materiales de recubrimiento en los últimos años (102%) así como el incremento salarial que ha sido muy alto, llegamos a la conclusión de que no es costeable emplear mucha mano de obra o sea recubrir las superficies muy seguido. Esto puede ser logrado fácilmente haciendo un pequeño esfuerzo inicial con una inversión un poco mayor que la que se haría por el empleo de un sistema de protección con recubrimientos convencionales y emplear definitivamente recubrimientos mejores constituyendo un sistema de alto rendimiento.

Un sistema de recubrimiento propiamente dicho está constituido por las siguientes partes:

- Método de preparación de superficie
- Pretratamiento de la superficie
- Primarios
- Intermedios o Enlaces
- Acabados Finales.

Todos y cada uno de los puntos anteriores están íntimamente ligados unos con otros, y la correcta observancia de todos ellos nos permitirá obtener sistemas de recubrimientos óptimos.

PRIMARIOS.

Las características básicas de todo recubrimiento para mantenimiento y marina son entre otras su facilidad de aplicación, buena adhesión, rapidez de secado, facilidad de mantenimiento, buena duración, buena resistencia química, buena resistencia a la luz solar y rayos ultravioleta y buena resistencia al intemperismo. Como es perfectamente conocido, los primarios son recubrimientos que se aplican como primera mano sobre la superficie a ser recubierta. Son recubrimientos cuya formulación está encaminada fundamentalmente en base a la preparación de la superficie, tipo de recubrimiento a ser aplicado sobre él, medio de exposición a que va a estar sometido el sistema, y ciertas consideraciones económicas.

Un buen primario que deba formar parte de un sistema de recubrimiento debe llenar los siguientes requisitos:

- Inhibición de la corrosión.- Capacidad de sofocar y retardar cualquier reacción de corrosión de la superficie expuesta; en las grietas, bordes o bajo la película continua del primario.
- Adherencia buena y uniforme.- Capacidad de adherirse al metal en superficies preparadas aunque la preparación en las mismas no sea la ideal, con cierto margen de tolerancia para impurezas tales como escamas, herrumbre, sales, etc.
- Buena impermeabilidad y resistencia al agua, el oxígeno y los iones para evitar en lo posible la corrosión bajo la película.
- Buena resistencia a la humedad y la intemperie a fin de garantizar la protección de la superficie, aún en el caso de que ésta tenga temporalmente sólo la mano del primario.
- Resistencia general a los agentes químicos, la cual deberá ser semejante a la de los recubrimientos aplicados sobre él a fin de que todo el sistema no sufra deterioro si se encuentra expuesto a ambientes químicos severos.

INTERMEDIOS O ENLACES

El término recubrimiento intermedio se refiere a aquellos materiales que son aplicados entre el primario y el recubrimiento de acabado. En ciertos casos particulares no es posible tener el mismo tipo de resina en el primario y en el acabado, presentándose problemas de incompatibilidad o de adherencia, por lo que se requiere de una capa intermedia denominada enlace capaz de adherirse perfectamente tanto al primario como al acabado. Esto significa que un recubrimiento intermedio debe también ser intermedio en sus propiedades entre las propiedades deseadas para el primario y el acabado.

Normalmente, los enlaces contienen una mezcla de resinas, parte de las cuales promueve la adherencia con el primario y el resto con el acabado. Generalmente, los pigmentos inhibidores están ausentes aunque no necesariamente -- sobre todo cuando el primario fue aplicado defectuosamente y quedan sobre la superficie rayones, poros o cráteres. También, es indispensable la aplicación de un intermedio-inhibidor de herrumbres donde el primario es aplicado a un espesor muy bajo, lo que permitirá disminuir la permeabilidad hacia los agentes de la corrosión. Debe también -- ser pigmentado adecuadamente para proveer resistencia a ciertos tipos de atmósferas particularmente corrosivas, cuando es usado en tales atmósferas. El recubrimiento de pintura intermedio debe ser pigmentado para contrastar en color con el primario y con el acabado. El costo de un intermedio o enlace es muy semejante al de un primario de tal manera que en un sistema de tres capas es preferible que las dos primeras sean de primario para máxima protección de la superficie. El resultado de este procedimiento es obtener una mayor construcción por capa debido a la mayor construcción por capa asociada con los recubrimientos primarios. Además, con este procedimiento una mayor cantidad de pigmento inhibidor de herrumbre es mantenido más cerca a la superficie y cualquier imperfección accidental en una capa de primario es susceptible a ser cubierta más fácilmente por la segunda capa.

En conclusión, el empleo de un recubrimiento intermedio o enlace sólo debe ser recomendado cuando por las características de un primario y un acabado se sospechen posibles problemas de incompatibilidad o de adherencia.

ACABADOS O CAPAS FINALES

Estos productos representan la capa exterior en contacto con el medio ambiente y se formulan para proveer protec--

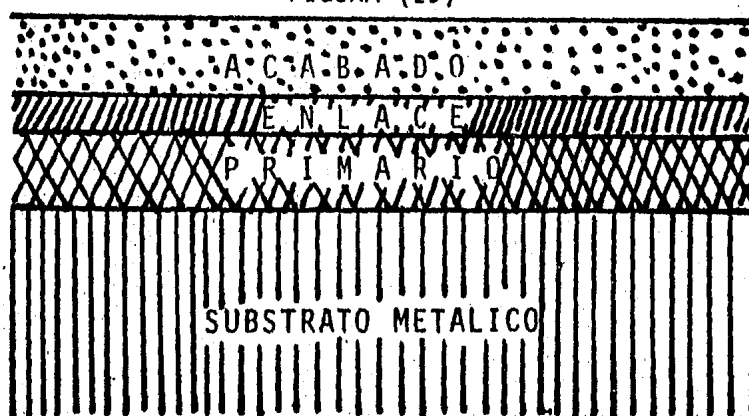
ción a las capas internas de recubrimiento. Para proteger las capas primarias de recubrimiento y la superficie metálica, la capa final debe ser de baja permeabilidad y debe tener buena resistencia al medio ambiente. En este tipo de recubrimientos es frecuente el uso de pigmentos - entonadores y el contenido de pigmentos inhibidores es inferior al de un primario. Donde el color es esencial, la formulación de los pigmentos para capas de acabado debe tomar en consideración el medio ambiente al cual el recubrimiento estará expuesto.

En la elección del tipo de acabado, es de capital importancia para la adherencia su compatibilidad con el tipo de primario utilizado; en términos generales el uso del mismo tipo de resina en estos dos componentes del sistema asegura una buena adherencia, aún cuando hay casos como los recubrimientos epóxicos capaces de lograr una adherencia si no excelente cuando menos aceptable sobre otro tipo de recubrimientos.

Con fines de identificación y control de espesores, es conveniente que el primario, enlace y acabado en un sistema sean de diferente color y como se mencionó anteriormente, la suma total de espesores de estas componentes debe ser superior a las -6.0 milésimas de pulgada a fin de que el sistema sea efectivo en su protección contra la corrosión.

En la siguiente figura se muestra un sistema de recubrimiento completo.

FIGURA (19)



E.2 - ESPECIFICACIONES PARA RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS

A lo largo de este trabajo se ha venido insistiendo en que

el éxito de un sistema de protección anticorrosiva a base de recubrimientos depende principalmente de factores tales como la preparación de las superficies, la adecuada aplicación de los recubrimientos y de la elección del tipo de sistema adecuado al medio corrosivo a que va estar expuesto; pero considerando que en la formulación de un recubrimiento se involucra a aproximadamente 10 ó 12 componentes en una mezcla o dispersión, cabe esperar que otro factor también muy importante será la certificación de que el recubrimiento se encuentre dentro de las características, propiedades y composición correspondientes a su formulación, es decir que satisfaga los requisitos contenidos en una especificación. Esto significa que los materiales que se usan en operaciones de protección anticorrosiva deben estar sujetos a chequeos de calidad constantes para así poder garantizar su máxima eficiencia.

En términos generales las desviaciones en la calidad (valores de las propiedades indicadas en una especificación) de un recubrimiento son atribuibles a variaciones en la calidad de las materias primas utilizadas o bien a errores en el proceso de fabricación, siendo tal su efecto sobre el comportamiento del recubrimiento que en ocasiones es capaz de reducir drásticamente su durabilidad o eficiencia contra la corrosión.

Considerando los tipos de recubrimientos existentes en el mercado y conociendo la importancia de la calidad de los mismos, han sido establecidas una serie de pruebas y características consideradas como mínimas y obligatorias para todos los recubrimientos. Las pruebas y características consideradas son las siguientes:

- Tiempo de secado
- Estabilidad
- Flexibilidad
- Adherencia
- Intemperismo acelerado
- Cámara salina
- Densidad
- Viscosidad
- Color
- Finura
- Apariencia y Aplicación
- Poder cubriente
- Pruebas de composición
- Pruebas químicas o de inmersión
- Retenido en malla 325.

Si un recubrimiento satisface los valores y limitaciones de las pruebas antes mencionadas de la especificación correspondiente, cabe esperar una alta probabilidad de que se comporte adecuadamente suponiendo una buena preparación de superficie y aplicación.

Estas pruebas serán tratadas ampliamente en el capítulo de control de calidad incluido en este trabajo.

SISTEMAS DE RECUBRIMIENTO - SU USO Y CONDICIONES GENERALES DE APLICACIÓN.

La descripción de los diferentes sistemas se hará en base al medio ambiente en el cual se desenvuelven.

Sistema # 1.- Para ambiente exterior seco y medio ambiente industrial moderado.

Primario: Tipo alquidal.

Se aplican dos capas a 1.5 milésimas de espesor de película seca cada una. El tiempo entre capa y capa es de aproximadamente 8-10 horas. La preparación de la superficie es por limpieza manual.

Acabado: Tipo alquidal.

Se aplican dos capas a 1.5 milésimas de espesor de película seca cada una. El tiempo entre capa y capa es de aproximadamente 8-10 horas.

Sistema # 2.- Para ambiente exterior en general. Se incluye el ambiente industrial pesado, húmedo caluroso y húmedo salino.

Primario: Rico en zinc

Acabado: Vinílico, epóxico catalizado y hule clorado.

El primario se aplica por aspersión sobre superficies preparadas con chorro de abrasivo a metal blanco, requiere de una mano a 2.5 milésimas de pulgada (nunca sobrepasarlas 3.0 milésimas de espesor). En el caso de los primarios ricos en zinc 100% inorgánicos deben tenerse presente 2 aspectos; si se trata de tipo postcurado, es necesario que en las 6 horas posteriores a su aplicación la humedad relativa del medio ambiente no sobrepase al 60% para lograr un curado eficiente, en el caso del tipo autocurante base solvente se empleará cuando se tenga en el am--

Bientemás del 70% de humedad relativa durante la aplicación y secado. Posteriormente deberán aplicarse 2 manos de cualesquiera de los acabados mencionados anteriormente a un espesor de película seca de 2.0 mils. para el epóxico catalizado y de 3.0 mils. para el vinílico y hule clorado respectivamente. En el caso de los dos últimos recubrimientos es necesario aplicar entre primario y acabado una capa de recubrimiento intermedio o enlace de 1.5 mils. de espesor para asegurar la adherencia. El tiempo entre capa y capa de recubrimiento es de aproximadamente 8 horas y entre primario y acabado 18 horas para primarios ricos en zinc tipo orgánico y 48 horas para el tipo inorgánico.

Sistema # 3.- Para ambiente húmedo con o sin salinidad y gases derivados del azufre.

Para este tipo de exposición puede emplearse un sistema de recubrimiento similar al anterior, aunque podría ser incluido un recubrimiento de tipo epóxico catalizado de altos sólidos, el cual es aplicado a espesores de película más altos (2 capas de 5.0 mils. de película seca). El sistema se aplica de manera similar al anterior.

Sistema # 4. Ambiente marino.

Primario: Rico en zinc 100% inorgánico

Acabado: Epóxico catalizado, vinílico y epóxico de altos sólidos.

El primario se aplica por aspersion sobre superficies preparadas con chorro de abrasivo a metal blanco, se aplica una mano a 2.0-3.0 mils. de espesor de película seca. Las consideraciones hechas en el sistema anterior para los tipos postcurados y autocurantes deben ser tomados en cuenta. Una vez transcurridas 48 horas deberán aplicarse 2 capas de cualesquiera de los acabados mencionados anteriormente a un espesor de película seca por capa de 2.0 mils. para el epóxico catalizado, 3.0 para el vinílico y 5.0 para el epóxico de altos sólidos. El tiempo entre capa y capa de acabado es de 6-8 horas. La aplicación de las capas de acabado es también por aspersion.

Sistema # 5.- Para exposición al agua salada, agua cruda y tratada (interior de tanques).

Primario: Recubrimiento epóxico-alquitrán de hulla catalizado.

Acabado: No se usa.

Se requieren 2 capas de este recubrimiento aplicadas por-

aspersión sobre superficies de acero preparadas con chorro de abrasivo a un acabado tipo comercial. El espesor de película seca por mano recomendado es de 8.0 mils. Como ya fué anotado no se requiere acabado.

Sistema # 6.- Para exposición al agua potable (interior - de tanques de almacenamiento).

Primario; Vinílico modificado y epóxico catalizado.
Acabado; Vinílico y epóxico de altos sólidos.

Se aplica el primario por aspersión sobre superficies de acero preparadas con chorro de abrasivo a metal casi blanco. Se requieren 2 capas del primario vinílico modificado a un espesor de película seca de 1.0 mils. por capa o una de epóxico catalizado a 2.0 mils. de película seca. - El acabado se aplica también por aspersión y se requieren 2 capas de recubrimiento vinílico a un espesor de película seca de 3.0 mils. por capa ó 2 capas del recubrimiento epóxico de altos sólidos a 5.0 mils. de película seca por capa. Los recubrimientos deberán aplicarse de la siguiente manera: Acabado vinílico sobre primario vinílico modificado y acabado epóxico de altos sólidos sobre primario-epóxico catalizado.

Sistema # 7.- Para exposición a destilados tratados.

Primario: Rico en zinc 100% inorgánico tipo postcurado.
Acabado: No se usa.

Se aplica el primario sobre superficies de acero preparadas con chorro de abrasivo a metal blanco. Se requiere una capa a 2.0 - 3.0 mils. de película seca aplicada por aspersión. Conforme a lo arriba anotado no se requiere acabado. Este sistema es también adecuado para tanques de aromáticos y alifáticos.

Sistema # 8.- Para exposición a destilados sin tratar, -- interior de tanques de embarcaciones y ambiente marino en general.

Primario: Epóxico catalizado
Acabado: Epóxico de altos sólidos.

El primario se aplica por aspersión sobre superficies de acero preparados con chorro de abrasivo hasta un acabado comercial, se requiere de una capa con un espesor de peli

cula seca de 2.0 mils. Posteriormente, después de 18 horas se aplican también por aspersión 2 capas de acabado a un espesor de película seca de 5.0 mils. por capa.

Sistema # 9.- Para ambiente húmedo, salino y en presencia de gases derivados del azufre y amoníaco.

Primario: Epóxico catalizado
Acabado: Epóxico catalizado

El primario se aplica por aspersión sobre superficies de acero preparadas con chorro de abrasivo hasta un acabado-comercial, se requiere una capa con un espesor de película seca de 2.0 mils. Posteriormente se aplican 2 capas de acabado a un espesor de película seca de 2.0 mils. por capa.

El tiempo entre la capa de primario y acabado es de 18 horas.

Sistema # 10.- Sistema para la protección de la cubierta, casetería y estructura de embarcaciones -- arriba de la línea de carga.

Primario: Rico en zinc 100% inorgánico.
Enlace: Vinil-epóxico
Acabado: Vinílico y vinil acrílico.

Se aplica el primario sobre superficies de acero preparadas con chorro de abrasivo a un acabado comercial, se requiere de una sola capa con un espesor de película de 2.0 - 3.0 mils. Enseguida se aplica por aspersión al igual que el primario una mano de enlace a 1.5 mils. de película seca; finalmente se depositan sobre la superficie 2 capas de acabado a un espesor de película seca de 2.0 mils. cada una. El tiempo entre la aplicación del primario y el enlace es de 48 horas, el mismo que para el enlace y el acabado. Cualquiera de los dos tipos de acabado puede ser usado, aunque para cubierta se prefiere el tipo vinílico y para casetería el vinil-acrílico.

Sistema # 11.- Para interior de tanques de almacenamiento de crudo.

Primario: Recubrimiento epóxico-alquitrán de hulla catalizado.
Acabado: No se usa.

Se aplican por aspersión 2 capas de este recubrimiento --

sobre superficies de acero preparadas con chorro de abrasivo hasta un acabado comercial. El espesor de película-seca por capa deberá ser de 8.0 mils. No requiere de recubrimiento de acabado.

Sistema # 12.- Para fondos de embarcaciones e instalaciones sumergidas en agua de mar.

Primario: Alquitrán de hulla epóxico catalizado,
Acabado: Recubrimiento antivegetativo a base de óxido-cuproso o tóxicos orgánometálicos.

Se aplica por aspersión 2 manos del primario a un espesor de 8.0 mils. de película seca por mano, sobre superficies preparadas con chorro de abrasivo a un acabado comercial. Posteriormente (18 horas después), se aplican también por aspersión 2 manos del acabado antivegetativo a un espesor de 2.0 mils. de película seca por mano. En algunas ocasiones, las instalaciones sumergidas en agua de mar no requieren primario.

Sistema # 13.- Para zonas propicias al desarrollo de organismos.

Primario: No se usa.
Acabado: Recubrimiento antivegetativo a base de óxido-cuproso o tóxicos organo-metálicos.

Se aplican por aspersión sobre superficies bien secas 2 - manos del acabado a 2.0 mils. de película seca por mano.- El uso de primario no es necesario a menos que la superficie metálica esté muy deteriorada.

Sistema # 14.- Para zonas de mareas y oleajes.

El recubrimiento empleado en este sistema es único y se refiere a un acabado 100% sólidos que se aplica con espátula o extendiendo previamente el material sobre manta de cielo a un espesor de 100 mils. de película seca sobre superficies de acero preparadas con limpieza manual o preferentemente con sopleteo de abrasivo a un acabado comercial. El recubrimiento se aplica sobre las zonas de las estructuras que se hallan expuestas a la acción constante del oleaje marino.

Sistema # 15.- Para exposición a altas temperaturas.

Existen básicamente 2 tipos de recubrimientos que se usan para exposiciones a alta temperatura; el primero a base de resinas de cumarona-indeno se utiliza hasta temperaturas de exposición de 260 °C y requiere de una limpieza -- con chorro de abrasivo a metal blanco; se aplica por aspersión. Para ambos tipos de recubrimiento son necesarias 2 manos a un espesor de película de 1.5 mils. por mano.

Sistema # 16.- Para severa exposición química: Interior y exterior.

Primario: Rico en zinc 100% inorgánico y epóxico.
Acabado: Hule clorado, vinílico y epóxico.

Se aplica por aspersión una mano del primario (cualesquiera de los dos) sobre superficies de acero preparadas con chorro de abrasivo hasta metal blanco con un espesor de película seca de 2.0 milésimas de pulgada. Posteriormente, se aplican 2 manos del acabado también por aspersión a un espesor de película seca de 3.0 mils. para hule clorado y vinílico y 2.0 mils. para el acabado epóxico.

Sistema # 17.- Para la protección de la cubierta, casetería y estructura de embarcaciones arriba de la línea de carga (obra muerta de la embarcación).

Primario: Poliuretano, Hule clorado, epóxico y vinil epóxico.

Acabado: Poliuretano y hule clorado.

Se aplica el primario por aspersión sobre superficies preparadas con chorro de abrasivo a metal blanco. Se requiere de una sola mano a 5.0 mils. para el poliuretano 4.0-mils. Para el hule clorado, y 2.0 mils. para el epóxico y vinil epóxico respectivamente. Posteriormente deberán aplicarse 2 manos de acabado a un espesor de película seca de 1.5 mils. por mano. Los sistemas que pueden formarse con los primarios y acabados arriba mencionados son: - Poliuretano (a) / Poliuretano (p), Poliuretano (a) / Epóxico (p), Hule clorado (a) / Hule Clorado (p), Hule Clorado (a) / Vinil Epóxico (p).

Sistema # 18. Para ambiente marino.

Primario: Poliuretano y epóxico
Acabado: Poliuretano.

Se aplica por aspersión una mano del primario sobre superficies preparadas con chorro de abrasivo a metal blanco a un espesor de película seca de 5.0 mils. para el de poliuretano y de 2.0 - 3.0 mils. para el epóxico. Posteriormente, se aplican dos manos del acabado a un espesor de película seca de 3.0 mils. por mano.

Sistema # 19. Para ambientes húmedos, salinos y en presencia de gases derivados del azufre y amoníaco.

Primario: Tipo epóxico, poliuretano, orgánico rico en zinc e inorgánico rico en zinc.
Acabado: Tipo epóxico y poliuretano.

El primario se aplica por aspersión sobre superficies de acero preparadas con chorro de abrasivo hasta un acabado tipo comercial, se requiere una mano con un espesor de película seca de 2.0 - 3.0 mils. Posteriormente se aplican dos manos de acabado a un espesor de película seca de 2.0 mils. por mano.

Sistema # 20.- Para inmersión en agua potable, salada, -- cruda o desmineralizada; exposición al ambiente marino y corrosivo severo; interior de tanques de almacenamiento de crudo; tuberías enterradas y calientes y para severa exposición química en general.

Primario: Tipo fenólico.
Acabado: Tipo fenólico.

Se aplica el primario por aspersión sobre superficies de acero preparadas con chorro de abrasivo hasta un acabado a metal blanco, se requiere una sola mano para dar un espesor de película seca de 5.0 milésimas. Se deja secar el primario entre 18- 24 horas y se aplican dos manos del acabado a un espesor de película seca de 5.0 milésimas -- por mano. El tiempo de secado entre capas de acabado es de 18 horas.

Ha sido observado que cuando se usa un sistema poliuretano (a) sobre inorgánico rico en zinc (p) muchas veces es necesario aplicar una capa intermedia o de enlace para -- asegurar la adherencia entre el primario y el acabado.

Los sistemas de recubrimiento y condiciones de exposición anteriormente mencionados no constituyen la totalidad de los casos que pueden presentarse, no obstante, a partir de sus particularidades y de las características y propiedades de los recubrimientos que los constituyen es posible diseñar o seleccionar nuevos sistemas de recubrimiento para un problema particular. En algunas ocasiones la selección final de un sistema de recubrimiento resulta de demasiado difícil, por lo que sería por demás conveniente -- obtener la selección final a partir de un estudio o prueba de tipo experimental. Cuando no se tengan los medios necesarios para llevar a cabo un estudio teórico experimental en la selección de un sistema de recubrimiento, es preferible consultar con el departamento técnico de cualquier compañía de prestigio fabricante de recubrimientos.

IV.- PREPARACION DE SUPERFICIES.

IV.1 GENERALIDADES.

Desde épocas muy remotas y aún en la actualidad el hombre no se ha preocupado por preparar adecuadamente la superficie que se va a recubrir como un medio para evitar el deterioramiento prematuro de la misma y principalmente con fines estéticos o de ornamentación. Su finalidad ha sido la de recubrir las superficies (paredes, estructuras, etc.) -- con la intención bien marcada de hacer lucir su morada, -- sin darse cabal cuenta que de una manera indirecta está -- ayudándose a conservar por más tiempo sus pertenencias, ya que dicho recubrimiento aparte de hacer lucir la superficie recubierta, la protege contra los agentes naturales y artificiales de corrosión que al paso del tiempo y sin la protección adecuada terminarían por destruir totalmente dicha superficie.

Actualmente el problema de la corrosión se ha ido agravando paulatinamente, casi al mismo ritmo del desmedido crecimiento industrial y demográfico de que es víctima al igual que muchas ciudades del mundo la capital de la República Mexicana y que ha ocasionado grandes problemas de contaminación ambiental. Contaminantes tales como Nitrógeno (N_2), Carbón (C), Oxidos de carbono (monóxido de carbono (CO) -- (dióxido de carbono (CO_2), Oxidos de Nitrógeno (NO , NO_2 , N_2O_3 , N_2O_5), ozono (O_3), Oxido de Azufre (SO , SO_2 , SO_3) -- gases de hidrocarburos que acompañan al aire, etc., son algunos de los factores que han agravado el problema de la corrosión a más de los ya conocidos corrosivos naturales -- como son el agua, aire, polvo, sales, etc. que están haciendo de la tierra un medio mortalmente corrosivo.

El hombre se ha dado cuenta de este problema al notar un deterioramiento prematuro en sus bienes inmuebles, pero -- cierra los ojos al problema y trata de resolverlo haciendo el menor esfuerzo posible, ésto es recubriendo la superficie de sus pertenencias para aislarlas del medio en intervalos de tiempo más cortos o sea que si anteriormente aplicaba un recubrimiento cada 12 meses, ahora lo hace cada 8 meses. Aparentemente ésta es la mejor solución y en realidad la es siempre y cuando la aplicación del recubrimiento

se haga en forma correcta y no sólo recubrir por recubrir.- Para que la aplicación de un recubrimiento sea correcta y éste cumpla perfectamente su función de proteger y evitar la corrosión se debe poner especial interés en un aspecto poco conocido y casi olvidado pero que es vital y en el cual descansa un 90% del éxito de la aplicación de un recubrimiento; este aspecto se refiere a "la preparación de la superficie".

El conocimiento de las condiciones finales precisas que deben tenerse en la interfase del metal para producir la mayor adhesión y unión mecánica de la pintura al metal, son absolutamente primordiales; de aquí que antes de aplicar cualquier recubrimiento protector es conveniente inspeccionar las superficies y llevar a cabo en ellas un proceso de preparación que generalmente consiste de 2 pasos:

Primero.- Corrección de las imperfecciones de la superficie.- Consiste en eliminar las áreas donde existen las condiciones físicas que tienden a producir rápida corrosión local. Dentro de estas áreas se deben considerar las aristas o bordes filosos, soldaduras discontinuas, soldaduras rugosas, salpicaduras de soldadura, cabezas de remaches mal ajustados; hendiduras, huecos y picaduras. Cualquiera de estos puntos puede ocasionar una rápida corrosión y ser el camino para una prematura falla del recubrimiento y con ella tal vez la pérdida del contenido de algún tanque o recipiente para almacenamiento. Podemos decir que en forma semejante las imperfecciones del concreto tales como los huecos producidos por el agua o el aire deben repararse y la superficie deberá ser preparada de acuerdo con las necesidades del uso particular y el tipo de recubrimiento que se utilice para evitar la penetración de los reactivos químicos y la corrosión que producen.

Segundo.- Limpieza de la superficie.- El mejor de los recubrimientos protectores no puede adherirse firmemente a una superficie si materias extrañas tales como óxido, escoria de laminación, pintura vieja, o depósito de sales y suciedad quedan debajo del recubrimiento. Esto trae como consecuencia un fenómeno muy importante que a menudo pasa desapercibido y que es el hecho de que estas materias extrañas crean también una presión osmótica que atrae vapores de humedad a través del recubrimiento, lo que da por resultado una grave corrosión por debajo de la película. En consecuencia debe considerarse de primera importancia la correcta limpieza de la superficie si se desea que el recubrimiento proporcione la máxima protección a más largo plazo.

Como ya se indicó, para obtener el máximo beneficio de cualquier sistema de recubrimiento protector es recomendable que se aplique sobre una superficie debidamente prepa-

rada; cuando ésto no sucede y el recubrimiento se aplica sobre una superficie deficientemente preparada puede suceder que dadas las magníficas cualidades protectoras del recubrimiento se obtengan buenos resultados, pero nunca podrán ser comparados dichos resultados con los obtenidos con una superficie bien preparada y el mismo recubrimiento; lo que resulta en un gran ahorro económico y de tiempo el que para cualquier industria y aún para particulares representa dinero ya que el recubrimiento proporcionará mucho tiempo más de uso sin necesidad de mantenimiento o conservación adicionales.

IV.2. TIPOS DE PREPARACION DE SUPERFICIES

Existen varios métodos de preparación de superficies, los cuales pueden agruparse en dos grandes métodos generales:

IV.2.1 PREPARACION MECANICA

y

IV.2.2 PREPARACION QUIMICA.

Ambos métodos generales de limpieza son ampliamente usados y la selección de uno u otro depende del problema de limpieza que se tenga, de las facilidades de aplicación del método seleccionado, de la calidad de la limpieza que se desee obtener (perfil de limpieza) la cual es diferente con cada uno de los métodos de limpieza, del factor económico o sea el presupuesto que se tenga para llevar a cabo la operación de limpieza de la superficie y del tipo de recubrimiento que se va a aplicar ya que, para cada recubrimiento existe un tipo de preparación que resulta más adecuada y con el cual el recubrimiento desarrolla al máximo su capacidad de protección anticorrosiva.

Como ya se indicó, la preparación de superficie se cree es el factor más importante que afecta el desempeño de un recubrimiento o sea que el éxito de cada trabajo de pintura depende prácticamente de la preparación y limpieza de la superficie o en otras palabras, sobre la cantidad de productos de interferencia que deben ser vencidos por la pintura antes de que pueda propiamente sujetarse al metal.

Cuando se hace una selección del tipo de equipo y grado de preparación de superficie que va a ser llevado a cabo, se debe tener en mente el tipo de recubrimiento (pintura) que se va a ser aplicado. Se debe conocer el límite de herrum

bre, aceite y suciedad que pueden ser tolerados por la pintura, sin causar una reducción seria en su vida final. El ambiente en el cual está localizada una estructura determina en gran parte el tipo de recubrimiento que debe ser especificado para el buen desempeño de un sistema de recubrimiento. Si se espera la vida máxima de un recubrimiento, éste debe adherirse firmemente al metal y prevenir fallas prematuras por pérdida de adhesión a la interfase del metal.

Se debe estar conciente de que una apropiada preparación de superficie juega un papel muy importante en el control de la corrosión final con pinturas de varias formulaciones, además debe tenerse en mente la variación en condiciones finales entre un sistema de preparación de superficie y otro, o sea es indispensable reconocer los métodos de preparación de superficie por el grado final de limpieza que puede ser producido por el método. El método de preparación de superficie NUNCA debe ser escogido al AZAR; pero si debe ser especificado como parte de un sistema.

La realización de una protección máxima de superficies metálicas por medio de recubrimientos (pinturas) requiere antes de la selección del sistema completo de recubrimiento del cual es parte la preparación de superficie la consideración cuidadosa de los siguientes puntos:

- Limpieza completa y preparación de superficie incluyendo la remoción de herrumbre y escoria de laminación, humedad, etc. al grado práctico más completo.
- Composición controlada del recubrimiento (pintura) considerando el vehículo no-volátil, adelgazador, pigmento inhibidor, etc. y su facilidad de aplicación.
- El carácter de la base metálica; si es acero, aluminio, fierro galvanizado, etc. y cual es su resistencia a la corrosión y comportamiento hacia los recubrimientos (pintura) a ser aplicados.
- El medio ambiente al cual el metal recubierto (pintado) es expuesto. Si es moderado o severo, alcalino, ácido o salino, etc.

El grado de preparación de superficie debe estar balanceado contra el incremento en la vida de un sistema de recubrimiento y la combinación más económica debe ser seleccionada. Se encontrará que para una estructura de acero expuesta a un medio ambiente corrosivo moderado NO ES NECE

SARIO NI ECONOMICO remover completamente todo el herrumbre y escoria de laminación con métodos tales como Limpieza -- con chorro de abrasivo a metal blanco. Ha sido encontrado que es suficiente la remoción hasta donde sea posible del herrumbre y escoria de laminación sueltos, del aceite y -- grasa y la aplicación de primarios con buen poder humectante y pigmentos inhibidores de herrumbre; lo que a su vez -- resulta en una protección económica. Sin embargo, en algunas ocasiones se requiere llevar a cabo una preparación de superficie de mayor calidad por ejemplo donde el primario -- que va a ser usado posee propiedades de secado muy rápido -- o pobre poder de humectación de acero sucio y contaminado, entonces la limpieza con chorro de abrasivo a metal blanco o el baño de ácido (pickling) debe ser usada. Algunas veces grado ráfaga o brush-off, grado comercial, limpieza -- con flamas o limpieza con herramientas de fuerza puede ser suficiente, particularmente si se hace un trabajo cuidadoso. Estos métodos intermedios de limpieza no remueven completamente todo el herrumbre, escoria de laminación y pintura vieja bien adheridos sino que dejan sobre la superficie una cierta cantidad de estos contaminantes que se observan como ligeras manchas en la superficie.

La limpieza con chorro de abrasivo a metal blanco es un método caro de limpieza y debe ser reservado solamente para las exposiciones corrosivas muy severas donde absolutamente nada de herrumbre, escoria de laminación o materia extraña puede ser tolerada sobre la superficie antes de que ésta sea recubierta (pintada). El grado de limpieza seleccionado debe ser uno que resulte económico para el tipo de exposición intentado.

Existen muchos factores en la preparación de la superficie que afectan negativamente la vida de un recubrimiento; entre ellos tenemos: residuos de aceite, grasa y suciedad sobre la superficie los cuales debilitan la adhesión o ligamiento mecánico de la pintura a la superficie; depósitos de sales tales como cloruros y sulfatos, los cuales incitan la corrosión; el agua sobre la superficie la cual evita una adherencia correcta entre la pintura y la superficie; el herrumbre sobre la superficie el cual acorta la vida del recubrimiento; escoria de laminación suelta o irregular la cual puede causar falla prematura de la pintura; herrumbre estratificado, el cual no puede ser protegido -- adecuadamente por medio de algún recubrimiento y a su vez no puede mantener adhesión al metal; el perfil de anclaje dejado después de la limpieza (el aspecto que presenta la superficie después de la operación de limpieza y que es característico de la misma) el cual puede ser tan áspero que

se forman picos o protuberancias que son imposibles de proteger adecuadamente con pintura; irregularidades, tales como arrugas, partes puntiagudas, rebabas de metal, incisiones, etc. que son dejadas en la superficie por la acción del equipo de limpieza y sobre las cuales es casi imposible obtener un espesor de pintura adecuado capaz de proporcionar buena protección anticorrosiva.

El grado de limpieza que es adecuado por el recubrimiento en cuestión debe ser obtenido indiferentemente de los métodos empleados para alcanzarlo, por ejemplo: Una superficie que presenta además del herrumbre y la escoria de laminación residuos de aceite, grasa, cera o cualquiera de los muchos contaminantes hace de la limpieza una operación más compleja, ya que en este caso debe emplearse una combinación de métodos de limpieza encabezados por una operación de limpieza con solventes, la cual resulta indispensable para eliminar los contaminantes tales como grasas, aceites, etc. y evitar que éstos sean dispersados a lo largo de toda la superficie cuando es empleado algún otro método de limpieza para eliminar contaminantes tales como escoria de laminación, herrumbre, óxido, etc. Siguiendo a la limpieza con solventes puede emplearse cualquiera de los siguientes métodos o combinación de los mismos para completar la operación de limpieza y alcanzar la condición final deseada: Limpieza manual, limpieza con chorro de abrasivo, limpieza química por inmersión en ácido, limpieza manual antes de limpieza con chorro de abrasivo, limpieza con herramientas mecánicas antes de la limpieza final por medios químicos, etc.

EL FENOMENO DE PREPARACION DE SUPERFICIE Y ASPECTOS PRACTICOS A CONSIDERAR EN SU ELECCION.

A la elección de un método específico de preparación de superficie debe preceder la determinación del tipo de ambiente al que va a estar expuesta la superficie (el grado de corrosividad del ambiente); el tipo de recubrimiento que se va a aplicar y el conocimiento del costo del trabajo terminado. Lo más recomendable es producir la mejor condición de superficie posible, pero es conveniente aclarar que algunas condiciones de servicio no requieren una preparación exhaustiva de la superficie o sea no requieren la remoción total de escoria de laminación, herrumbre y contaminantes.

Cuando se lleva a cabo la elección de un recubrimiento, el cual es compatible con la superficie preparada, la vida --

Útil del mismo está determinada por el ambiente de exposición; ahora bien, si determinamos primero el tipo de ambiente y definimos cual deberá ser la vida del recubrimiento - podemos elegir el tipo de recubrimiento que debemos usar, - así como el método específico de preparación de superficie más adecuado de tal manera que la vida útil del sistema de recubrimiento se incremente considerablemente. Prácticamente todas las pruebas a la fecha indican que puede ser - esperado un incremento considerable en la vida de un recubrimiento si la superficie se prepara de la mejor manera - por ejemplo por limpieza con chorro de abrasivo o por inmersión en baño de ácido.

En el aspecto de preparación de superficies se debe tener presente que el hecho de querer economizar durante esta -- operación puede resultar contraproducente, por lo que si - una operación requiere trabajo preparatorio considerable - tal como andamiaje antes de la limpieza, debe ser aceptado ya que origina un gasto inicial más, pero preve que la -- operación de limpieza se lleve a cabo adecuadamente, lo -- que resultará en un incremento de la vida útil del sistema de recubrimiento.

Debemos considerar también que si la deterioración de una película de pintura es suficientemente lenta y el metal no es seriamente afectado por la pérdida eventual del recubrimiento, existe una razón poderosa para concentrar nuestra elección a los métodos de preparación de superficie más -- económicos. Hay, sin embargo, muchos sistemas de recubrimiento que no funcionarían sobre una superficie pobremente preparada; las características humectantes y el tiempo de humectación de sistemas de recubrimiento en muchos casos - son mucho muy pobres para penetrar los productos de interferencia en la forma de corrosión ligera y escoria suelta; consecuentemente, la preparación de la superficie de un metal es parcialmente responsable por la protección final -- ofrecida por un recubrimiento al metal.

La pintura se sostiene sobre un metal debido a 2 factores - muy importantes:

Primero. - Su atracción molecular hacia el metal llamada -- ADHESION.

Segundo. - Por un anclaje mecánico que es desarrollado sobre el metal ya sea por método de grabado químico o por un abrasivo. Esto se conoce con el nombre de ENLAZAMIENTO O ADHERENCIA.

En todos los metales las fuerzas moleculares para la adhesión de una pintura son inherentes. La mejor adhesión está dada por un producto que tiene mayor atracción adhesiva para la superficie metálica que su atracción cohesiva dentro de sí mismo. Los factores físicos que afectan la fuerza de enlace entre un adhesivo y un adherente son:

Contigüidad o estrechez de contacto.

El área de superficie.

Las condiciones de fuerza o tensión (provocadas por contaminantes).

El herrumbre y la escoria de laminación representan los más grandes problemas en la preparación adecuada de una superficie. La escoria de laminación, la cual por sí misma provee un grado de protección para el reforzamiento del metal es una fuente constante de problemas y fallas del recubrimiento. Esto se debe al hecho de que la escoria de laminación llega a ser fraccionada o aflojada durante el embarque y en la fabricación y como resultado de éste efecto se tiene la corrosión de la parte más interna o capa de óxido ferroso de la escoria de laminación; ésta corrosión es acelerada por la relación catódica de la capa más externa de la escoria de laminación al acero. Esto traerá como resultado que en el momento de la exposición del acero pintado y debido al desgaste o alteración producido por los agentes atmosféricos, grandes zonas de la escoria de laminación se aflojen y levanten destruyendo así la película de pintura. El herrumbamiento continuará y puede destruir el resto de la pintura en buen estado.

La escoria de laminación en buen estado es por sí misma una superficie satisfactoria para ser pintada; si permaneció intacta, al ser recubierta dará como resultado un período de vida del recubrimiento bastante grande en medios ambientes de exposición medianos o moderadamente corrosivos.

Algunas pruebas han demostrado que si se pinta (recubre) escoria de laminación intacta, puede ser esperada una vida de la pintura casi tan larga como para acero limpio. Se han hecho numerosas pruebas para evaluar el comportamiento de una pintura sobre herrumbre, escoria de laminación y acero limpio; dichas pruebas han sido desarrolladas por varios centros de investigación de la corrosión, siendo el trabajo más sobresaliente el desarrollado por la "BRITISH IRON AND STEEL RESEARCH ASSO", a través de su

comité y su laboratorio de corrosión encabezado por el Dr. J.C. Hudson quien realizó un estudio completo del efecto de la preparación de la superficie sobre la vida de la pintura y entre otros ha tabulado los resultados que aparecen en la table número 1.

T A B L A (XXII)

Efecto de la preparación de superficie sobre la durabilidad de sistemas de recubrimiento protectivo.

Preparación de superficie	Duración en año	
	Arreglo de 4 capas 2 capas de primario de minio (red lead) 2 capas de pintura de óxido de fierro-rojo	Arreglo de 2 capas 2 capas de pintura de oxido de fierro rojo
Escoria de laminación intacta.	8.20	3.00
Superficie preparada por-desgaste debido a la acción de agentes atmosféricos seguido de cepillado con alambre.	2.30	1.20
Superficie sometida a limpieza con baño de ácido (pickling)	9.50	4.60
Superficie sometida a limpieza con chorro de arena (standblast)	10.40	6.30

La tabla No. 1 nos muestra claramente que la limpieza con chorro de abrasivo o inmersión en baño de ácido prolongaron la vida del recubrimiento y además hace notar que la preparación por cepillado con alambre o por desgaste producido por los agentes atmosféricos proporcionan una superfi

cie extremadamente pobre para recubrirse. Pero, lo más interesante de estos resultados, resulta del hecho que la escoria de laminación intacta cuando es adecuadamente recubierta (con un primario inhibidor de herrumbre como un primario de minio antes del acabado), tendrá una vida útil casi tan larga como la de la superficie preparada por inmersión en ácido o por sopleteo con chorro de abrasivo (en el que en la mayoría de los casos el abrasivo es arena). Debe recordarse que los resultados de la tabla No. aplican únicamente para escoria de laminación intacta y por ningún motivo pueden ser aplicables para escoria de laminación parcialmente herrumbrosa, suelta o fracturada que es la que usualmente se encuentra en la operación comercial.

El Dr. Hudson realizó una serie de pruebas para demostrar los efectos positivos que resultan de calentar un trabajo de preparación antes de recubrirlo. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios pudiéndose observar que en algunos casos la vida útil de la pintura se incrementa hasta en un 100% con solo calentar la superficie. Los siguientes resultados fueron obtenidos para diferentes recubrimientos calentando la superficie de prueba a 200°C.

TABLA (XXIII)
VIDA DE LA PINTURA EN AÑOS

<u>Superficie Fría</u>	<u>Superficie Caliente a 200°C</u>
2.6	2.7
2.7	7.5
6.0	6.0
1.1	5.9
1.8	2.8
3.7	5.3
2.1	3.7

IV.2.1. PREPARACION MECANICA DE SUPERFICIE

En todo trabajo de preparación de superficies existe un factor muy importante que siempre debe tenerse en mente y que éste se refiere al patrón o perfil de anclaje producido por el método de limpieza, el cual tiene efecto significativo sobre el comportamiento de la pintura. -- El punto medular de éste factor es evitar la formación-

de un perfil de anclaje demasiado profundo, o sea un picado excesivo de la superficie, ya que obviamente, es difícil proteger tal superficie con un recubrimiento delgado de pintura, lo que ocasionará un gasto excesivo de material y trabajo de aplicación e inspección que se traduce en una mayor erogación monetaria. Además, trabajos de investigación han demostrado que el herrumbramiento de una superficie empieza sobre los picos o protuberancias del perfil grabado en la superficie por el método de limpieza empleado, los cuales al ser muy pronunciados debido a un perfil de anclaje excesivo no pueden ser adecuadamente recubiertos y protegidos con la pintura, quedando así expuestos a la acción corrosiva del medio y dando origen a una prematura deterioración del sistema de recubrimiento.

Pero, así como un perfil de anclaje demasiado pronunciado no es recomendable, tampoco lo es un perfil poco definido o sea una superficie pulida o tersa, la cual desarrollará una pobre adherencia de la pintura ocasionando el desprendimiento de la misma lo que originará la rápida destrucción del sistema de recubrimiento y el ataque corrosivo a la base metálica.

Los métodos mecánicos de preparación de superficies son muchos y muy variados por tal motivo se tratará de revisarlos uno a uno lo más completamente posible analizando paso a paso los procedimientos y herramientas empleadas. Al mismo tiempo será discutido el uso específico de cada uno de ellos, su velocidad de limpieza y las características de las superficies producidas.

A) LIMPIEZA MANUAL DE SUPERFICIES

S S P C - SP - 2

Este tipo de limpieza constituye el procedimiento más antiguo que se ha venido empleando para preparar y limpiar superficies antes de pintarse. La limpieza manual es un método bastante aceptable de preparación de superficies en donde no se requiere un grado de limpieza muy sofisticado, ya que el sistema de recubrimiento que se va a usar vencerá parcial o completamente la interferencia de los productos o impurezas que generalmente quedan detrás de la limpieza manual. Este método es ampliamente recomendado para

preparar superficies que al recubrirse van a estar expuestas a condiciones normales de corrosión. Además para que este método sea efectivo hay que considerar el estado de la superficie a limpiar, esto es que no esté demasiado deteriorada o incrustada ya que por este método es casi imposible y además anti-económico - remover todas las impurezas adheridas a la superficie.

Debe hacerse notar que el método de limpieza manual - es caro y además muy limitado, por lo que sólo es recomendable para áreas pequeñas o de difícil acceso en donde algún otro método de limpieza no pueda ser usado. Como una regla general, la limpieza manual se emplea solamente cuando no se cuenta con equipo operado por fuerza (mecánica, neumática o de algún otro tipo), donde el área es inaccesible para trabajar con cual-quier otro tipo de herramienta o donde el trabajo sea tan pequeño como para justificar (por su costo) el - transporte de herramientas de fuerza para efectuarlo. El método encuentra a su vez limitaciones cuando existen escorias de laminación y herrumbre o herméticamente adheridos a la superficie, los cuales podrán ser - removidos por impacto con martillos, por raspado con limatones y escofinas o el lijado de la superficie; - ésto hace que el método resulte más lento e impráctico excepto para pequeñas áreas.

La limpieza manual es un método de preparar superfi-cies para pintarlas removiendo el herrumbre y la escoria de laminación que no estén muy adheridos a la superficie así como pintura desprendida. Los métodos - manuales empleados son: Cepillado con alambre, lijado, raspado, picado o empleando otras herramientas manuales de impacto (martillos, picos, etc.) así como - la combinación de estos métodos.

Con este método no se logra remover toda la escoria - de laminación, herrumbre y pintura sueltos, así como - otros contaminantes extraños presentes en la superfi- cie.

De lo anterior se desprende que con este método es -- muy difícil remover todo tipo de contaminantes fuertemente adheridos a la superficie ya que las herramientas manuales con que se cuenta son muy limitadas. Este tipo de contaminantes pueden ser removidos primero por golpeo con herramientas de impacto para fragmen-tarlos y luego eliminados por raspado o lijado, como ya se indicó anteriormente. Esto origina un enorme -

esfuerzo humano que hace el método un proceso lento e impráctico además de anti-económico por el tiempo que dura el proceso de limpiado, por tanto sólo es recomendable para pequeñas áreas (reparaciones).

PROCEDIMIENTO PARA LIMPIEZA MANUAL

Las operaciones de limpieza manual varían dependiendo del tipo del trabajo a realizar esto es, del tipo de superficie que va a ser preparada y del estado en que se encuentre la misma. El procedimiento de limpieza puede consistir en las siguientes secuencias de operación:

- Antes de iniciar el proceso de limpieza es necesario examinar detenidamente la superficie a limpiar para determinar los contaminantes presentes y que van a ser removidos.
- Una limpieza con solventes debe preceder a la limpieza manual cuando se ha comprobado que cantidades nocivas de aceite, grasa u otros contaminantes (residuos solubles de soldadura y sales) están presentes. La remoción de contaminantes solubles por enjuagado o restregado con solventes es el método general del procedimiento asociado con la limpieza manual.

Es importante que cualquier contaminante sobre la superficie tales como: residuos de aceite y grasa no sean esparcidos sobre toda la superficie a través de las operaciones de limpieza. Se debe tener presente en la limpieza con solventes que precede al empleo de las herramientas de mano que el solvente utilizado por las operaciones de limpieza debe ser removido de la superficie antes de que se evapore enjuagando y frotando la superficie con solvente limpio con el objeto de evitar alguna película de aceite u otro contaminante esparcida sobre la superficie.

- Otro tipo de materia contaminante en forma de costra o mancha son generalmente removidos con la escoria de laminación y el herrumbre sueltos o no adheridos por medio de raspado, cepillado y lijado manuales o por la combinación de estos métodos.
- El herrumbre estratificado puede ser removido por impacto con martillo de picado manual, martillo de bola u otra clase de impacto manual o la combinación -

de ellos. Se debe tener extremo cuidado al remover las costras de herrumbre por impacto, para prevenir golpes pesados que puedan deformar o perforar la superficie. Previniendo un posible problema debemos hacer notar que este tipo de incrustamiento puede -- también ser removido fácilmente con una combinación adecuada de raspado (empleando raspadores de hoja an cha y delgada) y cepillado con alambre.

- En la preparación de superficies para repintar toda la pintura suelta o no adherida debe ser removida y los bordes gruesos que queden de la pintura vieja de ben ser eliminados de tal manera que la superficie - repintada tenga apariencia uniforme. Lo que queda - de la pintura vieja debe tener suficiente adhesión - de manera que no pueda ser arrancada como una lámina insertando un cuchillo o espátula bajo ella.
- Toda escoria de soldadura accesible y salpicadura pue de ser removida por raspado o impacto manual seguido de cepillado. Cualquier remanente de escoria de sol dadura puede ser removido con herramienta eléctrica - si se tiene disponible o lijado con agua limpia o -- con agua a la que se le ha agregado un inhibidor de de corrosión en pequeña cantidad o con una solución al 5% de ácido fosfórico. La superficie debe ser conve nientemente enjuagada con agua y secada antes de piñ tarse.
- Las áreas accesibles de una pieza parcialmente cer ra da deben ser limpiadas. En un trabajo nuevo las - áreas inaccesibles después del ensamble de ben limpi ar se antes del mismo.
- Todos los remaches soldaduras, esquinas, juntas y -- aberturas deben ser convenientemente limpiadas, ya - que estas zonas son mucho muy susceptibles a los ata ques corrosivos y por tal razón se les debe prestar - mucha atención.
- Después que la limpieza es terminada, la superficie - es cepillada, barrida, despolvada y limpiada ya -- sea con trapos limpios, brochas o sopleteada con ai re seco y limpio para remover toda la materia suelta. Si al final de toda esta operación existen aún canti dades perjudiciales de aceite o grasa, las áreas de berán ser limpiadas con solventes.
- La operación de pretratamiento (si es alguno especi-

ficado) o de pintado deben proceder tan pronto como sea posible, después de la limpieza, antes de que -- ocurra una oxidación o un deterioro en la superficie. Sin embargo, esto no es tan crítico como en el caso de superficies limpiadas con chorro de abrasivo -- (sand blast) o decapado (pickling-baño de ácido), -- donde el metal virgen está expuesto a la intemperie.

HERRAMIENTA Y EQUIPO DE SEGURIDAD

La herramienta empleada para limpieza manual es poca, - muy sencilla y básicamente se reduce a lo siguiente:

- Cepillos de alambre.
Generalmente son de dos tipos: cuadrilongo de mango grande y tipo block. Se debe cuidar que los alambres de acero de los cepillos tengan la suficiente rigi--dez para limpiar la superficie; los cepillos deben estar libres de materias extrañas y deben ser descartados cuando no sean efectivos ya sea por la pérdida de las cerdas o por la mala flexibilidad de las mismas.
- Raspadores Manuales.
Estas herramientas deben ser hechas de un material - apropiado (acero templado) y deben permanecer sufi--cientemente afilados para ser efectivos. Las formas de esta herramienta son muy variadas ya que en mu---chas ocasiones deben poder penetrar en áreas muy poco accesibles. Su tamaño es también variable.
- Martillos Manuales.
Son de diversos tamaños y formas: bola, con oreja,- etc.
- Rasquetas y Zapapicos Manuales.
- Cinceles o escoplos.
- Espátulas y Cufias.
- Equipo Auxiliar.
Este término se refiere a algunos objetos que pueden ayudar a realizar satisfactoriamente la labor de limpieza: lijas y esmeriles, cepillos para polvo, escóbas, trapos limpios, etc.

Como se puede observar la herramienta empleada para limpieza manual es mínima, muy sencilla y además económica.

En lo que respecta al equipo de seguridad podemos decir que es también mínimo y barato. Este equipo es absolutamente necesario para la protección personal del trabajador y se requiere una supervisión rigurosa, además de implantar un programa de seguridad personal que haga entender a los trabajadores la necesidad del uso de este equipo de seguridad. El equipo queda reducido a lo siguiente:

- Guantes de cuero para protección de las manos.
- Lentes de seguridad, goggles o viseras.
- Zapatos especiales para proteger las extremidades inferiores de algún golpe por la caída de alguna herramienta o estructura.
- Casco de protección (o en su defecto una simple gorra) que proteja la cabeza de los trabajadores contra las pequeñas partículas que se desprenden durante el proceso de limpieza.
- Ropa de trabajo (camisola, pantalón y bata, o en su defecto overol).
- Filtros de Aire.
- Herramienta de trabajo contra incendio (o sea herramientas antichispa).
- Debe también preverse la existencia en el área de trabajo de equipo para combatir incendios (extinguidores, mantas, etc.)

Este equipo de seguridad es muy necesario y a la vez suficiente para el tipo de trabajo que se va a realizar.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Todo trabajo generalmente implica un riesgo, al que todos los trabajadores estamos expuestos y que en un instante cualquiera puede desembocar en un terrible accidente. Los riesgos son potenciales de accidentes y los trabajadores estamos obligados a reducir este potencial

a lo más bajo posible, lo que se logra de una manera mucho muy sencilla: Observando cuidadosamente las normas de seguridad y poniendo atención (concentrarse) en lo que estamos haciendo.

El proceso de limpiado manual de superficie es un trabajo y por tanto presenta también un potencial de accidente que indiscutiblemente es muy superior al de la mayoría de los trabajos tomando en cuenta el tipo de materiales que se maneja (solventes, herramientas punzocortantes, etc.) y la exposición del trabajador a los mismos. Este potencial de accidentes puede reducirse considerablemente si se tiene en mente las siguientes normas de seguridad:

- Examinar detenidamente el lugar donde se va a realizar la limpieza para percatarse de los posibles eventos imprevistos que puedan surgir. Por ejemplo alguna estructura que esté mal colocada y que corra el riesgo de caerse, etc.
- Si hay peligro de fuego o explosión se debe tomar todas las precauciones apropiadas antes de hacer el trabajo. Por ejemplo: Si la estructura previamente contenía materiales inflamables, debe ser purgada de concentraciones peligrosas; tener cuidado de no usar herramientas que produzcan chispas, ya que ésto puede ocasionar una conflagración, si cerca de la estructura que está siendo limpiada hay materiales o vapores inflamables, debemos tener cuidado de usar las herramientas apropiadas (antichispa) o en su defecto tratar de eliminar el riesgo que dichos materiales presentan, ya sea ventilando el área o retirando los materiales inflamables a lugar seguro.
- El empleo del equipo de seguridad recomendado: Lentes de seguridad, filtros de aire (cuando haya peligro de inhalación de polvo o vapores de solvente), casco, guantes, etc., así como de la herramienta de seguridad (antichispa).

La observación de estas tres sencillas reglas de seguridad pueden ayudarnos a realizar nuestro trabajo con mayor confianza y menor número de accidentes.

INSPECCION

Todo trabajo hecho bajo ciertas especificaciones debe -

ser sometido a inspección por parte del cliente o su representante. Todas las áreas del trabajo deben ser accesibles al inspector. El contratista (que es con el que generalmente se trabaja) o persona que hizo el trabajo, deberá corregir las partes que sean halladas defectuosas de acuerdo a las especificaciones. Si el contratista no concuerda con el inspector el procedimiento establecido en el contrato (si lo hay) deberá cumplirse. Si no hay procedimiento establecido, deberá seguirse el que para este efecto se tiene en la dependencia oficial (en México la Dirección General de Normas). Al llegar hasta estos extremos, la reclamación adquiere carácter legal.

Un estandar para las condiciones finales de una superficie sometida a una operación de limpieza manual puede ser preparado en el mismo sitio donde se va a llevar a cabo la limpieza, de la siguiente manera: Se toma una superficie determinada (generalmente de un metro cuadrado) y se procede a limpiarse primeramente con solventes para eliminar residuos de grasa, aceites u otros contaminantes. Al finalizar esta parte de la limpieza, se comienza a preparar la superficie con las herramientas manuales disponibles a una velocidad determinada, por ejemplo 2 ft²/min., al terminarse de limpiar la superficie se observan los resultados y el cliente quede satisfecho del perfil de limpieza obtenido. Una vez que el cliente acepta determinado patrón de limpieza, éste deberá regir a lo largo de toda la operación de limpieza.

Se pueden usar también fotografías u otros estandares visuales de comparación para definir las condiciones finales que una superficie debe llenar o sea el grado de limpieza requerido.

El cliente deberá proporcionar las muestras especificadas o estandares de tal manera que podrán ser comparadas durante todo el contrato. En caso de que se usen muestras de acero como estándares para la limpieza manual, deben ser completamente protegidas de la corrosión durante el contrato.

ACEPTACION

Se aceptará dicha superficie cuando tenga el mismo aspecto que un área o estandar fotográfico (visual) que previamente ha sido aceptado como patrón y representante de las condiciones generales.

La superficie estará lista para recubrirse cuando sólo tenga restos de óxido o de pintura bien adheridos y esté libre de grasa, aceite u otra sustancia extraña.

B) LIMPIEZA CON HERRAMIENTAS ELECTRICAS Y NEUMATICAS.
S S P C - SP - 3

Este tipo de limpieza es muy similar al proceso de limpieza con herramientas manuales, el trabajo a realizar es básicamente el mismo y los resultados (perfil de limpieza), son mejores. La única diferencia entre ambos métodos es el tiempo, ya que -- con el empleo de las herramientas mecánicas el trabajo de limpieza se hace más rápido (hasta en un 50%) y como es lógico suponer los acabados son mejores que los que se obtienen con las herramientas de mano. Este método de limpieza está íntimamente ligado al proceso de limpieza manual, se puede decir que se complementan el uno al otro ya que si -- por determinadas circunstancias un método no puede ser usado, se emplea el otro. Por ejemplo: Al -- limpiar una superficie con herramientas mecánicas, se encuentran áreas en donde las herramientas no pueden usarse debido a lo reducido de los espacios o a ciertos obstáculos propios de la estructura -- que se está limpiando (esquinas, partes internas de vigas colocadas cerca de las paredes, etc.); -- cuando esto sucede, el empleo de las herramientas de mano se hace necesario formando así con las herramientas mecánicas un DUO inseparable de limpieza que sin lugar a dudas es el más usado para limpieza de superficies metálicas en México, aunque -- existen otros métodos de limpieza que se verán más adelante.

La aplicación de esta combinación de métodos de -- limpieza se observa en casi todos los trabajos de preparación de superficies y únicamente donde se -- requieren perfiles de limpieza muy especiales se -- emplean métodos como el chorro de abrasivo o el de capado (pickling-baño ácido). Estos dos métodos -- son muy especiales y consecuentemente muy caros ya que aparte de limpiar la superficie proporcionan -- un acabado que permite a los recubrimientos fijarse fuertemente a la superficie evitando así un desprendimiento de la película. Este acabado de la -- superficie se denomina "PERFIL DE ANCLAJE" y es el responsable de la adhesión de los recubrimientos --

al sustrato o base. Este perfil de anclaje también se forma en el tipo de limpieza manual y mecánico - sólo que es más irregular y menos definido (surcos y pequeñas deformaciones que se aprecian en la superficie como resultado de la acción del cepillo de alambre, herramientas de impacto, rascadores, etc.) pero que es también responsable de la adhesión de los recubrimientos a la base.

El perfil de anclaje va de acuerdo con el tipo de recubrimiento que se va a usar y este recubrimiento va de acuerdo con las necesidades de exposición que se tengan. Al seleccionar un tipo de terminado de recubrimiento se deben tener en mente varios aspectos, de los cuales el más importante es el medio ambiente al cual va a estar expuesto, por ejemplo: para un región cálida y húmeda o para un ambiente salino, no se puede seleccionar un recubrimiento alquídico, ya que las condiciones ambientales (acción corrosiva del medio ambiente) acabaría rápidamente con él aún cuando la preparación de la superficie (que es donde se asienta un 90% del éxito de un recubrimiento) hubiese sido de lo mejor. Para este tipo de ambiente se escogería un recubrimiento en base a resinas vinílicas, epóxicas o a hule que son más resistentes a los agentes de la corrosión.

Cuando se va a recubrir una superficie se debe tener en cuenta los siguientes aspectos en la selección de recubrimiento que se va a emplear:

- Medio de exposición.
Para determinar lo agresivo que pueda ser el ambiente.
- Las condiciones de la superficie que se intenta recubrir. Ver si la superficie se encuentra muy incrustada, corroída, etc.
- Disponibilidad de equipo y mano de obra para realizar el trabajo.
- El aspecto económico. Este, es el punto que aparentemente debería predominar pero en los trabajos de recubrimiento de superficie que implique un acabado perfecto de protección contra la corrosión, queda relegado a segundo plano.

De estas cuatro consideraciones se deduce primeramente el tipo de recubrimiento que se va a usar, - esto es, si el recubrimiento es alquidálico, vinílico, expósito, fenólico, etc. En seguida y considerando el tipo de recubrimiento escogido se determinará el método que se va a emplear para preparar la superficie: Manual, chorro de abrasivos, baño de ácido, etc. La selección del método de limpieza es el punto medular para el buen comportamiento de un sistema de recubrimiento ya que el perfil de limpieza no es el mismo para todos los recubrimientos.

Por regla general podemos decir que los recubrimientos de buena calidad están asociados directamente con preparaciones de superficie de la misma calidad, por ejemplo un acabado vinílico se aplica generalmente sobre una superficie preparada con chorro de abrasivo; un alquidálico se aplica sobre una superficie preparada manualmente o con herramientas mecánicas; un epóxico no se aplica sobre una superficie preparada manualmente ya que el perfil de anclaje de la preparación sería insuficiente para proporcionar una buena adhesión a la película del recubrimiento; un alquidálico no se aplica sobre superficies preparadas con chorro de abrasivo o baño de ácido ya que el perfil de limpieza está muy por encima de los requerimientos de este tipo de recubrimiento aunque se debe hacer notar que los resultados de este último sistema serían espléndidos ya -- que la superficie ha sido preparada adecuadamente y así el recubrimiento sea de cualquier clase funcionará satisfactoriamente.

Desde el punto de vista de costos, la regularidad de un perfil de anclaje determina su valor, por lo tanto una limpieza con chorro de abrasivo a metal blanco tiene un mayor costo que una limpieza a metal casi blanco y ésta a su vez, que una limpieza a metal grado comercial y así sucesivamente hasta llegar al tipo de limpieza manual que sería la de menor costo ya que su perfil de anclaje es el más -- irregular.

La limpieza con herramientas eléctricas o neumáticas es un método para preparar superficies para pintar-removiendo la escoria de laminación, el herrumbre y la pintura que no estén fuertemente adheridos por combinación de lijado, raspado, desconchado, etc. -

con herramientas eléctricas o neumáticas tales como: cepillos, esmeriles, cinceles, etc. Este tipo de limpieza no elimina totalmente los contaminantes que pueden existir sobre la superficie, pero sí remueve algunos productos de corrosión junto con la escoria de laminación, herrumbre y pintura sueltas. Con este método al igual que con la limpieza manual no se puede remover en su totalidad la escoria de laminación y el herrumbre fuertemente adheridos. Además, la limpieza con herramientas tiene muchas dificultades con la limpieza de grietas y picaduras.

PROCEDIMIENTO.

El procedimiento de limpieza con herramientas eléctricas o neumáticas puede consistir en la siguiente secuencia de operación:

- Examinar detenidamente la superficie a limpiar para determinar los contaminantes presentes y que van a ser removidos.
- Una limpieza con solventes debe preceder a la limpieza con herramientas eléctricas o neumáticas cuando se ha comprobado la presencia de cantidades nocivas de aceite, grasa u otros contaminantes.
- La herrumbre estratificada (rust scale) puede ser removida por impacto de herramientas eléctricas o neumáticas, si el herrumbramiento es muy leve puede ser removida por limpieza manual.
- La escoria de laminación, el herrumbre y la pintura suelta o no adherida pueden ser removidos usando cepillo de alambre de acero eléctricos o neumáticos, raspadores rotatorios, pulidoras eléctricas, etc.

Cuando se usen éstos debe recordarse que la superficie debe ser limpiada, pero no pulida hasta un grado perjudicial.

- En la preparación de superficies para repintar toda la pintura suelta o no adherida debe ser -

removida y los bordes gruesos que queden de la pintura vieja deben ser eliminados de tal manera que la superficie repintada tenga apariencia uniforme. Lo que queda de la pintura vieja debe tener suficiente adhesión de manera que no pueda ser arrancada como una lámina insertando un cuchillo o espátula bajo ella.

- Toda escoria de soldadura o salpicadura puede ser removida por raspado o impacto con herramientas eléctricas o neumáticas seguido de cepillado. Cualquier remanente de escoria de soldadura puede ser removido por chorro de abrasivo si se tiene disponible, por algún otro tipo de herramienta eléctrica, neumática o lavado (lijando) la superficie con agua limpia, con agua a la que se le ha agregado el inhibidor de corrosión en pequeñas cantidades o con una solución al 5% de ácido fosfórico. La superficie debe ser convenientemente enjuagada con agua y secada antes de pintarse.
- Todas las áreas accesibles de una pieza parcialmente cerrada deben ser limpiadas. En un trabajo nuevo, las áreas inaccesibles después del ensamble deben limpiarse antes del mismo.
- Cabezas de remaches, grietas, hendiduras, puntas, hilos de soldadura, esquinas y juntas deben ser convenientemente tratados (limpiados) con cepillo eléctrico, martillos escamadores, pulidoras rotatorias o la combinación de estas herramientas ya que estas zonas son muy susceptibles a los ataques corrosivos.
- Las herramientas deben ser operadas en tal forma que no dejen rebabas o arrugas en la superficie así como cortes agudos en la misma.
- Las áreas inaccesibles para la limpieza eléctrica deben ser limpiadas con el método de limpieza manual.
- Después que la limpieza ha sido terminada, la superficie es cepillada, barrida, desempolvada y limpiada. Si al final de toda esta operación existen aún cantidades perjudiciales de aceite o grasa, las áreas deberán ser limpiadas con solventes.

La operación de pretratamiento (si es alguno especificado) o de pintado deben proceder tan pronto como sea posible después de la limpieza antes de que ocurra una oxidación o algún deterioro en la superficie. En éste tipo de limpieza, este aspecto no es tan crítico como en el caso de superficies limpiadas con chorro de abrasivo o baño de ácido, donde el metal virgen está expuesto a la intemperie.

HERRAMIENTA Y EQUIPO DE SEGURIDAD EMPLEADO

Las herramientas empleadas por este método de limpieza son:

- Cepillos de alambre rotatorios.
El alambre de los cepillos es de acero y debe tener suficiente rigidez para limpiar la superficie. Los cepillos deben estar libres de materias extrañas y deben ser descartados cuando no sean efectivos. Existen varios tipos de cepillos de alambre que están convenientemente disponibles y cubren cada posible uso.

El cepillo de alambre rotatorio es la herramienta más ampliamente usada, las cerdas del cepillo deben tener la suficiente rigidez para remover la escoria de laminación y pintura vieja sueltos así como los hilos de soldadura, escoria de metales y depósitos de suciedad. Las cerdas de estos cepillos deben ser de composición especial, de calidad "MUSIC WIRE". Varios tamaños de cerdas de alambre y formas son empleados entre las que se encuentran las rizadas o anudadas.

Los cepillos tipo copa y radiales (a menudo referidos como tipo disco o polea) son también empleados. La selección del estilo (copa o disco) y tipo de cerda, debe estar basado en pruebas actuales ya que la condición de la superficie afecta la eficiencia de la operación de limpiado, junto con los diversos tipos de cerdas. En la figura se observan cepillos típicos.

Cepillos que consisten de un manojo de cerdas duras están disponibles para la limpieza de las esquinas. Otros cepillos rotatorios están hechos de piezas cor

tas de alambre trenzado sostenidos en adaptadores especialmente diseñados por la sección media permitiendo a las terminaciones sueltas limpiar la superficie; es particularmente efectivo alrededor de cabezas de remaches y superficies muy irregulares.

En lo que se refiere a las máquinas (motores) recomendables para los cepillos de alambre, rascadores y pulidoras de fuerza existe una amplia variedad en estilos y diseños. Dos tipos generales están disponibles: La máquina recta o en línea, la cual puede usar cualquiera de los tipos de cepillo de alambre (copa o radial) y la máquina vertical o ángulo recto la cual generalmente usa solamente el cepillo tipo copa o un esmeril o disco abrasivo plano. El tipo de máquina a ser seleccionado variará con las condiciones del trabajo aunque es recomendable tener los dos tipos a la mano ya que ambos serán usados en trabajo de campo.

El tamaño de la máquina debe ser adecuado para desarrollar suficiente fuerza para el tamaño del cepillo que va a ser usado y la presión a ser impuesta en la operación de limpieza. La velocidad de la máquina es gobernada por el tamaño del cepillo, disco rascador o pulidor que es usado: a mayor diámetro más baja velocidad. La máxima velocidad de las máquinas a ser usadas está gobernada por consideraciones de seguridad.

Cuando se emplea una máquina operada neumáticamente para realizar un trabajo utilizando un cepillo de alambre de copa de 5 pulgadas ésta tiene una velocidad no presionada de por ejemplo 4500 rpm: esta velocidad se denomina "velocidad libre", pero al estar realizando el trabajo de limpieza esta velocidad está sujeta a una presión que provoca que la velocidad disminuya considerablemente por ejemplo a 1000 rpm. Pero hay que hacer notar que en este tipo de máquinas la velocidad puede ser controlada por la presión y el volumen de aire. Las máquinas operadas eléctricamente trabajan a una velocidad fija.

- Herramientas de impacto.

Este tipo de herramientas se emplea ventajosamente cuando depósitos de herrumbre, escoria de laminación, pintura vieja gruesa, escoria de metales, plastas de soldadura y otros productos frágiles deben ser removidos de la superficie. Entre estas herramientas tenemos: Rascadores y cínceles -

especiales que pueden ser adaptados convenientemente en herramientas de fuerza eléctrica o neumáticas, martillos para despostillar, martillos para eliminar la escoria de laminación, etc. También son empleados y en gran escala las herramientas de impacto rotatorias que operan sobre el mismo principio básico de las otras herramientas de impacto, que es a través de una acción cortante o astillante (por medio de picado para desconchar).

- Esmeriles eléctricos y lijadoras.
Son a menudo empleados para preparar superficies para pintarse. La máquina usada para este propósito puede ser la misma que se usó con el cepillo de alambre solo que con discos para lijar y ruedas para esmerilar apropiadas sustituyendo al cepillo de alambre. El tamaño de arena abrasiva usada con este tipo de equipo de limpieza debe ser propiamente seleccionado: Demasiado cuarzo en un abrasivo creará un anclaje profundo que no es recomendable o conveniente para el buen desempeño de la pintura; un abrasivo muy fino causa prematuro atascamiento de la rueda del esmeril o del disco de pulido haciendo así el proceso ineficiente. El esmerilado está bien recomendado para costuras de unión que deben ser pulidas o para cortes puntiagudos que deben ser redondeados. El anclaje de superficie producido puede ser extremadamente bueno con la completa remoción de herrumbre y escoria de laminación, pero tales métodos de limpieza son muy caros para áreas grandes.
- Equipo auxiliar.
Incluye el suministro de aire o eléctrico, goggles de seguridad, respiradores y cuando las medidas de seguridad lo necesiten, herramientas antichispa.

Como se podrá observar las herramientas empleadas en este método son exactamente las mismas que se usan en el método de limpieza manual, solo que aquí no son operadas manualmente sino por una fuerza eléctrica o neumática. (Los métodos y equipo que se emplean en la limpieza manual son interpretados en el diseño de herramientas de fuerza).

En lo que respecta al equipo de seguridad podemos de

cir que es exactamente el mismo que se necesita para el proceso de limpieza manual con la única condición de que en este método el uso de este equipo es más riguroso, ya que como se trabaja con herramientas de fuerza los riesgos de accidentes son más graves.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Como se indicó anteriormente, todo trabajo implica un riesgo y todos los trabajadores estamos expuestos a ese riesgo que en muchas ocasiones desemboca en un accidente.

Los riesgos en el trabajo deben ser tomados como algo natural y debe trabajarse arduamente para eliminarlos cuanto sea posible. Este trabajo es duro y bastante complicado, pero si se trabaja en armonía y con conocimiento de lo que se está haciendo, dicha dificultad es superada satisfactoriamente.

Eliminar en un 100% los riesgos en el trabajo es imposible, pero pueden disminuirse en un porcentaje considerable si observamos cuidadosamente las reglas y normas de seguridad establecidas para el tipo de actividad que estamos desarrollando.

Las normas de seguridad que deben observarse en la limpieza de superficies con herramientas de fuerza son las mismas que se establecieron para el método manual de limpieza de superficies.

INSPECCION Y ACEPTACION

Como ya se indicó en el método de limpieza manual, todo trabajo hecho bajo ciertas especificaciones -- una vez terminado debe ser sometido a inspección -- por parte del cliente o del representante de éste. -- Dicha inspección es realizada en todas las áreas -- del trabajo de acuerdo a ciertas especificaciones -- que fueron establecidas en el momento de firmar el contrato de trabajo.

Dichas especificaciones dan origen a un ESTANDAR pa

ra las condiciones finales de una superficie sometida a una operación de limpieza.

Este estandar puede ser preparado en el mismo sitio donde se va a llevar a cabo la limpieza en la misma forma descrita para el proceso de limpieza manual.- Se pueden usar también fotografías u otros estandares visuales de comparación para definir las condiciones finales que una superficie sometida a una -- operación de limpieza deberá llenar. Estas fotografías o estandares visuales deberán ser proporcionados por el cliente y el contratista deberá someterse a ellos. Estos estandares podrán ser usados como un medio de comparación durante todo el contrato.

Una superficie limpiada con herramientas de fuerza, será aceptada cuando tenga el mismo aspecto que un área o estandar fotográfico (visual) que previamente ha sido aceptado como patrón y representante de las condiciones generales finales.

La superficie estará lista para recubrirse cuando sólo tenga restos de óxido o de pintura bien adheridos y esté libre de grasa, aceite u otra sustancia extraña.

C) LIMPIEZA CON FLAMAS
S S P C - SP - 4

Este tipo de limpieza fué introducido aproximadamente en 1940, es un método para preparar superficies ferrosas pasando sobre la superficie flamas oxiacetilénicas a alta velocidad. En aquel tiempo se pensó que este método era una solución satisfactoria a los problemas de limpieza de superficies metálicas y que resultaría la más económica y satisfactoria - preparación de superficies. Pero, en muchos casos los resultados hasta la fecha han fracasado en su intento por justificar ese optimismo concerniente a este proceso de limpieza. Es de vital importancia que cualquiera que intente el uso de este método de preparación de superficies analice detenidamente -- sus ventajas, desventajas y costos.

Este método depende, por su efecto del alto calor - generado en la superficie el cual remueve algo de - la escoria de laminación y herrumbre. Esta remoción

se hace ya sea por medio de diferencia térmica causando una diferencia en la velocidad de expansión - entre el metal y la escoria de laminación o por la acción explosiva del vapor de agua generado debajo de la escoria o por una combinación de estos métodos.

El método de limpieza a la flama es recomendable para talleres o localizaciones donde es imposible limpiar con chorro de abrasivo, pero se desea un método de preparación de superficie que sea mejor que el manual y con herramientas de fuerza. La limpieza a la flama no debe ser considerada como el equivalente de la limpieza con chorro de abrasivo a un acabado comercial. Con este método se remueve solamente una parte de la escoria de laminación y para que este método sea efectivo debe ser seguido por una completa operación de cepillado con alambre, remoción de desechos sueltos (no adheridos) y el pintado cuando la superficie está todavía caliente. Este último requerimiento establece una severa limitación sobre la flexibilidad del proceso, ya que en trabajo de taller particularmente es bastante difícil seguir a las operaciones de limpieza con flama y cepillado con alambre por el pintado mientras la superficie está todavía caliente y si como se piensa que el beneficio más grande de la limpieza a la flama proviene del pintado de la superficie, entonces este método queda bastante limitado y solo servirá para ciertos trabajos de campo donde no se disponga de un método más eficiente de limpieza y donde por las condiciones ambientales sea necesario recubrir la superficie inmediatamente después de la limpieza tratando de aprovechar el beneficio que este método proporciona. Otra ventaja muy importante del proceso de limpieza a la flama y que es particularmente aplicada para regiones de condiciones ambientales húmedas proviene del hecho de que la humedad es eliminada de la superficie y la pintura es aplicada mientras la superficie está todavía caliente. La ventaja de aplicación de pintura sobre una superficie seca y caliente no puede ser negada: El calor tiene una tendencia a hacer la pintura menos viscosa y obtener mejor penetración y flujo dentro de los intersticios, el efecto de ligero horneado es también de mucho beneficio para la adherencia y buen acabado del recubrimiento sobre la superficie. Se ha demostrado que los resultados obtenidos con -

el proceso de preparación de superficie a la flama son mejores que los resultados del método manual y con herramientas de fuerza, pero queda bastante corto de los resultados que se obtienen con preparación con baño de ácido o chorro de abrasivo.

Como ya se indicó anteriormente este método depende del efecto producido por el alto calor generado en la superficie que se va a limpiar, pero la sola temperatura no es un criterio suficiente para el buen éxito del proceso; se ha demostrado que la velocidad de la flama es esencial para obtener la transferencia de calor rápida e intensa a la escoria de la minación.

Actualmente han sido desarrolladas mezclas de gases sintéticos con las cuales se cree alcanzar una temperatura y velocidad de flama suficientemente altas para poder limpiar la superficie con la misma efectividad que con las flamas oxiacetilínicas.

Las operaciones de limpieza a la flama están divididas en dos formas: Para trabajo nuevo o sea para superficies metálicas que no han sido nunca recubiertas y para trabajo de mantenimiento donde está presente pintura vieja.

LIMPIEZA CON FLAMA DE SUPERFICIES NUEVAS

La limpieza a la flama de superficies nuevas utiliza el calor intenso a alta velocidad de una flama de forma semejante a un cepillo (la velocidad aproximada es de 15 a 35 ft lineales por minuto). Una pasada de la flama es todo lo que se necesita para trabajo nuevo, a menos que un herrumbramiento pesado haya ocurrido. La superficie es entonces cepillada con alambre, la materia suelta removida y la superficie pintada mientras está todavía caliente. La temperatura a la que se encuentre la superficie en este momento será satisfactoria para aplicar la pintura.

LIMPIEZA CON FLAMA DE SUPERFICIES VIEJAS

Este es un tipo diferente de proceso, que es más que una operación de quemado o abrazamiento como en el -

caso anterior. La pintura vieja debe ser ablandada y raspada de la superficie o completamente quemada por la flama caliente. Los procedimientos usados en este caso varían grandemente con la condición de la superficie y el tipo y cantidad de pintura. Algunas pinturas notablemente las de aceite de linaza, las cuales no han oxidizado o endurecido completamente son fácilmente removidas por un pase rápido de flama la cual ablanda la pintura y ésta debe ser raspada de la superficie con un raspador amplio y delgado mientras permanece caliente. Para éste y otros tipos de trabajo de mantenimiento del equipo de limpieza a la flama oxiacetilénico diseñado especialmente, es recomendable pero no absolutamente necesario, ya que otros tipos de flama operados con propano, gasolina, gas natural o combustibles similares pueden ser utilizados. Las flamas calientes son generalmente más deseadas. La operación contraria el tipo anteriormente descrito es cuando la pintura es muy difícil de remover y no se ablanda apreciablemente bajo el calor de la antorcha. Aquí, es necesario aplicar la flama y mantenerla en un sitio hasta que la pintura sea totalmente quemada y solamente permanece una ceniza o ligera carbonización. El raspado del residuo es muy necesario y puede ser muy difícil y tedioso debido a la tenacidad de algunas de las sustancias carbonaceas, alquitranadas, que pueden permanecer. Recientemente varios nuevos diseños de equipo de limpieza a la flama han sido desarrollados para este tipo de operación de calcinación a la flama, la cual utiliza el mismo principio que la flama cortante de oxi-acetileno.

Debe estar perfectamente claro que durante la operación de limpieza a la flama ocurre un calentamiento considerable en la superficie particularmente durante la remoción de la pintura vieja y por tanto, cualquiera de los dos tipos de trabajo (nuevo y de mantenimiento) es necesario una precaución extrema para prevenir encorvamiento (deformación) de secciones delgadas de metal.

Generalmente se cree que la limpieza de material de 3/16 de pulgada o menos es muy riesgosa y por tanto es necesario extremo cuidado. Materiales más gruesos que éste pueden ser limpiados con flama, con precauciones razonables. Si la operación es una operación de calcinación 3/16 de pulgada de espesor puede ser bastante delgada para seguridad.

Otro aspecto muy importante es el hecho que a menudo se piensa que el aceite y la grasa son removidos por el proceso de limpieza a la flama, pero la realidad es que debido a la rapidez con que pasa la flama sobre la superficie de aceite y la grasa pueden ser ligeramente carbonizados o tan solo encendidos resultando en un depósito de carbón sobre la superficie.- Buena práctica resulta remover aceite y grasa con solventes, bastante tiempo antes de la operación de limpieza para eliminar cualquier riesgo de la flama.

COSTOS

El costo de limpieza con flama está reportado a un promedio aproximado de 15-25 centavos de dólar por ft² de superficie. El costo por supuesto dependerá de la superficie que va a ser limpiada, su accesibilidad y la velocidad de cruzado de la flama. El calcinado a la flama de pintura tiende a llegar a ser excesivamente costoso y puede estar bastante arriba de la cuota fijada.

Los siguientes datos de operación fueron suministrados por un fabricante de equipo de limpieza con flama y se cree son bastante representativos de velocidad de limpieza y consumo de gas, de los cuales, los costos pueden ser calculados, (ver tabla)

El gas acetileno es el que generalmente se usa para el proceso (ninguno de los gases menos costosos tales como: metano, propano o hidrógeno son considerados recomendables) y siendo que el costo de los gases usados representan una porción considerable del costo total, los operadores deben ser entrenados para eliminar derroches.

El entrenamiento de operadores para limpieza a la flama no es difícil.

EQUIPO DE TRABAJO

- Boquillas. Se encuentran disponibles en un número de tamaños y formas que van de 2 a 12 pulgadas de ancho. Los orificios o lumbreras de gas de estas boquillas están colocadas en línea y separados - -

aproximadamente 1/8 de pulgada. Existen también-boquillas especialmente formadas para limpiar los alrededores de cabezas de remaches y formas estructurales.

- Sopletes. El soplete usado es similar al que se usa en flamas o antorchas de oxi-acetileno normales. En muchas ocasiones, se usa una extensión de tubo para proveer diferentes longitudes.
- Mangueras, reguladores de presión y cilindros de gas. Estas partes son iguales que para equipo --oxiacetilénico convencional.
- Múltiples. Las flamas o antorchas más grandes -- consumen considerable cantidad de gas y puede ser necesario conectar un número de cilindros de acetileno a una entrada común para mantener un flujo de gas adecuado.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Este método de preparación de superficies implica un riesgo adicional aparte de los riesgos a que normalmente está expuesto todo trabajador dedicado a la --limpieza de superficies, dicho riesgo se debe al manejo y exposición directa en el trabajo que se está-realizando y que puede en un momento de descuido o -de confianza provocar un accidente de funestas consecuencias.

En este método de preparación de superficies se de--ben considerar las siguientes normas de seguridad pa--ra reducir el potencial de accidentes:

- Examinar detenidamente el lugar donde se va a lle--var a cabo la limpieza para percatarse de los po--sibles eventos imprevistos que puedan surgir.
- Si hay peligro de fuego o explosión se deberán to--mar las precauciones apropiadas antes de que se --haya hecho algún trabajo. Por ejemplo, si la es--tructura contenía previamente materiales inflama--bles debe ser purgada de concentraciones peligro--sas, si el llevar a cabo la limpieza con solven--tes para remover los residuos de aceite y grasa - que puedan existir, la evaporación de los mismos-

no ha sido completa, debemos esperar que ésta concluya o en su defecto forzar la evaporación de -- los mismos sopleteando aire fresco y limpio sobre la superficie, si cerca del área de trabajo existen materiales inflamables, éstos deberán ser retirados a lugares seguros, etc.

- El empleo del equipo de seguridad recomendado: - Lentes, ropa de trabajo (pantalón, camisola, overol, etc.) casco, guantes, zapatos y especialmente filtros de aire ya que se van a estar desprendiendo de la superficie vapores tóxicos.
- El manejo adecuado de las herramientas de trabajo evitar distracciones, realizar el trabajo poniendo la mayor atención posible en lo que se está haciendo, no realizar bromas con los compañeros a la hora del trabajo, conocer perfectamente lo que estamos haciendo dándonos cuenta de las características del elemento principal que manejamos (el fuego) y principalmente sintiendo que lo que se está haciendo está bien.
- Proveer que haya la ventilación necesaria.
- Muchas de las pinturas que se desarrollan actualmente tienen incorporados grandes porcentajes de solventes altamente volátiles e inflamables, por tanto el trabajo de pintado de la superficie debe realizarse de tal manera que se prevenga fuego o explosión. (Esto se logra evitando el recubrimiento cuando la superficie esté demasiado caliente, dejándola enfriar durante un corto tiempo).

INSPECCION Y ACEPTACION

Como vimos anteriormente todo trabajo hecho bajo ciertas especificaciones una vez terminado debe ser sometido a inspección por parte del cliente o su representante. La inspección es realizada en todas las áreas del trabajo de acuerdo a ciertas especificaciones que fueron establecidas y aprobadas por el cliente y el contratista al momento de firmar el contrato de trabajo.

Dichas especificaciones dan origen a un ESTANDAR para las condiciones finales que deberá observar una superficie sometida a una operación de limpieza. Es

te estandar se puede elaborar en el mismo sitio donde se va a llevar a cabo la limpieza en la misma forma descrita para el proceso de limpieza manual. Pueden también ser usados estandares visuales (fotografías) de comparación para definir las condiciones finales que una superficie sometida a una operación de limpieza deberá tener. El estandar deberá ser proporcionado por el cliente, o elaborado de común acuerdo con el contratista en el mismo sitio donde se va a llevar a cabo la operación de limpieza. Este estandar podrá ser usado como un medio de comparación durante todo el contrato y el contratista deberá apearse a él. En caso de que se usen muestras de acero preparadas en el mismo sitio de la limpieza como estandares para la limpieza con flamas, deberán ser completamente protegidas de la corrosión durante el tiempo que dure la limpieza de toda la superficie.

Una superficie limpiada con flamas, será aceptada -- cuando tenga el mismo aspecto que un área o estandar fotográfico (visual) que previamente ha sido aceptado como patrón y representante de las condiciones generales finales.

La superficie estará lista para recubrirse cuando sólo tenga restos de óxido o de pintura fuertemente adheridos y esté libre de grasa, aceite u otra sustancia extraña.

OBSERVACIONES

En general la limpieza con flama no es aplicable para secciones delgadas que están sujetas a deformarse (secciones de espesores menores de 3.6 de pulgada).

Es necesario recordar que es esencial que a la operación de limpieza con flamas debe seguir una operación de cepillado con alambre para eliminar todo tipo de materia suelta, así como una desempolvada total de la superficie. El desempolvado de la superficie puede hacerse con cepillos, escobas, trapos limpios y por sopleteado con aire comprimido. Este último método ha sido desaprobado por muchos individuos que tienen una idea errónea de que la expansión libre del aire comprimido condensará agua y la depositará sobre la superficie, pero nada semejante sucede en una expansión, cualquier agua condensada depositada sobre la superficie estuvo presente en la línea de aire. El peligro en usar aire comprimido para desempolvar superficies está siempre presente independiente de que método de preparación de superficie

es usado; ese peligro y es real, es que aceite y agua condensados en las líneas serán depositados sobre el acero limpio. El remedio es instalar trampas de agua y separadores de aceite adecuados. También, éstos deben ser periódicamente saneados para que no lleguen a llenarse y dejen de funcionar.

Si se quiere aprovechar al máximo los beneficios que puede proporcionar este método de limpieza, la pintura debe ser aplicada mientras la superficie está todavía caliente pero no tanto que la mano no pueda estar sostenida contra ella. Cuando menos debe preverse -- que la temperatura de la superficie sea un poco mayor que la temperatura ambiente.

La pintura no debe ser adelgazada excesivamente, ya que fluirá fácilmente cuando sea calentada por el acero.

El aire comprimido es extensivamente usado para desempolvar superficies después de limpiarlas y antes de pintarlas. Aún el más alto grado de limpieza de superficie resultante de una limpieza (sacudida, desempolvada) con aire comprimido está mucho más limpia y libre de cualquier materia suelta que una superficie barrida o desempolvada con cepillos y trapos.

La flama que se utiliza se enciende en la misma forma que en los equipos convencionales oxiacetilénicos después que los gases son regulados a las presiones recomendadas por el fabricante del equipo. La flama resultante es neutra.

Una adaptación del proceso de limpieza a la flama es el proceso de DEHIDRATACION A LA FLAMA. En éste caso, el propósito primordial del tratamiento a la flama es remover la humedad de la superficie antes de pintarla. Esto puede ocurrir por ejemplo cuando es necesario empezar a pintar temprano en la mañana y la superficie está cubierta con rocío. La limpieza con chorro de abrasivo o algún otro método se emplea para la remocción de cualquier herrumbre, pintura vieja o escoria de laminación previamente al proceso de dehidratación a la flama.

RELACIONES DE LIMPIEZA Y CONSUMO DE GAS PARA LIMPIEZA A LA FLAMA

CONDICION DE LA SUPERFICIE.	VELOCIDAD LINEAL NETA (PIES POR MINUTO)	AREA DE LA SUPERFICIE LIMPIADA A LA FLAMA (Ft ² POR CABEZA DE BOQUILLA) DE 6 PULGADAS.	OXIGENO O ACETILENO CONSUMIDO Ft ² / Ft ²
Superficie plana relativamente limpia	35	1 000	0.33
Ligera cantidad de herrumbre y escoria suelta	28	800	0.17
Moderada cantidad de herrumbre y escoria suelta	21	600	0.23
Sección remachada relativamente limpia	18	500	0.26
Superficie plana densamente herrumbrosa	14	400	0.33
Sección remachada densamente herrumbrosa	7	200	0.65

D) LIMPIEZA DE SUPERFICIES CON CHORRO DE ABRASIVO SANDBLASTING.

La limpieza por sopleteado con abrasivos es el mejor método para limpiar superficies de acero por su eficacia para quitar herrumbre, escoria de laminación, pintura vieja y todo tipo de contaminantes y también porque deja una superficie áspera que contribuye a una mayor adherencia del recubrimiento. La limpieza por sopleteo consiste en impulsar partículas abrasivas por medio de aire comprimido o una fuerza centrífuga contra una superficie, dichas partículas golpean la superficie a muy alta velocidad provocando picado, desconchado y desgaste por rozamiento de la superficie, o sea que junto con los contaminantes es removida algo de la base metálica.

La limpieza por sopleteo con abrasivos provee un perfil de anclaje o terminado de superficie que permite una óptima adherencia de la pintura. Teniendo en cuenta, que muchas de las pinturas protectoras son películas delgadas, es importante que en el proceso de limpieza se utilicen abrasivos de tamaño de partículas adecuadas, adecuada presión de aire, equipo, etc., para así obtener superficies satisfactorias.

Existen 3 métodos específicos que pueden ser usados para acelerar y descargar el abrasivo desde el equipo contra una superficie:

- a) Descargando el abrasivo en una corriente de gas a alta presión (tal como aire).
- b) Descargando el abrasivo en una corriente de líquido a alta presión (tal como agua).
- c) Descargando el abrasivo centrífugamente desde la periferia de una rueda rotatoria con aspas viajando a una velocidad periférica alta.

Los dos primeros métodos, los cuales utilizan un fluido para transportar el abrasivo emplean una serie de boquillas para el trabajo de limpieza, mientras que el tercer método general de limpieza por chorro de abrasivo se basa en una rueda con aspas girando a alta velocidad de la que se desprenden las partículas de abrasivo.

Los métodos de limpieza con chorro de abrasivo por medio de boquilla se pueden subclasificar como:

1. De presión Directa.- Donde el abrasivo es suministrado de un tanque a presión.
2. De gravedad.- El abrasivo es alimentado al sistema -- por gravedad.
3. De succión.- El abrasivo es transportado por la succión creada por el medio fluido pasando a través de una boquilla.

El proceso de limpieza a presión directa puede ser continuo e intermitente dependiendo del tipo de tanque de presión y su método de recargado.

En las operaciones de limpieza por chorro de abrasivo, la velocidad de impacto del abrasivo contra el metal debe corresponder a su más efectivo nivel de abrasión, el cual depende del tamaño de partícula, forma y dureza de la partícula y su velocidad de desintegración por impacto. Por ejemplo, la arena con una alta velocidad de desintegración por impacto hará su mejor trabajo cuando sea usada a una presión más baja que la que sería recomendada cuando se estuviera usando algún abrasivo metálico.

ABRASIVOS PARA LIMPIEZA POR SOPLETEADO

La clave para obtener relaciones de limpieza por sopleteado económicas se localiza en la selección y uso apropiado del abrasivo. En la actualidad, se ha experimentado un desarrollo dirigido a la implementación y uso de nuevos tipos de abrasivo para ser usados junto con la arena en las operaciones de limpieza tanto a nivel de taller como para trabajo de campo. En este último caso, el uso de la arena es todavía más económica ya que la recuperación de los abrasivos más caros sería difícil y costoso, y una operación para que resulte económica requiere que los abrasivos que son usados puedan ser recirculados extensivamente. Otro factor importante en las tendencias de desarrollo encaminadas al uso de abrasivos sintéticos o metálicos, es el riesgo asociado con el sopleteo con arena, que aún cuando dichos riesgos pueden ser eliminados a través del uso de ventilación apropiada y equipo de protección adecuado para los trabajadores no ha suprimido los temores asociados con el término SILICOSIS.

- Existen cuatro clasificaciones generales de abrasivos que son usados en operaciones de sopleteo:

- Metálicos.
- Silíceos, que contienen sílica libre (arena).
- Sintéticos, no-metálicos y no conteniendo sílica libre.
- Agrícolas (tales como cáscara de nuez, vaina de maíz, etc.)

Cuando se trata de limpieza por sopleteado de acero estructural, únicamente los tres primeros materiales son usados. Los abrasivos metálicos deben ser usados de tal manera que no sean expuestos a un ambiente corrosivo.-- Ellos están, por tanto, principalmente limitados a condiciones atmosféricas protegidas o trabajos en interiores. Debido a su alto costo inicial, la recirculación de los abrasivos metálicos es un pre-requisito para la economía. Dependiendo de la forma y el tipo de abrasivo metálico, pueden ser recirculados de 50 a 5,000 veces antes que ellos se desintegren hasta el punto donde no son ya efectivos.

La arena y abrasivos sintéticos pueden ser usados en -- operaciones de sopleteado interiores y exteriores bajo condiciones de humedad variadas. Debido a la mayor generación de polvo con estos dos materiales, son generalmente empleados donde el riesgo de polvo no tendrá efectos nocivos sobre los trabajadores o la maquinaria en el lugar de la operación de limpieza. Los motores, engranes, conexiones o cualquiera otra parte y equipo que puedan ser dañados por las partículas de polvo que se desprenden, deben ser adecuadamente cubiertas de antemano. Los trabajadores localizados cerca de la operación de -- sopleteado deben protegerse con ropas apropiadas de seguridad, goggles, casco y de ser posible con mascarillas para suministro de aire fresco. Los operadores -- del soplete (boquilla) deben usar ropas de seguridad especialmente diseñadas para este trabajo con suministro de aire fresco incorporado.

La arena y los abrasivos sintéticos deben probarse por su velocidad de desintegración al impacto. Aún el mejor de estos dos abrasivos mostrará una velocidad de desintegración al impacto mucho mayor que la que se espere con cualquiera de los abrasivos metálicos. Su bajo costo inicial puede hacerlos económicos para compensar las altas pérdidas que se tienen durante el sopleteado. En la mayoría de las operaciones no se hace el intento para recuperar la arena; el abrasivo sintético, sin embargo, es generalmente mucho más caro que la arena y, --

por tanto, la recuperación es esencial para hacer su uso económico. Otra ventaja es el hecho de que los abrasivos sintéticos no contienen sílica libre, por tanto, el riesgo de silicosis el cual está siempre presente con la arena, es eliminado totalmente cuando ellos son usados. Además, ha sido observado que los abrasivos sintéticos revelan imperfecciones de la superficie más claramente que la arena.

Debe hacerse notar también, que debido a la desintegración por impacto de la arena y los abrasivos sintéticos debe tenerse cuidado de chequearse la presencia de polvo sobre una superficie sopleteada y si hay una cantidad excesiva de polvo presente se sugiere que la superficie reciba una operación de limpieza final ya sea con una corriente de aire o un cepillo.

SELECCION DE ABRASIVOS

Los diversos tipos de abrasivos que se usan se comportan de manera diferente y producen acabados característicos y diferentes. El diseño o perfil resultante del sopleteado, es extremadamente importante por el efecto que tienen sobre el revestimiento. Si la superficie es demasiado tersa o pulida no habrá el suficiente "anclaje" para el revestimiento. Por otra parte, si la superficie es demasiado áspera, pueden resaltar puntos agudos de la superficie metálica sobre el recubrimiento y quedar sin protección.

La selección del abrasivo a ser usado no puede ser hecha al azar, debe estar gobernada por la consideración de las variables que puedan ser encontradas. Algunos de los factores importantes que ayudan a determinar los abrasivos a ser usados son:

- Tipo de metal a ser limpiado.
- Forma de la estructura.
- Condición original de la superficie (cantidad de trabajo requerido).
- Naturaleza de los residuos a ser removidos.
- El acabado de superficie deseado y el espesor final de película del sistema de recubrimiento.
- Pérdida de abrasivo.

- Velocidad de desintegración por impacto del abrasivo.
- Costo de recuperación del abrasivo.
- Riesgos asociados con el uso del abrasivo.

Todos los abrasivos usados para sopleteado pueden clasificarse dentro de tres categorías en base a su forma, - en contraste a la clasificación previa, la cual está basada en el material en sí.

- Perdigones.- Los cuales son esféricos o cercanamente esféricos y son producidos ya sea accidentalmente como un subproducto en alguna de nuestras operaciones industriales o intencionalmente producidos para ser empleados en operaciones de limpieza por sopleteado. El sopleteo con perdigones es relativamente poco eficaz porque las partículas son esféricas y tienden a martillar la materia extraña en la superficie, sin quitarla. La limpieza con perdigones de acero o hierro tiene una ventaja especial cuando depósitos pesados y frágiles deben ser removidos de una superficie metálica, ya que martillan y pican la superficie más activamente que como lo harían cualesquiera de las otras dos clasificaciones. - Cuando se ha seleccionado limpieza por sopleteo con perdigones, debe tenerse mucho cuidado con la selección -- del tamaño de partícula, ya que los perdigones proporcionan una fuerza total de choque contra la superficie que podría, picar, deformar y hasta perforar la misma. - Además, los perdigones ofrecen la ventaja de que ellos rebotan en áreas cerradas, de tal forma que la energía total puede ser gastada por una multiplicidad de impactos, los cuales ordinariamente no son posibles con una partícula angular o cortante. La selección de la limpieza por sopleteado con perdigones debe seleccionarse teniendo en cuenta la fuerza del impacto producido -- por los mismos en todas y cada una de sus dimensiones, - para así determinar si la superficie a limpiar es capaz de soportar y absorber los estiramientos producidos por los impactos por compresión del mismo metal. El uso de perdigones no se recomienda para superficies metálicas de bajos espesores, ya que produce un alargamiento (deformación) más pronunciado.

- Abrasivos semi-cortantes.- Estos abrasivos pueden -- ser de origen natural o manufacturado; prácticamente toda la arena también como algo de los perdigones son parte de esta categoría después de que han estado en uso -- por un período corto de tiempo. En esta segunda categoría de la clasificación se va a tratar básicamente el -

abrasivo de tipo metálico ya que la tercera categoría - está reservada para la arena. Estos abrasivos consisten en fragmentos angulares, duros con brotes cortantes, básicamente de acero y de fierro colado, aunque se emplea también granalla de zinc, partículas de cobre, - - bronce, etc. Estos abrasivos, tienen algunas ventajas sobre la arena: produce menos polvo, corta más rápidamente y puede recuperarse para uso posterior. Su desventaja es su mayor costo y que tiende a dejar demasiado áspera la superficie. El abrasivo grueso cortará -- profundamente la superficie, dejando puntos salientes - del metal. Al aplicar el recubrimiento, éste tiende a escurrirse de estas puntas, dejándolas al descubierto, - por lo que se requieren varias manos extras para obtener una película satisfactoria sobre una superficie semejante. Por otra parte, este tipo de abrasivo presenta el problema de sólo poder usarse en condiciones libres de humedad, ya que si es usado durante largo tiempo en condiciones de humedad no controlada puede llegar a oxidarse, y en tales condiciones en lugar de limpiar la superficie sopleteada, la contaminará. Este tipo de abrasivo se conoce como gravilla metálica.

- Arena.- Debido a su bajo costo y la facilidad con -- que se puede obtener, es el abrasivo más ampliamente -- usado. Se puede obtener en una gran variedad de grados y tamaño de partículas, desde 8 mallas hasta granos muy finos que pasan un tamiz de 80 mallas. En términos generales, la arena no debe ser mayor de 16 mallas o tenderá a martillar la superficie y no podrá alcanzar las pequeñas depresiones.

En términos generales, los granos grandes no limpiarán tan rápido como los pequeños, aunque, naturalmente, - - existe un límite en lo que respecta a la pequeñez de - los granos.

Es también importante usar una arena dura que no produzca excesivo polvo, arena sucia y aún ciertos tipos de - arena limpia rompen al chocar con la superficie y producen gran cantidad de polvo, lo cual no sólo entorpece -- la visión mientras se trabaja, sino que genera trabajo extra para quitar el polvo después del sopleteado aparte del daño que ocasiona a las partes y equipo que se - localizan en el área de trabajo. Esto origina que la - calidad de la limpieza sea inferior. El tipo más eficiente de arena para sopleteado y, por consiguiente, el más económico es el pedernal graduado o una buena arena sílica.

De las descripciones anteriores se puede observar rápidamente que la velocidad de producción, las condiciones finales producidas y la variación en el perfil del anclaje de la superficie, están ampliamente influenciados por la selección del abrasivo para sopleteo. Por tanto considerable énfasis debe ser puesto sobre los requerimientos de anclaje del recubrimiento a ser aplicado, - también como del espesor de la película final del sistema de recubrimiento.

Los efectos producidos con los diversos abrasivos, pueden obtenerse desde un corte profundo a una inmersión - muy fina. El primer paso en la selección del abrasivo - correcto es determinar qué materiales abrasivos hay para escoger, así como los efectos que estos materiales - tienen sobre el método de limpieza. El segundo paso es considerar las formas y tamaños de las partículas abrasivas, así como los efectos de la dimensión sobre la acción de limpieza por parte de la partícula. El tercer - paso, es considerar los costos combinados de abrasivos, uso de equipo y labor por metro cuadrado de limpieza. - Estos factores costosos, también incluirían los requerimientos de tiempo, posibilidad de recuperación del abrasivo y el costo de la eliminación del polvo (especialmente para el caso de que se use arena) y riesgos de -- operación. Finalmente, es también de mucha utilidad revisar las aplicaciones específicas típicas de los varios abrasivos y las razones para su elección en cada - caso.

Los abrasivos más comúnmente usados se encuentran en listados en la siguiente tabla:

TABLA (XXV)

METALICOS

Perdigones de acero
 Perdigones de hierro
 Perdigones de cobre
 Perdigones de bronce
 Perdigones de aluminio
 Acero triturado (gravilla)
 Alambre de acero dividido
 Arenas de fierro, acero, etc.
 Gravilla de fierro maleable
 Gravilla de fierro colado templado.

SINTETICOS

(no metálicos, libras de sílica)
 Oxido de aluminio
 Carburo de silicio
 Chatarra de refractario
 Lana de roca

AGRICOLAS

Cáscara de coco
 Cáscara de nuez negra
 Vainas de arroz
 Granos de maíz
 etc.

SILICOSOS

Granate
 Cuarzo
 Sílica
 Roca desintegrada.

En las cuatro columnas existen materiales que presentan una mayor dureza que los otros, por ejemplo: sobre la escala Rockwell el fierro colado templado tiene una dureza de 62, el fierro maleable de 37 y el acero colado de 47. Sobre la escala de Moh, el carburo de silicio proporciona 9.6 de dureza, mientras que el óxido de aluminio proporciona 9.2 para los abrasivos naturales (también sobre la escala de Moh), el granate valora 8.0, -- mientras que el cuarzo y la sílica registran ambos 7.0.

Los abrasivos duros, cortan más rápido y más profundo y por esa razón el fierro colado templado, el acero colado, el fierro maleable y los varios abrasivos naturales duros son usados para remover escoria de laminación y otros depósitos de superficie duros. La dureza no debe ser confundida con la tenacidad; algunos de los abrasivos más duros tienen altas velocidades de ruptura (desintegración) por impacto, debido a su fragilidad. Pero, a pesar de la acción más rápida de limpieza de las partículas más duras, solamente las suficientemente blandas que no se encajan en el metal deben usarse ya que si las partículas de abrasivo se alojan en el trabajo pueden dañarlo, además, de que dañan las máquinas y herramientas de trabajo.

En cuanto al tamaño de la partícula del abrasivo, es -- creencia general que los abrasivos más grandes son más rápidos en la limpieza. Esto es una falacia. Se ha encontrado que los tamaños más finos de abrasivos tienen una velocidad de limpieza alta y que dicha velocidad se incrementa conforme al tamaño de partícula decrece, y existe un punto finalmente alcanzado por cada abrasivo donde el tamaño de partícula llega a ser tan pequeño -- que se desarrolla un efecto de ablandamiento y la eficiencia de limpieza decrece.

La Steel Structures Painting Council realizó una serie de pruebas para determinar la relación existente entre el tamaño de partícula del abrasivo y la velocidad de limpieza. Los datos obtenidos de las diferentes velocidades de limpieza por la variación del tamaño de partí-

cula con diferentes tipos de abrasivos son mostrados a-
continuación:

TABLA (XXVI)

<u>ABRASIVO</u>	<u>TAMAÑO MAXIMO DE LAS PARTICULAS</u>	<u>VELOCIDAD DE LIMPIEZA EN ft/min.</u>
Arena sílica de Otawa	80 mallas	2.14
Gravilla de fie- rro triturado	25 mallas (nueva)	1.56
Gravilla de fie- rro triturado	18 mallas (nueva)	1.09
Gravilla de fie- rro triturado	10% -18 mallas 90% -25 mallas	1.28
Gravilla de fie- rro triturado	10% -16 mallas 90% -18 mallas	1.05
Gravilla de fie- rro triturado	10% -12 mallas 90% -16 mallas	0.90
Gravilla de fie- rro triturado	16 mallas (nuevos)	0.66
Perdigones de -- fierro colado	18 mallas	0.78
Perdigones de -- fierro colado	16 mallas (nuevos)	0.72
Perdigones de -- fierro colado	14 mallas (nuevos)	0.67
Gravilla de fie- rro triturado	12 mallas (nueva)	0.48

NOTA: En ningún caso, el tamaño de partícula fue dismi-
nuido al punto donde resulta cierto que el efec-
to de ablandamiento disminuye la velocidad de la
limpieza.

Los resultados de las pruebas arriba anotados fueron ob-
tenidos en operaciones de limpieza por sopleteo a pre-
sión directa usando una presión de aire de 80 psig. y -
una boquilla de 5/16 de pulgada de diámetro sobre super-
ficies planas.

En la práctica, la velocidad de limpieza puede depender
de otros factores tales como la remoción de contaminan-
tes de hilos de soldadura, juntas, esquinas, etc.

El efecto del tipo de abrasivo usado en las operaciones de limpieza sobre el perfil de anclaje producido, fue también estudiado cuidadosamente por la Steel Structures Painting Council y los resultados obtenidos en sus pruebas utilizando equipo para sopleteado comercial (común) y abrasivos nuevos fueron:

TABLA (XXVII)

ABRASIVO	TAMAÑO MAXIMO DE LAS PARTICULAS	PROFUNDIDAD MAXIMA DEL PERFIL (milésimas de pulgada)
Arena muy fina	80 mallas	1.5
Arena fina	40 mallas	1.9
Arena mediana	18 mallas	2.5
Arena gruesa	12 mallas	2.8
Gravilla de acero #G-50	25 mallas	3.3
Gravilla de acero #G-40	18 mallas	3.6
Gravilla de acero #G-25	16 mallas	4.0
Gravilla de acero #G-16	12 mallas	8.0
Perdigón de hierro #S-230	18 mallas	3.0
Perdigón de hierro #S-330	16 mallas	3.3
Perdigón de hierro #S-390	14 mallas	3.6
Escoria de metales triturados	80 mallas (aprox.)	1.3

NOTA: Estos resultados fueron obtenidos por sopleteo a presión directa de placas de acero empleando una presión de aire de 80 psig. y una boquilla de 5/16 de pulgada de diámetro.

En cuanto a los abrasivos agrícolas, ha sido demostrado que sirven particularmente bien en la limpieza de grasa, aceite, tizne y material similar de partes terminadas y equipo ensamblado. Este tipo de abrasivos resultan a menudo menos caros que los solventes empleados para la limpieza de los contaminantes arriba mencionados. La

habilidad absorbente de las partículas, da un efecto similar a la limpieza por enjuague en inmersión. Los abrasivos más comunes son pedazos de madera dura en forma de cubos pequeños, cáscara de nuez y coco y granos de maíz. Varios grados de abrasividad pueden ser obtenidos mezclando una partícula agrícola blanda con una más dura.

En la actualidad, el abrasivo más ampliamente usado en operaciones de campo es ARENA. Cuando se usa arena, es muy importante el conocimiento de las características específicas del abrasivo para llevar a cabo la operación de sopleteo tan económica como sea posible. Por ejemplo, algunas arenas son conocidas por tener una velocidad de desintegración por impacto tan baja como 5%, lo cual indica extrema dureza y tenacidad.

La arena deberá estar completamente seca para poder usarse, a menos que esté siendo usado sopleteo húmedo o con vapor. Para el secado de la arena se emplean grandes estufas y hornos.

Las impurezas o inclusiones en materiales de sopleteo son indeseables, pero desgraciadamente prevalecen. Ellas causarán una película o depósito que se pega a la superficie, el cual debe ser removido a través de la parte más eficiente del abrasivo para producir una superficie limpia. Cualquier abrasivo de alta velocidad de desintegración por impacto tiene también otro subproducto llamado POLVO. El polvo de la operación de sopleteo usando abrasivos silicosos tiene otra desventaja debido a que un porcentaje considerable de sílica libre está presente. La sílica libre ha sido encontrada extremadamente peligrosa constituyendo un verdadero peligro al operador, ya que depósitos de sílica se alojarán por sí mismos dentro de los pulmones y otros órganos respiratorios del operador provocando así serios y permanentes daños. Por esta razón, un número de nuevos abrasivos sintéticos han sido desarrollados, los cuales tienen la ventaja adicional de que no está presente sílica libre. Estos abrasivos están representados por el óxido de aluminio (el cual es muy costoso) y escoria triturada (que se obtiene a un costo relativamente más bajo).

SISTEMAS DE RECUPERACION DEL ABRASIVO

El sistema de recuperación de los abrasivos empleados en operaciones de limpieza por sopleteo varía ampliamente. La arena y

algunos materiales sintéticos pueden adquirirse por una cantidad de aproximadamente \$350.00 por tonelada, mientras que algunos de los abrasivos metálicos de alto grado pueden costar tanto como \$12,000.00 por tonelada. Ahora bien, algunos de los abrasivos de bajo costo pueden tener que ser embarcados en ocasiones a distancias considerables y el costo del flete puede a menudo exceder el costo del abrasivo. Teniendo en mente este amplio costo diferencial y los problemas de la falta de un proveedor local de abrasivos adecuados, es fácilmente observable la necesidad de recircular y recuperar el abrasivo tanto como sea posible principalmente en el caso de los abrasivos que tienen un alto costo.

La economía de re-uso o recirculación de los abrasivos debe estar siempre fija en la mente. Los abrasivos metálicos son usados principalmente sobre proyectos donde las condiciones de humedad y corrosión lo permitan y la recuperación de ellos es una parte esencial de la operación. Estos materiales son perfectamente seleccionados y limpiados de toda materia contaminante antes de ser retornados a la máquina de sopleteado.

Existen básicamente tres métodos de recuperación del abrasivo:

- Pasando el abrasivo a ser recuperado por una serie de cribas (tamices).- En este método, son usados dos tamaños de cribas para establecer límites; la criba superior es más abierta y su función es eliminar material muy grande que haya sido juntado en la operación de recuperación, tal como escoria de hilos de soldadura, fragmentos de varilla, etc. Es recomendable mantener la abertura de la criba tan pequeña como el tamaño de partícula máximo permisible (en la práctica, el tamaño mínimo de abertura que es recomendable es de aproximadamente 1/4 de pulgada ya que aberturas más pequeñas taponan y limitan severamente la velocidad de la maniobra). Esta criba es algunas veces un plato perforado con hoyos de 1/4 de pulgada de diámetro. El material que pasa a través de la criba superior cae sobre la criba del fondo o límite inferior - en donde el polvo y las partículas muy pequeñas pasan a través de ella y el abrasivo a ser re-usado queda sobre la misma y es colectado junto con una pequeña porción de partículas pequeñas.

La operación puede llevarse a cabo mecánicamente usando transportadores mecánicos o neumáticos para llevar el abrasivo hasta la criba superior y permitiéndole -

que fluya por gravedad, o puede ser llevada a cabo manualmente, en este caso el material se arroja directamente sobre la criba fina, sobre la cual es colectado el material de tamaño más grande, el cual es retornado a la máquina de sopleteado sobre la tolva de la -- cual previamente ha sido colocada la criba más grande para retener todas las partículas demasiado grandes, -- o sea que el proceso de carga de la máquina sirve también como un proceso de cribado o selección del abrasivo. Siendo que un sub-producto común de cualquier operación de sopleteado es el polvo, equipo de separación y extracción de polvo viene a ser necesario, junto con el equipo de cribado o cernido.

- Otro método para recuperación de abrasivos utiliza un sistema de separación de CRIBA-AEREADA.- Este método consiste en distribuir el abrasivo sobre una placa amplia, la cual es pasada a través de una corriente de aire de una velocidad pre-determinada. El abrasivo -- usable es transportado por el aire hasta una cierta -- distancia del borde de la placa, donde se halla colocado a un nivel un poco más bajo de la placa un canal o vertedero colector, donde se va acumulando el abrasivo que será recargado a la máquina de sopleteado. -- Las partículas de tamaño pequeño son llevadas lejos -- de la placa por la corriente de aire que es usada como medio de separación. En cuanto a las partículas -- más pesadas, éstas por lo general no son removidas de la placa aunque en algunos casos al ser pasadas a través de la corriente de aire viajan una cierta distancia, pero no la suficiente para ser atrapadas por el canal colector.

Este sistema de separación por aire es adecuado para cualquier tipo de material abrasivo, aunque los resultados finales no son lo bastante satisfactorios como los obtenidos con un sistema de separación por tamizado; sin embargo, es adecuado para la mayoría de las -- operaciones comerciales. Para este sistema de separación, son necesarios colectores de polvo para atrapar las partículas finas y separarlas del aire.

- El otro método de separación o recuperación de materiales abrasivos para ser usados en operaciones de sopleteado consiste en pasar el material a través de un lavabo con agua en el cual la mayor parte del polvo y partículas finas son separadas de las partículas gruesas por inundación en un vertedero. El tamaño grande y pesado es depositado en el fondo del recuperador húmedo debido a su mayor peso. Reduciendo la velocidad

de inundación del agua el material es acarreado fuera del recuperador por medio de un transportador o una pala y llevado a un horno para su secado, de esta manera el material estará listo para ser re-usado. La separación final puede ser completada por una serie de tamizados en la descarga final del horno. Este sistema es adecuado solamente para materiales NO-CORROSIVOS, por tanto los abrasivos metálicos como hierro y acero no son adecuados para este sistema de recuperación. El sistema es bastante simple e involucra equipo barato; el costo de recuperación previendo que el material a ser recuperado no tiene que ser transportado una distancia considerable desde donde se lleva a cabo esta operación.

Se ha encontrado que el sistema de recuperación húmedo es muy efectivo en la reducción del polvo total que puede ser producido por una operación seca de material sopleteado. Sin embargo, la mayoría de los sistemas de recuperación actuales son sistemas secos.

OPERACIONES Y EQUIPO PARA LIMPIEZA POR SOPLETEADO

El equipo a ser usado en operaciones de limpieza por sopleteado puede dividirse en dos tipos en base al medio-empleado para impartir energía cinética de movimiento a las partículas que chocarán a muy alta velocidad contra la superficie a ser limpiada:

- Equipo para limpieza por sopleteo con boquilla.- Este tipo de equipo utiliza un fluido para impartir energía cinética a las partículas. A su vez, este tipo puede subdividirse en:
 - a) Equipo que descarga el abrasivo en una corriente de gas (aire) a alta presión.
 - b) Equipo que descarga el abrasivo en una corriente de líquido (agua) a alta presión. Este tipo de equipo encuentra muy poco uso en operaciones de limpieza (en la República Mexicana definitivamente no se usa) debido a los problemas que origina el estancamiento del agua en las zonas de limpieza; la principal ventaja de este tipo de limpieza consiste en eliminar totalmente la producción de polvo, lo cual logra perfectamente a cambio de originar otro problema en algunos casos más graves. Este tipo de limpieza presenta además el problema de suministro de agua a muy alta presión lo que en la mayor parte de las zonas del campo es-

muy difícil y hasta imposible lograr. Satisfactorios resultados prácticos han demostrado que empleando un sistema de sopleteo húmedo (que posteriormente será visto) se pueden eliminar totalmente los problemas de polvo característicos de las operaciones secas, sin recurrir al empleo de operaciones que involucren equipo que descargue el abrasivo en una corriente de líquido a alta presión.

- a) Equipo que transmite energía cinética a las partículas por medio de una corriente de gas (aire) a alta presión.- Existen tres tipos de unidades de limpieza por sopleteo que utilizan un gas a alta presión para descargar las partículas sobre las superficies a ser limpiadas, las cuales se diferencian entre sí por el tipo de alimentación del abrasivo.
- b) Alimentación a presión directa.- Para esta operación se requiere un tanque que esté sometido a una presión constante durante la operación de sopleteado. El abrasivo es alimentado a presión desde el orificio de salida del fondo del tanque donde la corriente del gas (aire) para el sopleteo lo encuentra y lleva hasta la boquilla. Este es el sistema más comúnmente usado en la actualidad, ya que ofrece muchas ventajas sobre los otros dos tipos de unidades (alimentación por gravedad y alimentación por succión). Este sistema generalmente produce buen control del flujo de arena y velocidad de sopleteado. La operación de este equipo para sopleteo de alimentación a presión directa es muy sencilla y puede resumirse de la siguiente manera: el abrasivo es almacenado en un tanque a presión, dicha presión que es producida por el medio fluido que proporcionará a las partículas la energía cinética necesaria y que en este caso es aire comprimido, es mantenida a lo largo de todo el sistema hasta la garganta de la boquilla. Dicha presión se mantiene constantemente sobre la superficie del abrasivo, el cual fluye desde el fondo del tanque presurizado a través de una válvula reguladora dentro de una cámara de mezclado donde la corriente de aire recoge el abrasivo (en una cantidad determinada regida por la válvula reguladora) y lo lleva hasta la boquilla.

La operación de limpieza con este tipo de equipo puede ser intermitente o continua dependiendo del diseño del tanque utilizado. Estos depósitos son fabricados con una o dos cámaras almacenadoras de abrasivos; si es utilizado el tanque con una sola cámara la operación será intermitente y si se utiliza el de dos cámaras la operación será continua.

La operación de limpieza se denomina intermitente porque debe ser interrumpida cada vez que el abrasivo contenido en la única cámara del tanque se termine y haya necesidad de rellenarlo; para que el tanque pueda ser rellenado debe eliminarse el suministro de aire para, de esta manera, descargar la presión del interior del tanque. -- Cuando ha sido colocada suficiente cantidad de abrasivo dentro del tanque, éste es nuevamente cerrado e inmediatamente se acciona la válvula de suministro de aire para presurizar nuevamente el sistema. Realizada esta maniobra el equipo queda listo para ser usado nuevamente.

Para eliminar las interrupciones costosas ocasionadas -- por la operación de equipo de limpieza de tipo intermitente han sido construídas máquinas para sopleteo adecuadas para operaciones continuas o ininterrumpidas, las -- cuales utilizan un tanque con doble cámara contenedora -- de abrasivo y mientras que el abrasivo que está siendo -- usado en las operaciones de limpieza por sopleteo fluye -- desde la cámara de almacenaje colocada en la parte infe -- rior de la máquina durante la operación de limpieza, el -- contenedor de la parte superior está siendo llenado. -- Una vez que la cámara superior ha sido llenada, se cie -- rra y la presión del aire es dirigida sobre él, la cual -- sella y mantiene el compartimiento a la presión total. En este punto, la válvula comunicante de los dos compa -- rtimentos se abre debido al peso del abrasivo y a la pre -- sión detrás de él y el abrasivo llena la cámara o compa -- rtimento inferior se abre debido al peso del abrasivo. -- Cuando el compartimento inferior es llenado el suminis -- tro de aire en la cámara superior es cortado poniéndola -- así fuera de servicio y lista para ser llenada nuevamen -- te. La operación puede ser controlada por varios tipos -- de mecanismos reguladores de tiempo mecánicos o eléctri -- cos o manualmente. El resultado neto es un suministro -- continuo de abrasivo en la cámara o compartimento infe -- rior, de tal forma que las operaciones de limpieza por -- sopleteado pueden ser conducidas continua y eficientemen -- te.

FIGURA (20)

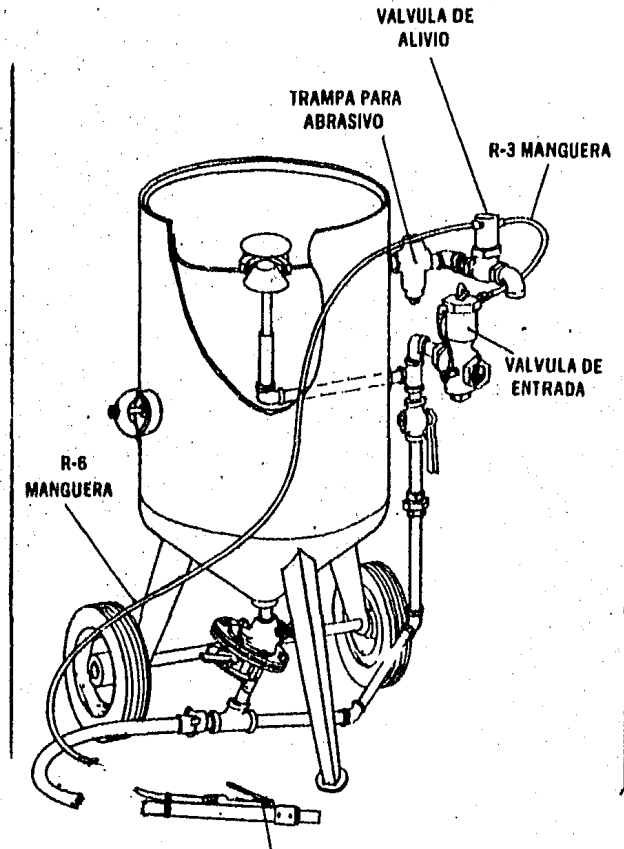


Fig. (20). Vista interna y externa de un tanque para sopleteo de abrasivo del tipo intermitente. (La olla únicamente tiene 1 cámara almacenadora de abrasivo).

2) Alimentación por succión..- La simplicidad de construcción y diseño del equipo de alimentación por succión ha conducido a su uso continuado particularmente en pequeñas aplicaciones.

El equipo opera debido a un vacío que es creado por el aire comprimido pasando a través de una pequeña boquilla en la pistola de succión dentro de una cámara de inducción antes de pasar a través de la boquilla más grande.- La cámara de inducción está conectada por medio de una manguera de material adecuado a la fuente de abrasivo, desde la cual el abrasivo es empujado hasta la pistola de sopleteado a través de la manguera de alimentación --

por la succión creada en la cámara de inducción por el chorro de aire comprimido pasando a través de una boquilla pequeña a alta velocidad. Conforme la presión del aire sobre la boquilla pequeña disminuye, la succión del abrasivo disminuye casi proporcionalmente.

La cantidad de abrasivo que es aspirado dentro del equipo depende del vacío creado, el levantamiento requerido (distancia a la que hay que elevar el abrasivo) y el tipo de abrasivo. Debido a la cantidad limitada de vacío que puede ser creado por el chorro de aire, la elevación de la succión es limitada.

La figura (20) ilustra el principio de operación de este tipo de equipo; el aire comprimido pasando a través de la pequeña boquilla y creando un vacío.

En este tipo de equipo, basta con mover la posición de la manguera en la tolva o fuente del abrasivo hacia adelante o hacia atrás para variar la recolección del abrasivo hasta que la condición más satisfactoria de operación es alcanzada.

Este tipo de equipo es tan simple que basta con comprar la boquilla para sopleteo por succión y conectarla por medio de mangueras de material adecuado a una fuente de aire y a un recipiente con abrasivo. Ahora bien, así como este tipo de equipo tiene la ventaja de ser muy económico y sencillo, posee una desventaja en lo que se refiere a la inefectiva alimentación de abrasivos a la corriente de sopleteo y consecuentemente deficiencia del patrón de limpieza y costo de la misma. Sin embargo, si el abrasivo a ser usado se encuentra perfectamente seco y limpio además de bien tamizado la operación puede resultar económica.

Resultados prácticos han demostrado que para la fabricación de una boquilla para sopleteo por succión, el diámetro (D) de la boquilla por donde sale el abrasivo debe ser de $2 \frac{1}{4}$ a $2 \frac{1}{2}$ veces el diámetro de la boquilla por donde pasa el chorro de aire para crear el vacío de succión (d). La línea de alimentación del abrasivo deberá tener un diámetro de aproximadamente 3 a 4 veces el diámetro de la boquilla más pequeña por donde pasa el chorro de aire para crear el vacío de succión.

Las siguientes combinaciones de diámetros para boquillas de salida de abrasivo y boquilla para el paso del chorro de aire para pistolas de sopleteo por succión son consideradas estándar y muy efectivas en el desarrollo de las

operaciones de limpieza:

Boquilla para salida de
abrasivos

3/8", 1/2", 5/8", 3/4"

Boquilla para el paso -
del chorro de aire

5/32", 7/32", 9/32", 5/16"

Para evitar taponamientos de la pistola se recomienda - que el tamaño máximo de partícula del abrasivo a ser usado sea de 1/3 del diámetro interno de la boquilla.

3. - Alimentación por gravedad.- El equipo de alimentación por gravedad en el aspecto estricto se atiene al flujo - del abrasivo desde una tolva o tanque de almacenamiento de abrasivo a la boquilla solamente por gravedad. El recipiente que contiene al abrasivo se encuentra colocado en un plano superior a la boquilla para sopleteado.

Este equipo puede ser fácilmente improvisado utilizando el equipo de alimentación por succión convencional y elevando el suministro de abrasivo a un nivel arriba de la boquilla. En este caso el efecto de aceleración producido por la succión puede ser de valor en el incremento de la alimentación del abrasivo en adición al de la grevedad. Un control de la alimentación puede ser necesario para prevenir bloqueo de la línea de alimentación debido a la cantidad excesiva de abrasivo.

b.- EQUIPO DE LIMPIEZA PARA SOPLETEO HUMEDO

El tipo de operación conocido como sopleteo húmedo es - usado en algunos lugares para eliminar el polvo producido por la operación de sopleteado normal, esto es con -- abrasivos secos. El sopleteo húmedo puede ser clasificado bajo tres sistemas específicos:

- 1) Un proceso donde el agua con o sin alguna solución in-
hibidora de herrumbre es mezclada con la arena para so
pleteo directamente en el tanque a presión.- Generalmente, 15 galones de agua por tonelada de arena son suficientes para humedecer completamente el abrasivo para el sopleteado húmedo. Una solución inhibidora acuosa que ha sido encontrada satisfactoria se hace por la adición de aproximadamente dos libras de una mezcla hecha en proporción de 4 a 1 en peso de fosfato de am--onio y nitrito de sodio a una carga de tanque normal de arena previamente mezclada con los 15 galones de agua.

La arena y la solución acuosa cuando son mezclados de esta manera, deben ser usados tan rápidamente como sea posible.

Una vez que la operación de limpieza de una superficie - hecha con este proceso ha sido terminada, la superficie - debe ser lavada con una corriente de agua limpia para -- eliminar de la superficie la arena que se haya quedado - pegada, así como otros residuos contaminantes solubles.- En muchos casos, resulta más económico llevar a cabo la - operación de sopleteado empleando únicamente agua y se-- guir inmediatamente con un lavado completo con agua lim- pia a fin de eliminar de la superficie toda la arena y - sustancias contaminantes para terminar con un lavado con solución inhibidora. En esta forma la operación puede -- llegar a ser menos costosa que cuando el inhibidor es -- mezclado directamente dentro del tanque para sopleteo. - La cantidad de inhibidor usada directamente como un tra- tamiento separado, generalmente alcanza para tratar de - 10 a 12 veces el área que cuando el inhibidor es mezcla- do con la arena de sopleteado.

El tratamiento inhibidor no necesariamente tiene que ser formulado con los productos químicos indicados anterior- mente. Muy buena experiencia ha sido reportada con solu- ciones acuosas conteniendo aproximadamente el 0.2% en pe- so de cualquiera de los siguientes productos químicos:

Acido crómico	Dicromato de sodio
Cromato de sodio	Dicromato de potasio

Si la experiencia muestra que la concentración no es lo- suficientemente alta para prevenir el herrumbramiento, - entonces la cantidad de inhibidor debe ser incrementada. Con cualquiera de las soluciones acuosas arriba menciona- das conteniendo ácido crómico o dicromatos, deben ser to- madas precauciones especiales para proteger tanto al ope- rador de las operaciones de limpieza como a la gente lo- calizada en las cercanías de la exposición continuada a- las soluciones o de la respiración de vapores de las mis- mas. También debe estar totalmente comprendido que la - protección ofrecida al metal con cualquiera de estos tra- tamientos es de muy limitada duración.

- 2) Un proceso donde el agua con o sin alguna solución in- hibidora es mezclada con la arena para el sopleteo di- rectamente a la entrada de la boquilla para sopleteado.

Con este sistema particular cualquiera de las unidades para sopleteo seco pueden ser empleadas con alguna adaptación muy ligera. Generalmente, este tipo de proceso emplea de 3 a 5 galones de mezcla inhibidora. Este método de eliminación de polvo no es tan efectivo como el indicado en el método anterior, pero en la mayoría de las operaciones es lo suficientemente completo para satisfacer la operación personal y evitar que las partículas de polvo se dispersen a una distancia considerable de la operación. Sin embargo, las partículas más pesadas no son fácilmente controladas y si se dispersaran a distancia considerable se requeriría que cualquier maquinaria o equipo sean protegidos cuidadosamente de las partículas resultantes de las operaciones de limpieza.

En esta operación, si la velocidad del agua es adecuadamente ajustada, la cantidad de tierra que se depositará sobre el metal será mínima o definitivamente nula. En efecto, el agua puede ser controlada de tal forma que el área sopleteada estará tan seca como una área que fue sopleteada en seco. En esta, como en todas las operaciones de limpieza por sopleteo húmedo es extremadamente importante eliminar el polvo que permanece sobre la superficie después que el trabajo de sopleteado ha sido completado. Esta operación puede ser llevada a cabo por cualquier medio disponible, en algunos casos es deseable lavar este polvo con agua limpia y clara y, en otros, se ha encontrado satisfactorio usar el aire limpio de la manguera de sopleteo con una boquilla especial y moverla sobre la superficie a una velocidad rápida para eliminar por medio de aire el polvo depositado sobre la superficie; para el caso de superficies relativamente lisas donde no tienen que ser removidas partículas de agujeros y grietas, puede resultar satisfactorio usar un cepillo blanco (no de alambre) para cepillar la superficie limpia antes de la aplicación de la pintura. Los requerimientos reales dependen en gran parte de la condición de la superficie, la velocidad de desintegración por impacto del material de sopleteado y de las condiciones en que se lleva a cabo la operación, esto es, en interior y exterior. En el caso de una operación interior, deben ser tomadas precauciones particulares contra las posibles enfermedades de la piel o efectos tóxicos sobre órganos respiratorios por el contacto continuo con CROMATOS.

- 3) Un proceso donde el agua con o sin alguna solución inhibidora es mezclada con la arena para el sopleteo directamente a la salida de la boquilla para sopleteado.

Los resultados obtenidos con este método son similares a los descritos en el método anterior. Los tanques y accesorios usados son los mismos que para los métodos descritos previamente. En este método, es también - - creado un vacío para meter agua al abrasivo, además se ha encontrado que puede ser usado un suministro de - - agua externo para reemplazar el tanque auxiliar.

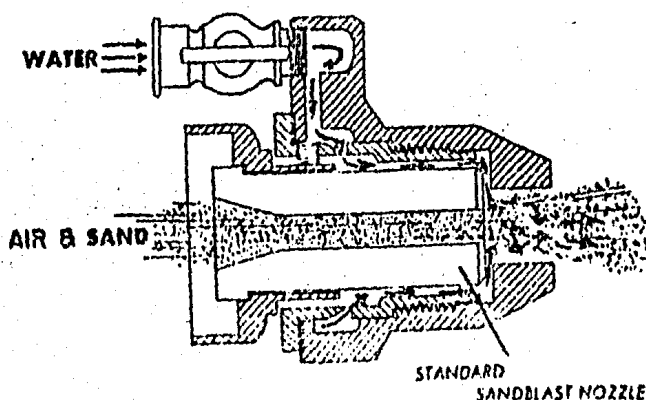


FIGURA (21)

Boquilla para sopleteo húmedo.

En el diagrama se puede observar que debido a la velocidad del aire que pasa a través de la boquilla, una acción de sifón es desarrollada, la cual se encarga de impulsar al agua a través de una válvula de control desde un tanque que puede estar de 15 a 20 pies de la boquilla.

La velocidad de producción con sistemas de sopleteado húmedo es aproximadamente igual a la de los sistemas de sopleteado seco. En algunos casos raros, uno encontrará que la remoción de recubrimientos pesados es acelerada ligeramente con equipo de sopleteado húmedo. La ventaja adicional que es ganada con la operación húmeda es la protección final temporal ofrecida al metal a través del uso de una solución inhibidora. Dependiendo de la localidad, localización y la cantidad de trabajo involucrado, el trabajo de limpieza después de una operación de sopleteo húmedo debe siempre ser adicionado al costo de una operación de sopleteado húmedo debe siempre ser adicionado al costo de una operación de sopleteado seco. Esto puede incrementar el costo de la limpieza por sopleteado húmedo de 10 a 15% sobre el costo del sopleteado seco de una estructura dada. En cuanto al equipo empleado, podemos decir que el tamaño de boquilla, manguera, presión -

de aire, etc. no varían de lo empleado en operaciones de sopleteado seco. Por tanto, el equipo empleado para operaciones de limpieza en seco puede ser empleado con ciertas modificaciones para operaciones de sopleteado húmedo.

DESCRIPCION DEL EQUIPO PARA SOPLETEADO

BOQUILLAS.- La boquilla es el corazón del equipo de limpieza por sopleteado. Ella gobierna los requerimientos de material y dirige la economía de la operación. El tamaño del equipo está basado en la boquilla a ser habilitada.

La boquilla es seleccionada sobre la base de la cantidad de trabajo que va a ser hecho, el tipo de trabajo, la cantidad de aire comprimido disponible, el tamaño del abrasivo a ser usado y el tipo de equipo con el que se va a llevar a cabo la operación de limpieza.

La eficiencia de una boquilla depende de su forma y tamaño en adición a la distancia a que es sostenida del trabajo. Entre más lejos del trabajo es sostenida la boquilla es menor la velocidad de las partículas cuando golpean la superficie y, por tanto es menor el trabajo que ellas desarrollan sobre la superficie. La selección del diámetro adecuado de boquilla tiene un efecto significativo sobre la eficiencia, ya que si es seleccionada una boquilla muy grande, una gran cantidad de potencia es desperdiciada y se lleva a cabo una operación de sopleteo indebida o inadecuada sobre la superficie. Otro factor que afecta la eficiencia de la boquilla es ocasionado por el desgaste de la misma. Las boquillas de salida se gastan rápidamente a una velocidad que depende del material que está siendo usado como abrasivo. Este desgaste de la boquilla tiene un efecto significativo sobre el patrón de sopleteo, el cual se abre pero se reduce su intensidad. Este desgaste tiene también un efecto directo sobre la cantidad de aire suministrado; la cantidad de aire que pasa a través de una boquilla depende del diámetro de la misma; la velocidad del aire pasando a través de la boquilla es casi constante y se aproxima a la velocidad del sonido; la densidad del aire pasando a través de la boquilla depende de la presión de entrada y salida y la presión sobre el final de la salida determina la cantidad de aire que el compresor debe suministrar. Cuando la boquilla se desgasta deben suministrarse cantidades más grandes de aire por parte del compresor para poder mantener la presión constante. Siendo que el tamaño de boquilla es a menudo escogido de acuerdo y, muy cerca

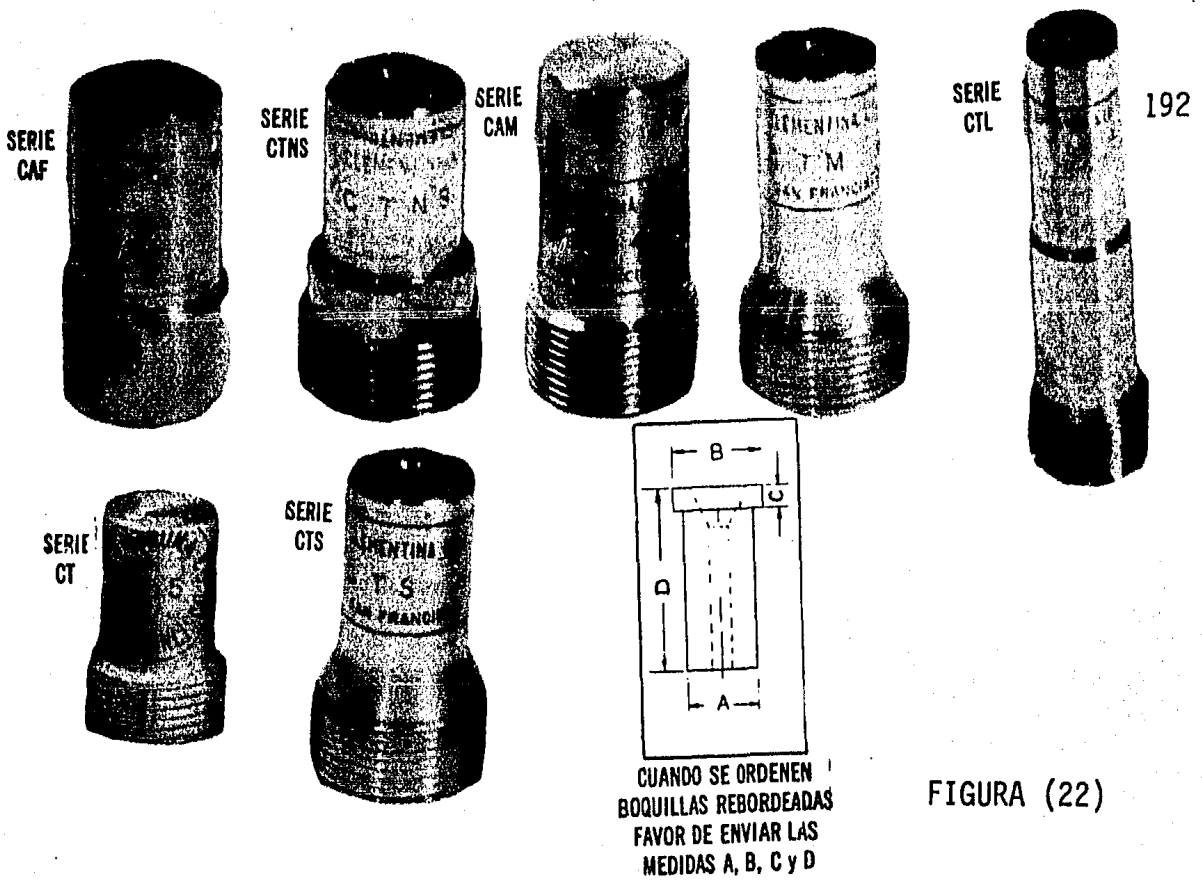
namente, a la capacidad del compresor. La presión en el final de la boquilla puede descender significativamente conforme el desgaste llega a ser excesivo. Esta caída en la presión traducida en comportamiento tiene un efecto serio sobre la eficiencia de la operación y las velocidades de limpieza que son obtenidas.

Por medio de la selección apropiada de la combinación - ABRASIVOS-BOQUILLAS, la eficiencia de la operación puede ser incrementada produciendo un efecto de una posterior-disminución en el costo. Se recomienda que el diámetro de la boquilla exceda tres veces el tamaño máximo del -- abrasivo que va a ser usado para prevenir bloqueos o taponamientos por medio del abrasivo.

De una manera general podemos decir que existen dos tipos de boquillas en base al patrón de sopleteo que proporcionan:

Boquillas de tipo de barril recto.- Son las boquillas - más comunes, motivo por el cual se conocen en el mercado como boquillas convencionales. Este tipo de boquillas - está disponible en el mercado en una muy amplia gama de diámetros de orificio de salida, cada uno de los cuales tiene una aplicación específica. Se caracterizan porque proporcionan un patrón de sopleteo concentrado, el cual se va ampliando conforme aumenta el diámetro del orificio de salida.

Las boquillas de este tipo más comúnmente usadas son: la No. 4 que tiene un diámetro interno de orificio de 6.3 mm. (1/4"), la No. 5 con un diámetro interno de 7.9 mm. (5/16"), la No. 6 con un diámetro interno de 9.5 mm. (3/8"), la No. 7 con un diámetro interno de 11.1 mm. (7/16") y la No. 8 con un diámetro interno de 12.7 mm. (1/2"). Las boquillas 2 y 3 con 3.1 mm. (1/8") y 4.7 mm. (3/16") de diámetro interno de orificio respectivamente, son únicamente usadas en casos muy especiales. Estos mismos números de boquilla existen en varios tipos de serie dependiendo del uso que les sea asignado: por ejemplo, las boquillas de la serie CTM se utilizan para limpiar mampostería, las de la serie CTL para limpieza de trabajo pesado, las de la serie CTX para limpieza de trabajo ligero, etc. Este tipo de boquilla desarrolla un fuerte impacto en el centro, el cual disminuye en las orillas haciendo el patrón de limpieza menos uniforme.



CUANDO SE ORDENEN BOQUILLAS REBORDEADAS FAVOR DE ENVIAR LAS MEDIDAS A, B, C y D

FIGURA (22)

Boquillas tipo venturi.- Este tipo de boquilla se halla disponible en dos tamaños: largas y cortas. Las largas o tipo SD son para trabajo pesado, de limpieza de grandes superficies donde el sopleteador estará operando de 30 a 50 cms. de la superficie a limpiar. Las cortas o tipo JD son para la limpieza de superficies donde el sopleteador estará a unos 25-30 cms. de la superficie. Se emplea, también, para trabajar en espacios poco accesibles donde las mangueras tienen que estar dobladas para lograr la flexibilidad deseada.

Las boquillas tipo venturi, son más efectivas que las tipo barril recto e incrementan la productividad de 20 a 40%. Se caracterizan por un golpe más fuerte, un rocío más uniforme, un patrón más amplio y una vida útil -- más larga, ya que la entrada ancha del tipo venturi permite un flujo mayor de abrasivo por la boquilla eliminando la turbulencia y fricción que se producen en las boquillas convencionales. La velocidad de salida es el doble que la velocidad de las boquillas convencionales.

La boquilla tipo venturi, al igual que el tipo anterior se halla disponible en el mercado en varios tamaños de diámetro de orificio y clases, dependiendo del trabajo que se desarrolle con ellas:

Boquilla No. 4,6.3. mm. (1/4") clase CTSD longitud 133.3 mm. se emplea para trabajo pesado, donde el sopleteador puede operar a más de 35 cms. de la superficie.

Boquilla No. 4, 6.3 mm. (1/4") clase CTJD longitud 76.2 mm. se emplea para trabajos ligeros donde el sopleteador puede operar a 30 cms. de la superficie, detrás de vigas, etc.

Las boquillas para sopleteado están hechas de diversos materiales, de los cuales los más comunes son la cerámica, el hierro vaciado y el carburo de tungsteno. Las dos primeras son más baratas como inversión o costo inicial pero su vida es tan pequeña que se limita a 2-6 horas de sopleteado continuo. Las boquillas de carburo de tungsteno pueden resistir hasta 750-1,500 horas de sopleteado continuo (dependiendo del abrasivo usado: arena, molienda, granalla, etc.), y aún cuando son mucho más caras, a la larga resultan las más económicas de todas.

Se ha encontrado que las boquillas deben considerarse inservibles cuando su diámetro interior sea de 1.5 veces el original.

Debe hacerse notar que las boquillas de carburo de tungsteno que son las más ampliamente usadas pueden usarse con todos los abrasivos comunes excepto óxido de aluminio o carburo de silicio, para éstos se recomiendan las boquillas recubiertas de NORBIDE, en las cuales deberá cumplirse también con el requisito de que el diámetro de orificio de la boquilla deberá ser tres veces mayor al diámetro del grano más grande de abrasivo.

A continuación será desarrollado un análisis de costos para demostrar que las boquillas de garganta ancha son las boquillas de alta producción, o sea que el usar boquillas de diámetros grandes proporcionan ventajas de ahorro, ya que el uso de este tipo de boquillas incrementa la productividad en un 15 a 25%.

DIAMETRO DE ORIFICIO DE LA BOQUILLA (LLA)	
6.3 mm. (1/4")	9.5mm. (3/8")

Compresor portátil		
3.54 m ³ pm (125 pcm)	\$	580.00
3.95 m ³ pm (210 pcm)		\$ 948.00
8.90 m ³ pm (315 pcm)		

Costo de abrasivo - basado en un costo de \$360.00 por tonelada (6 horas de so

DIAMETRO DE ORIFICIO DE LA BOQUI
(LLA)

6.3 mm. (1/4") 9.5 mm. (3/8")

pleteado por día)		
1.5 ton.	\$ 540.00	
3.6 ton.		\$ 1,292.00
5.0 ton.		
Mano de obra de 3 operadores a \$200.00 diarios c/u por 8 horas de trabajo.	400.00	400.00
Ingeniero de operación \$280.00 por 8 horas.	280.00	280.00
COSTO TOTAL DIRECTO	1,800.00	2,920.00
Avance estimado por día 5.0 m ² por hora	40.0 m ²	
10.0 m ² por hora		80.0 m ²
13.0 m ² por hora		
Costo por m ² (costo diario entre número de m ²)	\$ 45.00	\$ 36.50

En este análisis económico no fueron considerados costos tales como combustible, seguros, transportes, etc. Si estos costos fueran considerados, el ahorro que se tendría con las boquillas grandes sería aún MAYOR.

Recipientes de arena para el sopleteado.- Todos los recipientes de arena para sopleteado tienen la misma función esencial, que es la de proporcionar una cantidad determinada de abrasivo a una corriente de aire a alta presión. La diferencia entre los depósitos estriba en su tamaño y número de cámaras. Existen equipos tan pequeños como 35.5 cm. (14") de diámetro, con una altura total de 101 cm. (40") y un peso de 104 kilogramos para una capacidad de arena de 68 Kg. (150 lb) hasta equipos de 91.5 cm. (36") de diámetro de la olla, 193 cm. (76") de altura y 635 kg. de peso, para una capacidad de arena de 908 Kg. (2,000 lb.)

Estos depósitos se fabrican con una o dos cámaras; los primeros sirven únicamente para trabajos intermitentes, -

mientras que los segundos se adaptan a trabajo continuado. Cuando se trabaja con depósitos de una sola cámara, una vez que se ha agotado el abrasivo contenido en ésta, hay que interrumpir el sopleteado para volver a cargar la cámara con nuevo abrasivo. En los depósitos de dos cámaras, mientras una cámara está alimentando la manguera de sopleteado, un ayudante está llenando la otra cámara, de tal suerte que el depósito se encuentra siempre lleno, hasta la mitad por lo menos y la operación de sopleteado puede continuar ininterrumpidamente. Esto hace, naturalmente, más rápida la operación de limpieza y aumenta su eficiencia al mismo tiempo que disminuye el costo.

Aunque la mayor parte de los depósitos de arena para el sopleteado son puestos en marcha o parados por un ayudante, es conveniente, en ciertas circunstancias que el operador mismo que maneja la boquilla pueda ejecutar esta operación. Por consiguiente, algunos fabricantes han agregado una válvula operada a control remoto por aire comprimido colocada en la boquilla que permite al operador poner en marcha o parar la máquina aunque se encuentre alejado del depósito. En algunos sitios, en donde no pueden verse las señales o escucharse las órdenes del operador para el ayudante, es muy conveniente este dispositivo, no sólo desde el punto de vista de la economía de arena, sino también desde el punto de vista de la seguridad industrial.

Como punto final debemos hacer notar que existen recipientes de doble salida, o sea, unidades equipadas con dos válvulas de control de abrasivo que permite a dos sopleteadores trabajar al mismo tiempo desde el mismo equipo.

Válvulas de control de abrasivo. - La válvula de control de abrasivo es considerada el corazón de los recipientes de arena para el sopleteo. La válvula de control provee la más simple y exacta medición de arena, realmente entrega un flujo exacto en peso de arena a la boquilla. Es muy fácil de regular y puede proporcionar cualquier volumen de arena. Estas válvulas son de construcción durable, la parte inferior y superior del cuerpo son de aluminio fundido y las placas de orificio de acero inoxidable. Sus empaques y juntas de hule la hacen ser una unidad sellada. Deberá dar por lo menos un servicio de 3-4 años.

Mangueras para abrasivos. - Las mangueras empleadas para las operaciones de limpieza por sopleteo de abrasivos --

son especiales, de tipo antiestático, sin alambres, de hule natural especialmente tratado para eliminar descargas. Este tipo de manguera está diseñado para varias presiones máximas de trabajo y se encuentran en el mercado en tramos de 15.24 m (50 pies) y muchos diferentes diámetros. El diámetro interior de la manguera deberá ser de 3 a 4 veces el diámetro interior de la boquilla.

Separadores de humedad.- Cuando se está llevando a cabo una operación de limpieza normal resulta perjudicial la presencia de agua, ya que humedece al abrasivo, el cual al chocar contra la superficie se queda adherido a la misma originando un trabajo extra de limpieza de la superficie al tener que desprender de la misma esas partículas de abrasivo. Además, el agua puede ocasionar bloqueo de la válvula de control de abrasivo al aglomerarse a la salida de la misma por causa de la humedad. En áreas de alta humedad o donde el compresor está bombeando una considerable cantidad de agua, se recomienda la instalación de uno de estos separadores de humedad, el cual se instala tan cerca del recipiente de abrasivo para sopleteo como sea posible. Es recomendable la instalación de un separador de humedad en todas las operaciones y todos los tipos de ambientes y no solamente para climas húmedos.



En áreas de alta humedad o donde el compresor esté bombeando una considerable cantidad de agua, recomendamos la instalación de uno de estos eficientes separadores de humedad. Este será instalado tan cerca de la máquina de sopletear como sea posible.

FIGURA (23)

Equipo de suministro de aire.- Para lograr una limpieza apropiada por sopleteo, el suministro de aire y el equipo, son de capital importancia. El aire comprimido debe ser suficiente en cantidad y la manguera y la boquilla del tamaño apropiado y de acuerdo una con otra. El aire a alta presión es una cosa imprescindible, porque la fuerza de las partículas abrasivas depende de la velocidad del aire en la boquilla. Para obtener los mejores resultados, la presión del aire debe ser, por lo menos, de 100 libras por pulgada cuadrada con no menos de 300 pies cúbicos por minuto para una boquilla con orificio de 9.5 mm (3/8"). Con presiones más bajas, la rapidez -

de la limpieza disminuye. Si la presión en la boquilla baja a 60 psi., deberá cesar la operación de sopleteado, porque en este punto el consumo de arena y el gasto serán excesivos. Debe ponerse en claro que estas presiones se refieren a lecturas tomadas en la boquilla y no en el tanque de la compresora. Igualmente importante es mantener la presión constante, lo que sólo puede lograrse suministrando un volumen de aire adecuado al tamaño particular de la boquilla. Si el tamaño de la boquilla aumenta, debe aumentarse el volumen del aire suministrado a la boquilla para mantener constante la presión en la misma.

Si las boquillas son demasiado grandes o si la presión o el volumen de aire muy bajos, será casi imposible desprender las escamas fuertemente adheridas y el trabajo será muy lento.

La única solución al problema de suministro de aire es la selección adecuada de un compresor capaz de proporcionar un flujo y presión de aire que satisfaga los requerimientos de todas y cada una de las boquillas que vayan a ser usadas.

Equipo complementario.- Entre este tenemos los portaboquillas, que son cilindros roscados por ambos lados hechos de aluminio tubular y que sirven de unión entre la manguera y la boquilla. Las cabezas de sopleteo húmedo, que son rociadores adaptados en la punta de la boquilla para sopleteado a través de los cuales se rocía agua para eliminar hasta donde sea posible el polvo depositan sobre la superficie soluciones inhibidoras que previenen la corrosión del material limpio por acción de los agentes atmosféricos. Las conexiones en general, que se emplean entre otras cosas para unir entre sí los tramos de manguera, la manguera con el porta boquilla, etc. Están hechas de materiales resistentes y sellados de tal manera que no permiten fugas ni de aire ni de abrasivo además de que son muy fácil de instalar.

EQUIPO DE SEGURIDAD

En este tipo de operaciones como en todas, el equipo de seguridad es de vital importancia. En este caso el equipo de seguridad debe ser siempre utilizado ya que el trabajador está expuesto a demasiados riesgos, la mayoría de los cuales y, sobre todo, en operaciones en espacios cerrados pueden resultar de fatales consecuencias. Entre los equipos de seguridad que resultan imprescindibles.

bles para este tipo de operaciones tenemos:

Equipos de ventilación y extracción.- Este equipo es muy importante básicamente en operaciones en interiores donde la concentración de polvo y contaminantes llega a ser muy elevada y puede resultar perjudicial para la salud de los trabajadores. En operaciones donde interviene arena con un alto porcentaje de sílica libre como abrasivo es muy importante contar con un sistema de ventilación adecuada, ya que un alto porcentaje de polvo de esta arena, puede provocar en los trabajadores una enfermedad denominada SILICOSIS.

Casco con alimentación de aire.- Se utiliza para prevenir posibles impactos provocados por abrasivos que se desprenden a muy alta velocidad, además de proporcionar al operador aire limpio.

Peto y capa protectora.- Protege adecuadamente el cuerpo desde el cuello hasta la cintura y está hecho de cuero o hule ligero.

Guantes de cuero y botas especiales antiestáticas.- Para proteger manos y pies de posibles accidentes.

Suministro de aire.- El aire empleado para la alimentación es suministrado del compresor, el cual provee también el aire necesario para llevar a cabo las operaciones de limpieza.

PROCEDIMIENTO DE OPERACION DEL EQUIPO PARA SOPLETEADO.

Un equipo adecuado es esencial para un buen trabajo de sopleteado, pero no basta sólo el equipo, sino que también es esencial una técnica adecuada. Para obtener buenos resultados, puede seguirse el siguiente procedimiento:

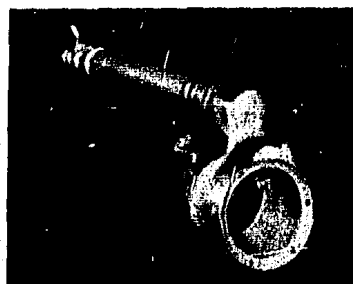
- Regúlese la cantidad de arena de modo que haya siempre la suficiente para limpiar con rapidez, pero no tanto que sofoque la corriente de aire.
- Manténgase la boquilla lo suficientemente cerca de la superficie a ser limpiada para evitar pérdida de fuerza. La boquilla común y corriente debe mantenerse a unos 25 cms. de la superficie. Algunas boquillas de diseño especial pueden mantenerse a una distancia mayor.

- Sopletear ordenadamente. Muévase la boquilla de - - atrás hacia adelante y de adelante hacia atrás sobre - una pequeña área, hasta dejarla completamente limpia.- No debe moverse la boquilla al capricho ni dejarla demasiado a los lados.
- Mueva la boquilla lentamente. Se ha observado que un operario experimentado trabajando con una boquilla 9.5 mm. (3/8"), con equipo apropiado y arena de buena clase, puede limpiar a METAL BLANCO no más de 15 m² por hora de acero ordinario en las mejores condiciones. El trabajo no puede apresurarse.
- Una vez terminado el sopleteado, quítese el polvo de la superficie con brocha o con aspiradora. Así, la superficie quedará lista para ser recubierta.

El polvo sobre una superficie evita que la pintura quede en contacto con el metal y se pierde ADHERENCIA.

El procedimiento usual de sopleteado es usar arena y aire secos; sin embargo, a veces se usa el sopleteado "mojado o húmedo" debido a que disminuye mucho el polvo. En el sopleteado húmedo, como ya se indicó se inyecta agua en la boquilla o se mezcla directamente con la arena en el depósito. En este procedimiento se produce muy poco polvo, pero queda la superficie cubierta de lodo, que es necesario quitar con agua. En algunas ocasiones se agrega algún inhibidor al agua para disminuir la oxidación.

No se recomienda el sopleteado húmedo (salvo en los casos que sean absolutamente necesario) para preparar superficies para pintar, porque el metal siempre se oxida un poco antes de que se pueda aplicar el recubrimiento y el inhibidor (principalmente se usa ácido fosfórico como inhibidor) deja una superficie con polvo suelto que debe eliminarse antes de aplicar la pintura.



Usuarios

Limpiadores de edificios y contratistas de mantenimiento. Elimina el 90% de polvo, sin aminorar la eficiencia del sopleteo, también se usa en refineras, astilleros para sopleteo del casco o donde el polvo sería un problema

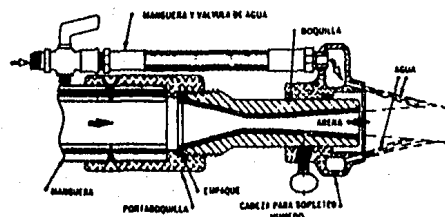


Figura (24)

B. Equipo para limpieza por chorro con rueda.- La limpieza por chorro de abrasivo con rueda, como ya se dijo anteriormente, consiste en descargar el abrasivo centrifugamente desde la periferia de una rueda rotatoria con aspas viajando a una velocidad periférica alta.

Este tipo de equipo posee muchas ventajas sobre la limpieza por sopleteo con boquilla como para garantizar la instalación extensiva de este tipo de máquinas. Una de las grandes ventajas de su uso es la eliminación y suministro de potencia, y la facilidad de poder prescindir del operario encargado de la labor. La principal desventaja de este tipo de equipo es su alto costo inicial, y alto costo de mantenimiento. Además, presenta un gran defecto en cuanto a lo práctico de la operación, ya que las superficies grandes altamente irregulares, tales como vigas son difíciles de limpiar con este tipo de equipo a diferencia de la limpieza por sopleteo con boquilla.

El equipo empleado en esta operación es muy grande y complejo, motivo por el cual se usa únicamente donde hay suficiente demanda para limpieza por sopleteo para, de esta manera, hacer la instalación económica. En tales circunstancias, el equipo de limpieza con rueda es difícil de superar en los bajos costos de limpieza que alcanza.

El principio de operación está ilustrado en la figura (24). Existen en servicio dos tipos generales de rue-

das: el tipo bateador y el tipo resbalador. En el tipo-bateador el abrasivo es impulsado por impacto cuando entra en contacto con el borde de las aspas; este tipo de rueda no es de uso extensivo. El tipo de rueda comúnmente usado, el cual es conocido como el tipo resbalador es el mostrado en la figura (24); en este tipo, el abrasivo es cargado a través del centro (eje) de la rueda y -- desliza sobre las aspas al borde de la rueda donde es -- proyectado a alta velocidad hacia la superficie que se -- está limpiando. El patrón de sopleteo no es bastante-bueno, ya que la distribución del abrasivo a través del-patrón puede variar grandemente.

Una rueda típica es de aproximadamente 2 1/2 pulgadas de ancho por 20 pulgadas de diámetro; gira a una velocidad de aproximadamente 2,000 rpm. Un atributo interesante-- del método de descarga del abrasivo es el hecho de que -- todas las partículas del abrasivo desarrollan aproximada-- mente la misma velocidad. Esta velocidad oscila entre-- 5,000 - 14,000 pies/minuto.

Las velocidades promedio de los abrasivos en el sopleteo a presión directa a presiones acostumbradas de trabajo, -- están en el mismo rango que para el sopleteo con rueda. -- En el sopleteo a presión directa con boquilla las veloci-- dades del abrasivo varían con el tamaño de partículas y -- el peso del abrasivo.

El tipo de abrasivo usado con el equipo de limpieza por-sopleteo con rueda es generalmente metálico; esto es, -- perdigones de fierro, rebabas de fierro, alambre cortado, granalla metálica, etc. Los abrasivos no-metálicos sin-- téticos, son usados ocasionalmente sobre algún trabajo y las arenas no son usadas debido al desgaste excesivo so-- bre el equipo y los altos costos de mantenimiento que re-- sultan. Una instalación de rueda típica requiere de 15-- a 20 HP (unidades de potencia) para conducir la rueda, -- la cual proyectará aproximadamente de 20 a 25 mil libras de abrasivo metálico por hora. Para arrojar esta canti-- dad de abrasivo por sopleteo con boquilla a presión di-- recta serían necesarias 4 ó 5 boquillas de 3/8 de pulga-- da de diámetro que requieren aproximadamente 200 HP. -- Aproximadamente una décima parte de la potencia (HP) es-- necesaria para operar el equipo de limpieza por sopleteo con rueda así comparado al equipo de limpieza por sople-- teo con boquilla a presión directa.

Cabe hacer notar que debido a los altos costos de depre-- ciación y mantenimiento, el costo de la limpieza por so-- pleteo con rueda no resulta tan exageradamente más econó

mico en comparación con el costo de la limpieza con equipo para sopleteo con boquilla a presión directa.

ESQUEMA DEL
PRINCIPIO DE
LIMPIEZA POR
SOPLETEO CON
RUEDA CENTRI
FUGA.

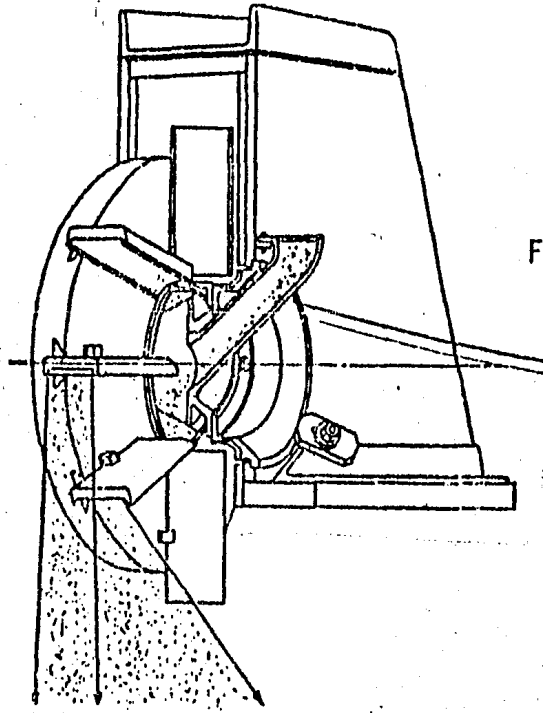


FIGURA (25)

CONSIDERACIONES NECESARIAS PARA LA LIMPIEZA POR SOPLETEO CON BOQUILLA.

Esto se refiere a ciertas normas o criterios que deben ser seguidos para hacer la operación de limpieza lo más económica y eficiente posible, además de segura.

En muchas ocasiones serán operadas más de una boquilla de un tanque de abrasivo, en tales casos, debe tenerse cuidado que las mangueras para abrasivo usadas sean del mismo diámetro y longitud para igualar el flujo de abrasivo a través de las dos mangueras. Para estos casos, algún tipo de distribuidor satisfactorio debe ser provisto para distribuir el flujo del abrasivo y aire del tanque para sopleteo igualmente.

Donde son usadas conexiones de tubería en las líneas de abrasivo, se encontrará que el tipo convencional de "L" se desgasta demasiado rápido debido a la acción del abrasivo en el arco. En estos casos, pueden comprarse tuberías para sopleteo especiales o tes "T" y cruces pueden ser usadas en lugar de los codos, lo que eliminará un excesivo desgaste.

En las operaciones de limpieza por sopleteo es fácilmente observable que existe un gran desperdicio de abrasivo y de un cuidadoso análisis de costos. Se puede observar que una de las mas grandes fuentes de pérdida de la operación puede deberse a la pérdida de abrasivo. Esto significa que debe ser usado un método efectivo de recuperación del abrasivo empleado en la operación de limpieza.- En algunos casos se ha preferido una operación de limpieza usando equipo de vacío con el propósito de recuperar el abrasivo, el cual una vez acumulado en un cierto lugar es limpiado, cernido y retornado a las máquinas. -- Otro tipo de sistema de recuperación de abrasivo es por medio de magnetismo que se emplea para la recuperación de algunos tipos de abrasivos metálicos.

Un análisis periódico del abrasivo en uso es absolutamente necesario, el cual deberá indicar una distribución -- del tamaño de partícula con un especial interés hacia -- los tamaños de partícula más pequeños. Si estos tamaños pequeños están ausentes, es una indicación inequívoca de que el abrasivo está siendo mal usado.

El recargamiento del abrasivo debe ser hecho a intervalos frecuentes más que a intervalos espaciados con la finalidad de que el abrasivo tenga solamente una ligera variación en el análisis del tamaño de partícula.

En una operación de limpieza, deben ser probados diferentes abrasivos, así el usuario puede encontrar que ir a un abrasivo más caro puede resultar en una operación más económica a través de la larga vida útil que puede ser alcanzada.

Cuando el abrasivo usado es arena, como en el trabajo de campo, si resulta práctico, la arena debe ser recogida, limpiada, cernida y re-usada. El proceso de levantar y recolectar arena resultará en colección de desechos y basura. El sobretamaño debe ser cernido con tiempo, el abrasivo es recolectado y re-usado. Dependiendo del tipo de arena usado, las velocidades de desintegración por impacto pueden ser desde muy pequeñas hasta demasiado grandes. Si la velocidad de desintegración por impacto es grande, no puede ser económico recolectar la arena; pero, si la velocidad de desintegración por impacto es pequeña la arena puede ser recolectada un número determinado de veces y ser usada previa remoción de la partícula muy finas.

La limpieza de la superficie sopleteada dependerá del procedimiento de operación, el equipo y el abrasivo usa-

do. EL COLOR NO ES UN CRITERIO DE LIMPIEZA. Cuando se usa arena la superficie limpia puede aparecer muy blanca y mirarse muy limpia, sin embargo esta blancura es debida a dos cosas:

- 10.- Las partículas de arena fina forman muchas facetas, las cuales reflejan la luz y dan a la superficie -- una apariencia blanca.
- 20.- Un depósito de sílica blanca puede adicionarse a la apariencia blanca. Cuando se usan abrasivos oscuros, tales como chatarra triturada, la superficie -- puede tener una apariencia oscura. El tamaño de -- partícula del abrasivo tiene mucho que ver con la -- apariencia de la superficie; el uso de abrasivo más fino o más grueso será la tendencia para la superfi- cie a aparecer blanca cuando está reflejando la luz.

Muchas pruebas han indicado que la limpieza por sopleteo es un método muy efectivo de remover aceites y grasas, - en efecto es uno de los pocos métodos de obtener una superficie libre de WATER BREAK. Obviamente, si hay depósitos excesivos de aceite o grasa deben ser removidos -- por solventes antes de la limpieza por sopleteo. Si al final de la limpieza existe duda sobre la existencia de materia contaminante en la superficie, ésta puede ser -- probada por esparcido, rociado o inmersión en agua de la superficie y examinarla para ver si una capa uniforme de agua queda sobre la misma, o sea que la superficie esté libre de WATER BREAK.

Las boquillas desgastadas automáticamente cambiarán la - relación AIRE-ARENA, la cual fue o debe haber sido prede terminada en el inicio de la operación de limpieza. Así, si hay un incremento en la abertura de la boquilla un -- gran volumen de aire será requerido para mantener la pre sión en la boquilla. Generalmente, ocurre una considera ble pérdida de aire siempre que un re-ajuste periódico - de la relación AIRE-ARENA no se ha efectuado.

Cuatro condiciones finales de una superficie pueden ser producidas por la operación de limpieza por sopleteo.

Condición No. 1.- El acabado de superficie a metal blan-
SSPC-SP-5 co. Esta condición final constituye -
NACE-1 la mejor superficie posible que pueda-
SWEDISH-3 ser producida por sopleteo. Toda la -
escoria de laminación, herrumbre extra-
tificado, pintura o cualquier otra ma-
teria extraña debe ser removida por el

uso de abrasivos impulsados ya sea a través de boquillas o ruedas centrífugas.

La superficie así producida aparecerá de un color grisáceo, blanco metálico, muy uniforme en color, ligeramente áspera de acuerdo a los abrasivos usados. Constituye un patrón de anclaje apropiado para todos los recubrimientos. La superficie cuando es vista sin lente de aumento debe ser encontrada libre de escoria de laminación, herrumbre, corrosión, óxidos, pinturas u otra materia extraña visibles. Cuando menos el 99.9% de la superficie debe estar limpiada como se estableció anteriormente.

Condición No. 2
SSPC-SP-10
NACE-2
SWEDISH- 21/2

El acabado de superficie casi a metal blanco.- La limpieza por chorro de abrasivo a un grado casi blanco constituye un método de preparación de superficies metálicas para pintarlas removiendo casi toda la escoria de laminación, herrumbre, pintura y materias extrañas.

El acabado final de una superficie limpiada a un grado casi blanco se define como aquel en el cual todo aceite, grasa, suciedad, escoria de laminación, herrumbre, productos de corrosión, pintura y otras materias extrañas han sido completamente removidas de la superficie, excepto ligeras sombras, rayas o ligeras decoloraciones causadas por manchas de herrumbre, ligeras escorias de laminación y delgados residuos de pintura. Por lo menos un 95% de cada metro cuadrado de superficie debe estar libre de residuos visibles y el resto se limita a las ligeras decoloraciones antes mencionadas.

El tiempo gastado en este tipo de limpieza no debe ser menos de las 2/3 partes del que se requiere para producir un acabado a metal blanco sobre la misma superficie, ni debe ser mayor del 95% de lo que se requiere para lograr-

la superficie antes mencionada.

La limpieza a un grado casi blanco puede ser empleada para los propósitos en general donde se requiere un alto grado de limpieza.

Condición No. 3
SSPC-SP-6
NACE-3
SWEDISH-2

El acabado de superficie comercial.- - En este acabado todo el aceite, grasa, suciedad, escoria de laminación, pintura y otra materia extraña no encajada en agujeros y grietas ha sido completamente removida excepto por ligeras rayas de decoloraciones. Si la superficie es rugosa, ligeros residuos de pintura, herrumbre o escoria de laminación son permitidos en el fondo de los agujeros. Cuando menos las 2/3 partes (67%) de cada metro cuadrado de superficie debe aparecer un color blanco -- grisáceo uniforme, libre de todo residuo visible, y el resto debe estar limitado a las ligeras decoloraciones, manchas y los ligeros residuos descritos anteriormente.

En conclusión, este tipo de limpieza no incluye necesariamente la remoción de toda la escoria de laminación ni -- trazas finas de manchas de herrumbre adheridas herméticamente a la superficie. El trabajo de sopleteo a un grado comercial, puede tener una aparición rayada.

Condición No. 4
SSPC-SP-7
NACE-4
SWEDISH-1

El acabado de superficie tipo ráfaga - (Brush-off).- Esta es una superficie de la cual todo el aceite, grasa, suciedad, escoria de laminación suelta, herrumbre suelta, pintura o recubrimientos sueltos son removidos, pero la cual puede retener escoria de laminación, herrumbre, pintura o recubrimientos fuertemente adheridos.

Debe ser reconocido que el tiempo y costo para producir los varios grados de sopleteo se incrementan geométricamente desde los grados más bajos a los más altos. La relación de producción sobre trabajo normal entre estas 4 condiciones finales puede estar como sigue:

- 1.00 - para metal blanco
- 1.25 - para metal basi blanco
- 2.50 - para acabado comercial
- 6.00 - 7.00 para el acabado tipo ráfaga.

Se puede observar rápidamente que el trabajo para el acabado tipo ráfaga, es realizado mucho más rápido que para el acabado a metal blanco. Sin embargo, si la superficie demanda una condición final de metal blanco nada menos que eso debe ser aceptado.

LIMPIEZA DE UNIONES

Un punto particularmente importante en las operaciones de limpieza lo constituye la limpieza de las uniones, -- costuras o juntas. La limpieza de los cordones de soldadura de arco eléctrico es mucho muy importante ya que sobre o adyacentes a las juntas de soldadura están presentes cuatro depósitos de productos específicos que deben ser removidos o neutralizados para mantenerlos inofensivos bajo la película de pintura. Los productos que se depositan son:

- Escoria de soldadura derretida (fundida)
- Gases o emanaciones de soldadura fundida
- Oxidos de soldadura caliente
- Salpicaduras de soldadura metálica

La escoria de soldadura fundida es una solidificación dura y quebradiza de soldadura derretida. El material fundido, rápidamente llenará los espacios y depresiones sobre los cordones soldados a mano y se extenderán hasta el metal inmediatamente adyacente a las uniones de soldadura. Es fuertemente alcalina en naturaleza y reaccionará bajo una película de pintura, particularmente en un medio húmedo. Hay también una fuerte posibilidad de separación de una junta de soldadura después que la pintura ha sido aplicada causando así una exposición completa del metal desprotegido al medio ambiente.

Los gases o emanaciones de soldadura derretida son los depósitos vaporizados y condensados de las operaciones de soldado. Los depósitos pueden extenderse notablemente de 5 a 15 cms. del cordón de soldadura. Al ser realizada la aplicación de la pintura, se incorporará debajo de la película de la misma la suficiente cantidad de emanaciones para provocar serias averías en la película. La humedad causará serios desperfectos sobre una superficie contaminada con emanaciones de soldadura derretida.

Esto llegará a ser más severo cuando el ataque inicial - es empezado sobre o adyacente a los depósitos de escoria de soldadura fundida. Se ha observado que la corrosión - se extiende a varios metros de los cordones de soldadura contaminados.

El óxido de soldadura caliente se forma directamente adyacente al cordón de soldadura y puede extenderse tanto - como 5 cms. del cordón de soldadura. Si éste es removido - impropriadamente, la pintura no cubrirá completamente el óxido irregular o rugoso y no prevendrá el posible daño. Generalmente se obtiene una temprana corrosión de esta - área.

Las salpicaduras de metal de soldadura se forman prácti - camente en todas las operaciones de soldadura eléctrica - manual. Los depósitos de metal pueden tener un diámetro desde una dimensión microscópica hasta 0.6 cms. Las sal - picaduras más grandes son las más firmemente adheridas, - ya que soldarán por sí mismas al metal original.

Es difícil proteger salpicaduras de soldadura con cual - - quier pintura, ya que el punto donde la salpicadura se - conecta con el metal es difícilmente accesible para pin - tarse. En segundo lugar, la mayoría de los productos de salpicadura son bastante altos y a menudo bastante cor - - rantes para asegurar una cobertura adecuada con el espe - sor de la película promedio de la pintura; una rápida de - - sintegración ocurre en la cima de las salpicaduras de - - soldadura.

Todos los depósitos de productos anteriormente menciona - dos deben ser removidos completamente durante el proceso de preparación de superficie. Prácticamente cualquiera - de los métodos descritos anteriormente son capaces de re - mover completamente estos depósitos si son llevados a ca - - bo a conciencia. Por otro lado, cualquier prevención - - que se lleve a cabo durante la operación de soldado, fa - cilitará la remoción de estos depósitos. Por ejemplo, - un aceite humectante puede ser aplicado al área dentro - de los 15 cms. desde el cordón de soldadura antes de la - operación de soldado, esto evitará que los productos que se depositen formen un anclaje seguro al metal original - de tal manera, que una vez terminada la operación de sol - dado la mayoría de los depósitos pueden ser removidos - - rápidamente por cualquiera de los métodos ya discutidos.

El derrumbamiento de una pintura empieza en una pequeña - cabeza de herrumbre en un depósito de salpicadura, esco - rria o fundente. Esto, pronto se extenderá y puede cau - -

sar falla sobre una área muy grande.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

La preparación de superficies mecánicamente constituye una fuente de muchos riesgos a individuos y propiedades a menos que sea conducida cuidadosamente con el propósito de eliminarlos.

En este tipo de trabajo la seguridad de protección debe estar centrada en la protección de la cabeza, ojos y órganos respiratorios, aunque las otras partes del cuerpo no son menos importantes y deben, también, ser protegidas satisfactoriamente.

En cualquier tipo de operación de limpieza, si la operación es conducida en una atmósfera que contiene vapores volátiles, explosión o fuego puede resultar cuando la concentración del vapor está en la región explosiva. En tales casos, herramientas de seguridad antichispa deben ser usadas. El sopleteo con abrasivos bajo tales condiciones no debe ser realizado a menos que sean usados perdigones de cobre y aún así, el peligro de chispas ocasionales está latente. Debe ser considerado que cuando el vapor volátil está en la región explosiva, es casi seguro que está mucho más allá de la concentración máxima permisible para la respiración, por tanto equipo respiratorio de alimentación forzada es necesario.

La limpieza por sopleteo es una operación particularmente riesgosa a menos que las precauciones pertinentes sean mantenidas para prevenir accidentes. En cuanto al aspecto de la "SILICOSIS" ya se ha establecido que no hay riesgo de silicosis si son tomadas las precauciones necesarias. Estas precauciones influyen ya sea en el uso de abrasivos libres de sílica o suministrando al personal cascos de seguridad con alimentación forzada de aire.

Las mínimas precauciones de seguridad recomendadas para el personal es el uso de goggles de seguridad. No es necesario usar goggles oscuros o tipo filtro, ya que los lentes claros son satisfactorios; sin embargo, la preferencia del operador puede ser por goggles oscuros.

En operaciones de sopleteo con abrasivos, se debe cuidar que la manguera del abrasivo tenga su conexión a tierra para prevenir cargas y descargas electrostáticas.

El equipo de ventilación y extracción es extremadamente importante para la limpieza por sopleteo en interiores. - Un experto debe ser consultado para lo relativo a recomendaciones específicas en el diseño y operación de sistemas de ventilación y extracción.

En el sopleteo húmedo, algún riesgo está asociado con el esparcido de soluciones que contienen cromato soluble o ácido crómico. El riesgo asociado con la respiración de ácido crómico o niebla de cromato es el desarrollo de llagas, las cuales pueden conducir a la perforación del tabique nasal. Un riesgo menor está asociado con el contacto de sal de cromato seca o disuelta y ácido crómico, lo cual es una condición de dermatitis.

Precauciones de seguridad para los trabajadores que laboran en la vecindad de donde se realizan las operaciones de limpieza por sopleteo con abrasivos deben ser tomadas en consideración; una precaución adecuada consiste en proporcionarles lentes de seguridad y mascarillas normales para filtrar el polvo.

Las consideraciones de seguridad no deben estar limitadas a riesgos al personal. Debe también tenerse cuidado de proteger la propiedad adyacente particularmente maquinaria, equipo eléctrico, pintura, etc. El resguardo por envoltura es el método más común.

IV.2.2. PREPARACION QUIMICA DE SUPERFICIE

En esta parte del tema de preparación de superficies se describirán varios tipos de tratamiento químico de superficies diseñados para incrementar la vida de estructuras pintadas y se discutirán sus ventajas y desventajas.

Toda superficie metálica que va a ser pintada tiene varios contaminantes, los cuales (cualquiera de ellos) interfieren con la adhesión de película de pintura subsecuentemente aplicadas o permiten la corrosión debajo de la superficie pintada provocando fallas prematuras de la película de pintura.

En general podemos decir que existen tres tipos de contaminantes de superficie sobre todos los metales, los cuales deben ser removidos antes de pintar la superficie para asegurar la vida de la pintura al máximo. La forma más o menos completa con la que estos contaminantes son-

removidos afecta directamente la habilidad de la pintura para proteger y decorar el metal. Estos tres tipos de contaminantes incluyen:

- Grasas, aceite, polvo, etc. provenientes del rolado, forjado, estirado y manejo en general de los materiales.
- Herrumbre y escoria de laminación.
- Estimulantes de herrumbre visibles e invisibles.

Para que la pintura se adhiera al metal, debe ser capaz de humectar la superficie metálica. La presencia de grasa, aceite y otras suciedades en la superficie reduce esta acción humectante y por tanto interfiere con la adhesión de la película de pintura al metal. La pintura aplicada sobre una superficie aceitosa desarrollará menos adhesión y en algunos casos puede levantarse la película como si fuera piel. Los aceites y las grasas sobre la superficie pueden ser de 3 tipos: Minerales, Vegetales y Animales. Los aceites minerales son insolubles en ácidos y álcalis, son también insaponificables. La remoción de estos aceites se hace generalmente por solución directa con solventes o por emulsificación. Los aceites vegetales y animales son también insolubles en ácidos y álcalis, sin embargo son saponificados en tratamiento por medio de limpiadores alcalinos y su remoción por limpiador alcalino depende en cierta extensión de la saponificación. Estos aceites son también rápidamente solubles en los solventes comunes y pueden ser removidos por emulsificación.

Las superficies metálicas generalmente están cubiertas con escoria de laminación, la cual es necesario remover antes de la aplicación de la pintura para garantizar al máximo la vida de la misma. El herrumbre puede ser clasificado con la escoria como un contaminante de superficie y su eliminación total de las superficies es esencial para garantizar la vida útil de una pintura. La remoción parcial del herrumbre antes de pintar no resultará en muchos casos en una vida larga de la pintura.

El tercer tipo de contaminante de superficie perjudicial para la vida larga de una pintura es la clase de los llamados "Estimuladores de herrumbres invisibles". Estos, son pequeñas cantidades de ciertos materiales que aceleran el herrumbamiento de la superficie metálica fuera de toda proporción a su concentración. Sales de ácido sulfúrico, ácido clorhídrico y ciertos ácidos orgánicos-

encontrados en la transpiración humana son los materiales más frecuentemente encontrados en esta clase. Estos estimuladores de herrumbre invisibles son efectivamente neutralizados por medio de limpiadores de metal tipo Acido fosfórico-Solventes y Removedores de Herrumbre.

LIMPIEZA QUIMICA DE SUPERFICIES.- El término "limpieza química de superficies" cubre una amplia variedad de materiales y métodos de limpieza. Dependiendo del tipo y grado de contaminación a ser eliminada, la preparación de superficie puede ser acompañada por: limpieza alcalina, limpieza con emulsión, limpieza en dos fases, etc., si van a ser removidos de la superficie grasas, aceites u otro tipo de suciedad antes de remover el herrumbre y la escoria de laminación (Estos métodos son empleados antes de llevar a cabo la preparación de la superficie, algunas veces no son necesarios y se conocen como Métodos preliminares). Para una superficie de acero ligeramente herrumbrosa, el tratamiento final recomendado es limpieza con Acido Fosfórico, especialmente cuando el acero ha sido sometido preliminarmente a chorro de abrasivo (arena) cepillado con alambre, etc. La escoria de laminación, si está presente, debe ser removida antes del pintado por medio de la inmersión de las partes en ácido -- sulfúrico o muriático (PICKLING).

A) ENJUAGUE Y DESENGRASADO CON SOLVENTES (LIMPIEZA CON SOLVENTES). SSPC - SP - 1

Introducción:

La limpieza con solventes es ejecutada en superficies metálicas con el fin de remover aceites, grasas o suciedad excesiva antes de eliminar el óxido, herrumbre o pintura vieja. Constituye una limpieza auxiliar previa o complementaria, que se efectúa en combinación con otros sistemas de preparación de superficies.

No obstante que es el menos eficiente de los métodos de remoción química, la limpieza con solvente es todavía ampliamente usada. En este tipo de limpieza una gran variedad de solventes son empleados para remover mecánicamente polvo y basura y la película de aceite que los so tiene sobre la superficie del metal. Los solventes son generalmente usados para remover aceite y grasa.

Este tipo de limpieza no se realiza generalmente y es --

muy posible que sea más perjudicial que benéfica si la operación de limpieza no se lleva a cabo cuidadosamente. Este punto se refiere al hecho de que el solvente empleado en la limpieza de la superficie pronto llega a estar contaminado con la suciedad removida y así, después de un corto tiempo solamente redeposita aceite y grasa sobre la superficie. Por tanto, para que el método sea efectivo debe emplearse constantemente solvente limpio; esto implica el uso de grandes cantidades de estos materiales lo que significa un costo muy elevado de la limpieza. Para superar esta desventaja, son a menudo usados solventes emulsificables para remoción preliminar de espesas manchas contaminantes.

MATERIALES Y EQUIPO.

- a) Solventes
- b) Trapos
- c) Estopas
- d) Brochas
- e) Cepillos
- f) Equipo para esparcido de solventes y para desengrasado con vapor.

Los solventes que son considerados más satisfactorios para usarse en el prelimpiado de estructuras metálicas incluyen: Naftas del petróleo, Tolueno, Tricloroetileno - Xileno, Turpentina, Metil isobutil cetona, Alcohol isopropílico, Percloroetileno, Querosina, etc.

Cada tipo de solvente es empleado para una determinada condición de limpieza basada principalmente en la temperatura que impera en el momento de la limpieza y en el volumen de suciedad a ser removido: naftas alifáticas -- con un punto de flashes (flash point) mínimo de 38°C deben ser usadas como el solvente para propósitos generales para limpieza bajo condiciones normales. En ambiente cálido o cuando la temperatura es de aproximadamente 27 a 35°C deben ser usadas naftas alifáticas con un punto de flasheo mínimo de 49°C. Solventes aromáticos o de alquitrán de hulla (coal tar) pueden ser usados cuando se requiere una mayor solvencia, pero ellos son más tóxicos y los solventes disponibles tienen puntos de flasheo bajos que no son adecuados para todas las condiciones de trabajo. Los hidrocarburos clorinados no son --

recomendados para uso general excepto con equipo especial y operadores entrenados.

Todos los solventes son potencialmente peligrosos y deben ser usados bajo tales condiciones que su concentración en el aire que está siendo respirado por el trabajador es lo suficientemente baja para garantizar seguridad. A continuación se presenta una pequeña tabla que muestra algunos de los solventes más usados así como su concentración máxima permisible en el aire en parte por millón:

TABLA (XXVIII)

SOLVENTES	MAXIMA CONCENTRACION PERMISIBLE EN EL AIRE EN PARTES POR MILLON
ACETONA	1000
QUEROSINA	500
MIBK	100
TOLUENO	200
TRICLOROETILENO	200
XILENO	200
ALCOHOL ISOPROPILICO	400
TURPENTINA	100

Cuando las concentraciones de seguridad son excedidas, - deberán usarse máscaras de aire como parte del equipo de seguridad. Existen algunos materiales que algunas veces son usados, pero que son peligrosos y por lo tanto no -- son recomendados: BENCENO, es el solvente más tóxico y -- no debe usarse particularmente por su bajo punto de flasheo que lo hace muy inflamable y que involucra el peligro de una explosión, GASOLINA, al igual que la SUPER -- VMP NAFTA son demasiado peligrosos para usarlas en condiciones normales debido a su peligro de fuego y explosión; TETRACLORURO DE CARBON, debido a su alta toxicidad no es recomendable para operaciones de limpieza con solventes.

Siempre que un solvente sea usado para operaciones de -- limpieza se debe tener en cuenta que dichos solventes al -- cancelen los requerimientos de punto de flasheo anteriormente mencionados y preveer que éstos no sean abatidos -- por la evaporación durante su uso para el tipo de condición a que va a estar sujeta la operación de limpieza. - Método de comprobación. Esta técnica se conoce como "Ma -- nejo de solventes seguros" (Safety Solventes), y tiene -- por objeto reducir al máximo el peligro de incendio o ex -- plosión que es inherente al uso y manejo de solventes --

(tener condiciones de trabajo seguras).

METODOS DE LIMPIEZA CON SOLVENTES

Los solventes que van a ser usados para la limpieza pueden ser aplicados por cualquiera de los siguientes métodos:

Restregado.- Cualquiera que sea el método seleccionado para la aplicación de los solventes que serán usados en la limpieza, deberán ser precedidos por una operación -- que consiste en remover de la superficie la tierra, salpicaduras de cemento, exceso de grasa y suciedad, sales y otras materias extrañas por medio de rasquetas, espátulas o cepillos de alambre que eliminan también una parte del herrumbre, escoria de laminación y recubrimientos -- viejos.

Una operación de limpieza por frotado o restregado con solventes resulta efectiva si es llevada a cabo cuidadosa y completamente, esto es, una operación en la que son empleados trapos y solventes limpios en su fase final, -- trapos, esponjas, cepillos, etc., son sumergidos en el -- solvente de limpieza y aplicados sobre el metal aceitoso. La superficie es restregada con el aplicador hasta la re moción total de los materiales grasosos, el exceso de -- solvente y aceite disuelto y diluido deben disiparse de la superficie para eliminar la contaminación.

Si el solvente seca sobre el metal. El aceite y la grasa volverán a depositarse sobre la superficie en forma -- de una película delgada extendida a todo lo largo; por -- tanto es importante que la última lavada o enjuague sea hecha con solvente limpio, de otra manera la película re sidual puede interferir en el enlace de la pintura con el metal.

Inmersión.- En esta operación las partes metálicas son sumergidas en un recipiente que contiene el solvente de limpieza, el cual puede estar frío o ser calentado para acelerar la limpieza. Para que esta operación se realice adecuadamente se debe contar con dos o más tanques de solventes ya que si solamente es usado un tanque, el sol vente se contamina rápidamente y al cabo de 2 ó 3 operaciones el aceite y la grasa sólo son acarreados con sol vente contaminado a las superficies por limpiar. Usual mente son usados dos o más tanques y el tanque que con--

tiene solvente sucio (el primero de ellos, que es donde se recibe la mayor parte de los contaminantes) es utilizado para limpieza preliminar. El último de los tanques es el del solvente más limpio y en donde se realiza el enjuague final de las partes metálicas.

Espreado o rociado.- El solvente de limpieza es espreado a través de boquillas y choca con presión sobre la superficie removiendo los depósitos de grasa y otros contaminantes presentes. Se deja escurrir el solvente contaminado a un canal colector (sumidero) que lo deposita en un recipiente del cual es tomado para volverse a usar. - Esta operación se repite algunas ocasiones cada vez con solvente más limpio. Es importante que el espreado final se haga con solvente muy limpio.

Desengrasado con vapor.- La limpieza de metales por medio de vapor desengrasante consiste en remover aceite, grasa o cera de la superficie suspendiéndolos en los vapores de tricloroetileno (u otros solventes clorinados). Los vapores del solvente condensan sobre la relativamente fría superficie del metal y el solvente líquido puro disuelve y enjuaga la grasa y otros contaminantes (manchas).

El desengrase con vapor es a menudo usado en conjunción con otros métodos de aplicación (desengrasado con vapor-inmersión en solvente caliente o a ebullición, desengrasado con vapor-espreado de la superficie con solvente caliente, etc.) en base a como pueda ser requerido por la forma, tamaño, tipo de superficie y la naturaleza de la contaminación a ser removida.

La operación de desengrasado con vapor se hace en máquinas especialmente diseñadas para ello y tiene una única y muy deseable característica que es el hecho de que las partes a desengrasar salen de la máquina perfectamente limpias y secas. Las máquinas están construidas con 1, 2, 3 y ocasionalmente más compartimentos si es requerido por el proceso.

El desengrasador de vapor convencional consiste de un tanque con tapa abierta provisto de un sumidero (recipiente) donde el solvente líquido es colocado. Deben ser previstas las facilidades para el calentamiento del solvente hasta el punto de ebullición para así generar los vapores. Los vapores ascienden y al depositarse sobre la superficie metálica fría se condensan y el solven

te realiza su acción desengrasante. El condensado aceitoso escurre hacia abajo cayendo dentro del sumidero y es re-vaporizado. La operación es repetida hasta que la superficie quede perfectamente limpia (ya sea que el enjuague final se haga por otro método de aplicación o empleando solvente más limpio en cada operación).

El tanque está provisto de chaquetas de enfriamiento o de tubos que circulan agua fría colocados dentro del tanque para limitar el nivel superior de los vapores ya que estos implementos provocan que los vapores condensen (su superficie condensante). El tamaño del equipo está limitado solamente por la economía de la operación.

Uno de los solventes más recomendables para usarse en máquinas de desengrasado es el tricloroetileno debido a su no-flamabilidad, su estabilidad, su bajo calor específico, su alta densidad de vaporización, su comparativamente bajo punto de ebullición y su comparativamente limitada toxicidad (es uno de los hidrocarburos clorinados menos tóxicos). El percloro etileno es también satisfactorio especialmente si hay una gran cantidad de humedad sobre la superficie. Ambos, el tri y percloroestileno son casi No-explosivos.

RECUPERACION DEL SOLVENTE

El solvente usado en las operaciones de limpieza puede ser periódicamente purificado por recuperación de todos los residuos empleados, con equipo y procedimientos adecuados. Esto asegurará una operación eficiente y económica. La forma más práctica es usar un destilador especialmente diseñado para el propósito.

La destilación del solvente debe hacerse antes de que alcance una concentración de contaminación de aproximadamente el 25%. Esta operación deja al solvente relativamente limpio y libre de contaminación asegurando una acción de solvencia máxima, una temperatura de operación reducida e incrementando la capacidad de limpieza total.

En lo que respecta a los destiladores empleados, éstos deben ser limpiados periódicamente. Los residuos que se colectan en ellos deben ser removidos y la frecuencia de ello depende de la naturaleza y cantidad de contaminantes removidos de las partes limpiadas.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA LIMPIEZA CON SOLVENTES

Ventajas.- Las siguientes ventajas pueden ser consideradas para la limpieza con solventes incluyendo el desengrasado con vapor:

- Los solventes remueven aceites y grasas fácil y rápidamente.
- Los solventes son fáciles de aplicar. El equipo de limpieza requiere un mínimo de espacio. En el desengrasado con vapor, el trabajo sale de la máquina (desengrasador) libre de aceite, grasa, caliente, seco y listo para cualquier operación de acabado subsecuente.

Desventajas.- Desafortunadamente hay algunas serias desventajas inherentes en la limpieza con solventes las cuales imponen limitaciones sobre su uso en operaciones de limpieza:

- Los solventes y aplicadores son pronto contaminados con aceite y grasa y por tanto en lugar de removerlos completamente sólo los redistribuye.
- La limpieza con solventes es cara si se lleva a cabo correctamente. Involucra considerable labor manual y es usualmente lenta. En la mayoría de las operaciones de limpieza con solventes, excepto el desengrasado con vapor hay considerable pérdida de solvente ya sea por evaporación o por derrames.
- En general (excepto en el desengrasado con vapor) la limpieza con solventes constituye un peligro de fuego.
- Solamente aceites y grasas son removidos. La limpieza con solventes no es útil para la eliminación de escoria de laminación o herrumbre. Los estimuladores de herrumbre, jabones, sales y otros materiales solubles en agua permanecen sobre la superficie y deben ser removidos o neutralizados.
- Los vapores generados en la limpieza con solventes son en muchas ocasiones tóxicos.
- Algunos solventes clorinados se descomponen ligeramente por acción del calor en contacto con agua y metal formando ácido clorhídrico el cual ataca rápidamente al equipo y causa herrumbramiento de las partes ya limpiadas. Esto puede ser controlado usando solvente es-

tabilizado con bases volátiles, las cuales tienden a neutralizar cualquier ácido que se forma.

COSTO DE LA LIMPIEZA CON SOLVENTES

La limpieza con solventes generalmente es una operación costosa. Los solventes efectivos tienen un alto costo - aún cuando deben ser empleadas grandes cantidades. En una operación de restregado, el solvente es rápidamente contaminado por la suciedad que está siendo removida. Lo mismo sucede en las operaciones de inmersión y espreado. Los solventes pueden ser destilados para volverse a usar, pero la destilación es una operación cara. Hay que considerar también que todos los solventes son más o menos volátiles y por tanto grandes pérdidas pueden ser esperadas de la evaporación.

Dependiendo, por supuesto del costo del solvente usado y el tipo de operación empleada, el costo de la limpieza con solvente estará entre un rango determinado. Se calcula entre \$ 2.50 y \$ 12.00 dólares (50 y 250 pesos mexicanos) por cada 100 ft² de superficie limpiada, (esto es únicamente el costo del material usado, para determinar el costo total de la operación de limpieza se debe considerar también el costo de la mano de obra).

En el desengrasado con vapor las pérdidas por volatilidad son considerablemente reducidas cuando se usa un equipo eficiente; sin embargo el costo de los solventes clorinados es considerablemente más alto que el de los solventes normales, por lo que los gastos totales vienen siendo apenas ligeramente más bajos que los de los otros métodos de limpieza con solventes.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD EN LA LIMPIEZA CON SOLVENTES.

La mayoría de los solventes usados para la limpieza con solventes tienen puntos de flasheo (flash points) relativamente bajos, lo que constituye definitivamente un peligro de incendios y explosiones.

La mayoría de los solventes, particularmente los materiales clorinados son bastante tóxicos, por tanto su uso debe ser recomendado solamente en lugares bien ventilados o en exteriores.

La absorción de muchos de estos materiales a través de la piel puede producir también intoxicaciones por lo que

es recomendable que los trabajadores estén totalmente -- protegidos del contacto con vapores de solvente, así como del líquido mismo.

Para llevar a cabo la operación de limpieza con solventes en forma segura y libre de accidentes deben observarse cuidadosamente ciertas normas y debe siempre emplearse el equipo de seguridad adecuado.

El equipo de seguridad recomendado consta principalmente de lo siguiente:

- Mascarillas de aire con línea directa de tanque de aire comprimido. En su defecto pueden ser usadas mascarillas de aire provisto de un sistema de filtrado adecuado, eliminando así el estorbo que representan las mangueras de aire.
- Guantes de hule.
- Lentes de seguridad o goggles.
- Ropas de trabajo, incluyendo botas de seguridad sin casquillo de acero en la punta ya que la fricción de éste con el piso genera chispa que pueden producir una explosión e incendio y delantales.
- Deben proveerse también del equipo necesario para combatir fuego y estar así prevenidos en caso de incendio.

Las normas que deben ser observadas son las siguientes:

- No debe procederse a ningún trabajo hasta que se hayan establecido las condiciones de seguridad.
- El uso adecuado del solvente tomando en cuenta lo anotado anteriormente en lo que se refiere a los puntos de flasheo y condiciones ambientales de trabajo.
- Si se especifican para la limpieza, solventes aromáticos como xilol, toluol o un hidrocarburo clorinado debe ser provisto de una ventilación adecuada para mantener el contenido de vapores en el aire por debajo de la mínima concentración de toxicidad e inflamabilidad. No debe usarse gasolina por el peligro de fuego o explosión que involucra y menos gasolina que contenga plomo por el peligro adicional del veneno del plomo. Tampoco debe ser usado el benceno debido a su toxicidad e inflamabilidad.

- Deben tomarse precauciones para el manejo y almacenaje de los solventes evitando al máximo el contacto directo con los mismos. En caso de salpicaduras en los ojos, deben ser inmediatamente enjuagados con grandes cantidades de agua fresca y tan pronto como sea posible consultar a un oculista. También deben incluirse las conexiones metálicas a tierra en el almacenaje de los solventes y durante la limpieza sobre todo cuando se está usando un solvente de bajo punto de flasheo como por ejemplo el Toluol.
- El trabajador debe estar siempre atento a lo que está haciendo sin restar atención a los procesos ya conocidos. En caso de duda deberá consultar con su superior y no tratar de hacer las cosas sin estar completamente seguro de lo que va a hacer.

MEZCLAS DE SEGURIDAD

Los así llamados compuestos de seguridad no son siempre seguros. Ellos usualmente consisten de dos diferentes solventes, los cuales en su uso vienen siendo tóxicos o inflamables o ambas cosas, lo que sucede puede verse en la práctica de mezclar Tetracloruro de Carbono (CCl₄) -- con algún solvente del petróleo: Primero, el CCl₄ libera vapores para contaminar el aire; entonces, los vapores desprendidos del solvente del petróleo proveen un potencial peligroso de explosión.

El uso de tales mezclas es doblemente peligroso debido a que los trabajadores suponen que estos materiales son -- muy seguros, lo que trae como consecuencia que una menor atención sea puesta a las normas de seguridad precaucionarias normales.

En páginas anteriores se muestra una lista de solventes de limpieza recomendados con información específica sobre concentraciones máximas permisibles, límites explosivos y otros factores de seguridad.

ACEPTACION

La superficie sometida a una operación de limpieza con solventes será aceptada en el momento de la inspección -- cuando quede libre de todo vestigio de grasa, aceite y suciedad a juicio del inspector.

SOLVENTES RECOMENDADOS

TABLA (XXIX)

SOLVENTE	DESCRIPCION	FLASH POINT (PUNTO DE FLASHER)	LIMITES EXPLOSIVOS	MAXIMA CONCEN TRACION PERMI SIBLE	T O X I C I D A D
Nafta Coal Tar (Alq. de Hulla	Un liquido que consiste esencialmente de tolueno, xileno y algo de benceno (similar al producto del petróleo)	160°C	0.90 a 50% por volumen	200 ppm por volumen 0.80 mg/l	Puede causar dermatitis muy irritante a la piel.
Naftas del petróleo	Un hidrocarburo alifático altamente volátil e inflamable derivado de la destilación del petróleo. Disponibles de muchos grados.	VM & P -3°C Hi-flash arriba de 29°C	0.80 a 5.0% por volumen	500 ppm por volumen 2.0 mg/l	Puede causar dermatitis.
Solvente	Un destilado del petróleo incolore, el cual no deja olor residual. Esencialmente es lo mismo que el M. Spirits.	38°C	0.80 a 45.0% por volumen	500 ppm 2.0 mg/l	Puede causar dermatitis.
Tolueno	Un liquido incoloro, insoluble en H ₂ O con un olor similar al del benceno.	7°C	1.3 a 6.8% por volumen	200 ppm 0.725 mg/l	Puede causar dermatitis.
Percloro	Aproximadamente lo mismo que el tricloroetileno, pero de punto de ebullición más alto y no explosivo a cualquier temperatura.	ninguno	no inflamable	100 ppm 0.537 mg/l	Aproximadamente lo mismo que para el tricloroetileno, puede causar dermatitis.

SOLVENTE	DESCRIPCION	FLASH POINT (PUNTO DE FLASHER)	LIMITES EXPLOSIVOS	MAXIMA CONCEN TRACION PERMI SIBLE	T O X I C I D A D
Turpentina	Líquido volátil e incoloro destilado de los productos del árbol de pino. Consiste de una mezcla completa de hidrocarburos terpénicos.	43°C	0.80% por	100 ppm 0.60 mg/l	Tóxico por inhalación puede causar dermatitis.
Xileno (Xilol)	Un hidrocarburo aromático Blanco-Agua derivado de la destilación del alquitrán de hulla y del hidroforming de una fracción seleccionada del petróleo.	26.5°C	1.0 a 6.0% por volumen	200 ppm 0.868 mg/l	Puede causar dermatitis.
Mineral spirits Petroleum spirits)	Naftas del petróleo mezcladas con un rango de ebullición usualmente en 148°C y 205°C (Disponible en grado pesado o Hi-flash)	38°C (52°C para Hi-Flash)	0.8 a 5.0% por volumen	500 ppm 2.0 mg/l	Puede causar dermatitis.
etil	Líquido transparente incoloro, muy volátil y de olor característico desagradable.	- - -	- - -	- - -	Provoca severa irritación de la gargante, membranas mucosas y ojos. En medio de exposición muy severa provoca dolor de cabeza y vómito.

*MAXIMA CONCENTRACION PERMISIBLE PARA UN PERIODO DE EXPOSICION DE 8 HORAS.

B) LIMPIEZA CON VAPOR

Este tipo de limpieza está bastante generalizado en el campo, para remover grandes concentraciones de suciedad en parte, porque las superficies a ser limpiadas no pueden limpiarse por inmersión o esparcido y porque debido a su tamaño, forma y colocación sería difícil y hasta imposible frotarlas con solventes; pero principalmente debido a la mejor calidad de la limpieza. (Este tipo de limpieza se emplea por ejemplo en puentes y partes ya ensambladas definitivamente).

Debe entenderse que la limpieza con vapor no es un proceso de limpieza total, no es un sustituto para la limpieza con chorro de arena y en algunos casos debe ser complementada por cepillado con alambre o limpieza con chorro de abrasivo (arena). El chorro de arena es empleado para remover completamente herrumbre o pintura vieja hasta exposición del metal desnudo limpio para repintarlo. La limpieza con vapor es empleada para remover la suciedad densa, la cual es rápidamente removida por la acción combinada de la alta temperatura y velocidad del vapor húmedo. La limpieza con vapor puede ser aumentada o mejorada por la acción detergente de un álcali o la acción solvente de limpiadores en emulsión -- (el vapor y el agua caliente cuando se usan para limpiar superficies se usan generalmente con un detergente o con un limpiador alcalino). Las estructuras en las cuales la pintura ha sido destruida hasta el punto que la capa de acabado parece picada, puede ser económicamente repintada por limpieza con vapor y la aplicación de una capa de pintura de acabado nueva. Si se quiere remover la pintura oxidada por medio de cepillado con alambre solamente, resultaría difícil y cara; pero si se emplea una limpieza con vapor seguida por un tratamiento sobre las áreas desgastadas (afectadas) y la aplicación de una capa completa de acabado, la vida de servicio de la pintura puede ser ampliada varios años. Sobre estas bases parece que la limpieza con vapor será más extensivamente usada en el futuro.

Una limpieza con vapor satisfactoria no puede ser llevada a cabo sólo con vapor y agua. Pueden ser incorporados varios detergentes comerciales dentro de la mezcla vapor-agua, los cuales serán muy efectivos en la limpieza de la superficie por pintar. El detergente puede ser lo suficientemente cáustico como para remover toda la pintura buena (firme) tan bien como la suciedad, grasa, tizne, hollín, etc. El agente de limpieza generalmente empleado para la limpieza con vapor de superfi-

cies de acero pintadas anteriormente y que se repintará consiste de una sustancia cáustica media, algún tipo de pulidor o amortiguador y un detergente.

Materiales.- Existe disponible en el mercado varios -- compuestos de limpieza de diferentes intensidades. Una sustancia cáustica fuerte no es recomendable para usarse en la limpieza de estructuras donde se desea remover solamente la suciedad y la pintura suelta sin remover -- hasta donde sea posible la pintura buena; cuando se requiere remover toda la pintura entonces si es recomendable emplear un limpiador cáustico fuerte. El siguiente es un compuesto de limpieza típico:

Metasilicato de sodio.....	45%
Sesquisilicato de sodio.....	43%
Tetrafosfato de sodio.....	10%
Nacconal.....	2%

Los 2 primeros ingredientes son cáusticos moderados, el tetrafosfato de sodio actúa como un pulidor y el nacional es el detergente que emulsifica en el vapor. Este compuesto de limpieza es suministrado en forma de polvo y adicionado al agua en las concentraciones deseadas. - Para la mayoría de los proyectos un 0.5% en peso del -- compuesto de limpieza es suficiente. La concentración real deseada para cualquier trabajo particular está determinado por los requerimientos de limpieza específicos.

En los trabajos de campo usualmente se mezcla el compuesto de limpieza en un tanque abastecedor sobre la -- unidad de una solución concentrada y bombean el concentrado dentro de la línea de alimentación de agua. Estos tanques están equipados con medidas o graduadores -- marcadas en intervalos de 5 galones. Por cada 5 galones de agua es adicionada una libra de solución concentrada. De tal forma que si se desea rellenar el tanque cuando está parcialmente lleno con solución, el número sobre el medidor en el nivel del agua indica el número de libras del compuesto que tienen que ser adicionadas. Este peso es adicionado y el tanque es rellenado con -- agua fresca. De esta manera la misma concentración es mantenida en el tanque abastecedor. El porcentaje de -- compuesto de limpieza en la solución concentrada será -- entonces

$$\frac{1}{5 \times 8.33} = 2.4\% \text{ en peso}$$

Si la concentración deseada en la boquilla es de 2.55% - la relación de agua fresca solución bombeada es aproximadamente de 4.7 a 1. Para un mejor control de la concentración de detergente en la boquilla de salida se -- pueden realizar periódicamente determinaciones por métodos de titulación.

Equipo.- El equipo para limpieza con vapor consiste en general de un pequeño calentador tipo flash, un quemador atomizante de baja presión una bomba impulsora para abastecer el agua y una máquina de gasolina que suministra la potencia; la unidad entera es montada sobre un trailer adecuado. La operación de la unidad no debe de pender de las facilidades locales ya que bastante a menudo será usada en áreas remotas.

El vapor debe ser abastecido a la boquilla a una temperatura de aproximadamente 150°C y una presión de 150 a 200 psi preferentemente. El consumo de agua por boquilla oscila entre 200-250 galones por hora. El vapor -- que contiene el detergente puede ser dirigido contra la superficie a ser limpiada por medio de una boquilla en forma cilíndrica o de abanico; existen varios tipos de boquillas para vapor dependiendo del problema de limpieza encontrado: Para superficies anchas la boquilla de abanico es más recomendable; la boquilla cilíndrica es mejor para las áreas más pequeñas e inaccesibles.

Si se requiere algún desengrase o restregado para remover tizne o mugre, una boquilla ajustada a un cepillo -- de fibra está disponible.

Métodos.- En la limpieza con vapor, el vapor o agua caliente bajo presión es dirigido contra el trabajo a ser limpiado a través de una manguera conectada con una boquilla apropiada. El operador debe sostener la cara de la boquilla a aproximadamente 12-16 cms. de distancia a la superficie que se está limpiando e inclinarla ligeramente en la dirección del viaje. La superficie debe -- primero ser mojada para permitir al compuesto de limpieza aflojar la materia extraña la que posteriormente es removida por medio de un pase de limpieza. El intervalo de tiempo entre el humectante y la limpieza debe ser regular de acuerdo al grado de acumulaciones de suciedad. La velocidad de pasada sobre una área es comparable a la usada en el pintado por aspersión.

El operador no debe dirigir la corriente de vapor a un-

lugar sobre la superficie durante algún intervalo de tiempo ya que es bastante fácil calcinar la pintura buena. Varios pases rápidos son mejores que un pase muy lento. El uso de la boquilla cilíndrica debe restringirse a la limpieza de áreas que no pueden ser alcanzadas con la boquilla tipo abanico (juntas de armadura, etc.)

Para determinar si la superficie está limpia, el operador debe recurrir al sentido "feeling". Primero siente el área que no ha sido limpiada. Estará sucia y polvosa. Enseguida siente una área que solamente ha sido humectada. Esta se sentirá pulida y una ligera fricción--mostrará una mancha de suciedad. Si el área está perfectamente limpiada, la superficie se sentirá firme y algo pegada pero no debe estar pulida o sucia al tacto. En un 90% de los casos, las áreas que son limpiadas propiamente pueden ser verificadas a simple vista.

En la limpieza con vapor, debe eliminarse la posibilidad de que algún compuesto de limpieza que haya sido usado permanezca sobre la superficie provocando un inadecuado enlace (unión) de la pintura fresca con la superficie. Es cierto que cierta cantidad de líquido permanece sobre las superficies horizontales después de la limpieza, por tal motivo el programa de limpieza debe seguirse desde la cima (tope) hasta el fondo muy sistemáticamente. El último pase de la pistola de vapor sobre cualquier superficie debe hacerse para remover la solución sobrante. En algunas ocasiones, depósitos excesivos de solución de limpieza sobre secciones que no pueden desaguarse (secarse) adecuadamente, requieren el uso de chorros de agua fresca para ser eliminados.

Es importante que la concentración de detergente no lleve a ser excesiva. Concentraciones arriba del 0.75% removerán en la mayoría de los casos pintura buena en una cierta cantidad. Es muy buena práctica mantener la concentración del detergente en el vapor al 0.5% o menos al llevar a cabo las operaciones de limpieza; sin embargo esto no puede hacerse una regla invariable debido a que se ha demostrado que cada trabajo tiene una concentración recomendable determinada la cual limpia perfectamente y al mismo tiempo no afecta materialmente la pintura buena.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA LIMPIEZA CON VAPOR

Ventajas.- Muchos tipos de contaminantes son eficientemente removidos. La limpieza con vapor es fácilmente usada sobre estructuras construídas de difícil acceso y en regiones remotas donde no se cuenta con servicios necesarios; el equipo empleado para la limpieza es portátil, de fácil manejo y transportación y no muy costoso. En general, este método de limpieza no altera la superficie metálica o sea que no hay cambio en dimensiones.- La labor se lleva a cabo de una manera segura, y con una considerable reducción de costos.

Desventajas.- La limpieza con vapor generalmente deja una superficie alcalina que no es recomendable para pintarse a menos que sea enjuagada adecuadamente. Tiene también el inconveniente de que a causa de un sobre esparcido puede contaminar secciones listas para pintarse y adversamente afectar especialmente partes pintadas. - Aunque es un método de limpieza comparativamente más costoso no remueve herrumbre y escoria.

COSTO DE LA LIMPIEZA CON VAPOR

En este tipo de limpieza son consumidas grandes cantidades de vapor y productos químicos, desafortunadamente no hay posibilidad de recuperar el limpiador para reusarlo, por tal motivo el costo de este tipo de limpieza resulta mayor que el de la limpieza con álcali, sin embargo debido a su mayor eficiencia la limpieza no resulta tan costosa como pudiera esperarse. Los costos de los materiales usados en la limpieza pueden variar desde \$25.00 a \$300.00 por 100 ft² de superficie.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD EN LA LIMPIEZA CON VAPOR

El peligro de quemaduras con vapor está siempre presente cuando el vapor se está usando a alta presión por tanto, el operador deberá estar equipado con guantes especiales. Si en la operación está presente algún álcali, las precauciones descritas en el método de limpieza alcalina deberán ser observadas. Debido a los riesgos de un sobre-esparcido (over-spray), los ojos y la piel deben ser perfectamente protegidos. Cuando la operación de limpieza se realiza en los altos de un edificio, el tráfico de peatones debe ser prevenido de las operaciones conducidas arriba para evitar contactos acciden-

tales con materiales corrosivos. Es conveniente prevenir también a los automovilistas, ya que un acabado automotivo puede mancharse con los residuos resultantes de las operaciones de limpieza aún cuando se usan concentraciones bajas de detergentes si se permite que la solución permanezca sobre el mismo durante un corto tiempo. La acumulación de hidróxido, sales y depósitos de azufre particularmente en áreas industriales y que son removidos en la limpieza con vapor pueden ser perjudiciales para los acabados automotivos AZUL y VERDE CLARO si se permite que permanezcan sobre ellos toda la noche.

C) LIMPIEZA ALCALINA

Introducción.- La limpieza con álcali es más eficiente, más barata y menos peligrosa que la limpieza con solvente. Los principales métodos de aplicación de limpiadores alcalinos incluyen: Limpieza con tanques de inmersión, limpieza por esparcido a presión y limpieza electrolítica; aunque en algunas ocasiones la preparación de superficies puede requerir el uso de operaciones de cepillado o restregado (éstas no son usualmente tan efectivas como los procesos de inmersión y esparcido).

Los limpiadores alcalinos son disueltos en agua y usados a altas temperaturas. Limpian por saponificación ciertos aceites y grasas y sus componentes activos de superficie lavan otros tipos de contaminantes. La remoción de suciedad es por detergencia o saponificación más que por solvencia. La suciedad es removida desplazándola de la superficie más que por solución directa como en la limpieza con solventes. Una vez que la suciedad ha sido desplazada, puede ser emulsificada por todo el cuerpo de el limpiador o puede ser parcial o totalmente saponificada por el limpiador con la formación de jabones solubles en agua.

Una de las características de un limpiador alcalino es su habilidad para mantener una razonablemente alta alcalinidad a pesar de la introducción de suciedades ácidas o del consumo de el álcali en la saponificación de aceites. Su habilidad para limpiar depende de su pH alto, pierde esta habilidad rápidamente a un pH de 8.5 y menor. Sin embargo, un pH alto sólo no es el único criterio para un buen limpiador alcalino. Otros factores tales como una acción amortiguadora (buffering action) (habilidad para mantener un pH dado) una acción de enjuagabilidad, humectabilidad y emulsificabilidad, pro--

propiedades detergentes, habilidad secuestrante, etc., deben ser considerados en la formulación de un limpiador alcalino eficiente. Como las sales alcalinas solas no tienen todas las propiedades necesarias, limpiadores alcalinos combinados son casi exclusivamente usados en la actualidad.

A menudo son adicionadas a los limpiadores alcalinos -- emulsiones de solventes del petróleo o hidrocarburos para incrementar la velocidad y eficiencia en la remoción de aceite y grasa. También agentes activos de superficie tales como agentes humectantes, jabones y detergentes sintéticos y agentes emulsificadores son adicionados con el mismo propósito.

Los limpiadores alcalinos más activos deben ser combinaciones de álcalis y los materiales anteriormente mencionados y estas combinaciones diferirán dependiendo del problema de limpieza de cualquier superficie metálica dada y del tipo de suciedad o suciedades a ser removidas.

Las funciones de varios componentes de los limpiadores alcalinos convencionales (agentes humectantes, emulsificantes, saponificantes, detergentes, constructores, etc.) pueden ser brevemente descrito como sigue:

- Agentes Humectantes.- Tienen la habilidad de hacer que el agua moje las superficies por decrecimiento de la tensión superficial. Esto, por sí mismo no causará necesariamente limpieza ya que el agua puede por ejemplo tan solo mojar la superficie aceitosa sobre el metal pero no removerla. Sin embargo, sin esta acción humectante no sería removida de la superficie una vez que su adhesión a la superficie del metal fuera rota.

- Agentes Detergentes.- Tienen el efecto de formar complejos de absorción entre el agente y la suciedad y entre el agente y la superficie del metal, destruyendo el complejo que antes existía entre la suciedad y el metal. Esto permite que el agua y el agente humectante mojen la superficie del metal y desprendan la suciedad o película aceitosa presente.

- Agentes Emulsificantes.- Suspenden la película removida, previene su re-depositación sobre la superficie del metal y permite que cualquier solución adherente -- sea fácilmente limpiada con chorro de agua limpia dejando una superficie metálica libre de cualquier contaminante.

- Agentes Saponificantes.- Por acción química, soluble en agua derriten ciertos tipos de contaminantes removidos por acción humectante y detergente de la superficie del metal y al igual que los agentes emulsificantes previenen la re-depositación sobre la superficie de los contaminantes removidos.

- Agentes Constructores.- Su función es mejorar la actividad de los agentes humectantes y detergentes a una concentración dada y mejorar también otras propiedades de limpieza definidas menos fácilmente.

En la aplicación de cualquier limpiador alcalino, una consideración importante es la de la temperatura; el calor mejora la actividad del limpiador, mejora la efectividad de los componentes del mismo e incrementa la solubilidad de los contaminantes de superficie. Los limpiadores alcalinos pueden ser particularmente efectivos en la remoción de pintura debido a que el álcali saponifica el vehículo de la pintura seca. Siendo que los jabones formados son solubles en agua, los contaminantes -- son más fácilmente removidos lavando con agua después -- de la saponificación, y la naturaleza adhesiva (adhe-- sión natural) de la pintura vieja es reducida por ac-- ción química.

MATERIALES PARA LIMPIEZA ALCALINA

Los limpiadores alcalinos más comúnmente usados son: - Fosfato trisódico (Na_3PO_4), sosa cáustica (NaOH), álcalis silicados tales como metasilicato de sodio y ortosilicato de sodio, soda ash (Na_2CO_3), borax (tetraborato de sodio), combinaciones de los limpiadores alcalinos anteriores, utilizados como agentes secuestrantes adicionales para prevenir la precipitación de jabones de calcio y magnesio insolubles en áreas de aguas duras. - El pirofosfato tetrasódico, hexameta fosfato y muchos agentes secuestrantes orgánicos tienen la habilidad de formar compuestos complejos solubles con calcio y magnesio y previenen su precipitación. Tales compuestos son también a menudo usados para el tratamiento de agua para calderas con el afán de prevenir la precipitación de cal e incrustación de los tubos de la caldera.

Algunos ejemplos de limpiadores alcalinos mezclados son mostrados a continuación:

	% peso
Metasilicato de sodio.....	60
Soda ash.....	10
Pirofosfato tetrasódico.....	10
Pirofosfato trisódico.....	10
Agente humectante.....	<u>10</u>
	100
Sosa cáustica.....	92
Soda ash.....	2
Fosfato trisódico.....	<u>6</u>
	100
Fosfato trisódico.....	32
Pirofosfato tetrasódico.....	20
Carbonato de sodio.....	26
Sosa cáustica.....	16
Agente humectante.....	<u>6</u>
	100

METODO DE LIMPIEZA ALCALINA

Los tres métodos más efectivos de aplicación son:

Limpieza con tanque de inmersión
 Limpieza por eschado a presión
 Limpieza electrolítica

Para limpieza de superficies de acero estructural, son algunas veces necesarios métodos manuales como restregar o cepillado aunque con ellos no se obtienen los más-satisfactorios resultados.

En un proceso con tanques de inmersión o remojo, las partes contaminadas se sumergen en soluciones alcalinas calientes contenidas en los tanques. Se recomienda -- usar más de un tanque, la mayor parte de la grasa pesada, aceite y suciedad será removida en el primer tanque y así la solución de limpieza alcalina en el segundo -- tanque se contaminará menos rápido y limpiará las superficies metálicas más efectivamente. Cuando la solución-limpiadora del primer tanque tiene que ser reemplazada, puede hacerse con la solución ligeramente contaminada -- del tanque número dos. En los tanques de limpieza por inmersión o remojo alguna agitación mecánica es esencial. El efecto de agitación es indudablemente impor--

tante y se asegura que es un factor que ocasiona que este método rinda una limpieza superior como sucede cuando la temperatura es elevada.

En este proceso los limpiadores alcalinos son usualmente empleados a concentraciones de 4 a 10 onzas por galón y a temperaturas desde 82°C. Es recomendable que los tanques estén equipados con canal para derrames de tal manera que el aceite y cualquier otra contaminación flotando en la superficie del baño pueda ser eliminada periódicamente.

En la preparación de un baño limpiador alcalino es mejor calentar el agua a 71-82°C y entonces adicionar el limpiador alcalino rociándolo para prevenir que las sales se precipiten al fondo del tanque y formen una masa sólida que se disuelve lentamente.

En el proceso de limpieza por espreado, las partes contaminadas son espreadas con la solución de limpieza alcalina usualmente mediante un sistema mecánico. Para mayor flexibilidad de aplicación la solución de limpieza alcalina puede ser bombeada de un recipiente con calentamiento y aplicada a la estructura metálica a ser limpiada bajo presión a través de una boquilla o esprea tipo rastrillo.

En general, los limpiadores alcalinos aplicados por espreado se usan sin adicionarles agentes activos para eliminar espuma excesiva. Sin embargo, en algunos casos es preferible usar una presión más baja e introducir algunos agentes activos de superficie para facilitar la limpieza. La formación de espuma puede ser controlada en alguna extensión por la adición de agentes antiespumante, tales como compuestos de silicón o kerosina. Los compuestos de silicón pueden tener efectos perjudiciales sobre el comportamiento de la pintura y deben usarse solamente después de checar cuidadosamente su conveniencia.

Las concentraciones de álcali usadas en lavadores de espreado a presión son en general considerablemente más bajas que las que se usan en los otros métodos. Las concentraciones usuales recomendadas son de 0.5 a 2.0 onzas por galón y el limpiador se cambia algo más frecuentemente que en la limpieza por inmersión para evitar acumulación excesiva de suciedad que obstruiría las boquillas de espreado. Las temperaturas recomendadas son de 71 y 93°C y el tiempo de limpieza oscila entre 25 y 90 segundos.

En la limpieza alcalina electrolítica se generan grandes cantidades de gas que envuelven a la suciedad. El gas puede ser generado en el ánodo o en el cátodo. Los limpiadores electrolíticos usados son empleados a altas concentraciones y temperaturas. Las concentraciones recomendadas son de 6 a 14 onzas por galón a temperaturas desde 82° a 99°C. Si el proceso se opera a 6 volts, serán usadas densidades de corriente del orden de 50 amper/ft² (el rango de densidad de corriente es de 25 a 199 amper/ft²). Si es que los limpiadores electrolíticos usualmente contienen exceso de sosa caústica y son usados a altas concentraciones y temperaturas, es importante una alta conductividad.

En un proceso de cepillado o restregado el limpiador alcalino es aplicado manualmente. Sin embargo, debido a los requerimientos de alta temperatura y al efecto de remojo requerido por todos los componentes del baño para hacer un trabajo de limpieza efectivo, la aplicación manual es generalmente sugerida solamente cuando otros métodos son imposibles o imprácticos.

Se debe tener en mente siempre que es preferible usar limpiadores comerciales (ya manufacturados) más que intentar una "MEZCLA HECHA EN CASA". El costo diferencial entre éstos dos es despreciable y el material comercial posee la ventaja substancial de estar formulado por compañías que se especializan en los requerimientos de limpieza alcalina. Sin embargo, si por falta de material comercial es necesaria la formulación de un limpiador en el que se pueda confiar o de emergencia, se pueden obtener buenos resultados usando dos onzas más o menos de fosfato trisódico por galón de agua, al cual se adiciona una o dos onzas de jabón o una cantidad adecuada de otro detergente. Esta solución es mejor usarla caliente, si se usa fría es conveniente aumentar la concentración. Esta concentración es recomendable para esparcido o refregado; para inmersión, la concentración puede ser triplicada. Una vez terminada la limpieza, el limpiador debe ser lavado de la superficie ya que si no se hace, la mezcla ablandará y eventualmente aflojará más las pinturas. Cuando el objeto primordial de la operación de limpieza es la remoción completa de pintura, la sosa cáustica puede sustituir al fosfato trisódico en la formulación.

Como se anotó anteriormente si la superficie que ha sido limpiada con álcali va a ser subsecuentemente pintada, es importante enjuagarla perfectamente, ya que el álcali residual reacciona con las películas de pintura-

formando jabones (sales), los cuales destruyen la adhesión de la pintura a las superficies metálicas. Este enjuague es hecho con agua y por tanto debe considerarse el hecho de que muchos abastecedores de agua son suficientemente alcalinos o contienen en considerable cantidad compuestos de calcio y magnesio reactivos alcalinamente que aún un perfecto enjuague con agua no es confiable. Por esta razón y siempre que sea posible las superficies metálicas deben ser tratadas dándoles un enjuague final con ácido crómico diluido o una mezcla de ácido crómico y fosfórico. Esto no solo neutraliza completamente cualquier álcali sobre la superficie, sino que también deja una delgada película de ácido crómico que es un excelente inhibidor de corrosión y prolongará enormemente la vida de la pintura.

El aspecto del enjuague final después de la limpieza alcalina se debe recalcar ya que es vital para el buen desempeño del recubrimiento aplicado. Como ya se dijo anteriormente, el enjuague se hace con agua la cual debe estar caliente o a presión o preferiblemente ambas cosas. Para checar la efectividad del lavado se coloca un papel medidor universal de pH contra la superficie húmeda, dicho potencial no debe ser mayor que el del agua de lavado. Siguiendo el procedimiento de enjuague se mencionó un tratamiento que debe hacerse a la superficie, este tratamiento consiste en que la superficie metálica debe ser PASIVADA enjuagándola como ya se mencionó con una solución de ácido crómico al 0.1% en peso, pudiéndose usar también soluciones de dicromato de sodio y potasio; con esto se evita el efecto dañino de los residuos de álcalis sobre la adhesión de la pintura. Este enjuague pasivador puede ser aplicado por aspersión, fregado o inmersión.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA LIMPIEZA ALCALINA

Ventajas.- Los álcalis son limpiadores altamente efectivos. Remueven rápidamente aceites, grasas y otras suciedades como estimuladores de herrumbre soluble, etc.- En general, la limpieza alcalina es económica y las soluciones de limpieza alcalina están libres de vapores tóxicos.

Desventajas.- Los álcalis son menos efectivos que los solventes para remover aceites pesados o carbonizados, aceites inhibidores de herrumbre, etc. Usados como único medio (solos) dejan una superficie alcalina que no es adecuada (recomendable) para el subsecuente pintado-

de la superficie. Sin embargo, un enjuague acidulado - diluido supera este defecto.

COSTO DE LA LIMPIEZA ALCALINA

Los costos para la limpieza alcalina varían considerablemente dependiendo de la complejidad del limpiador -- usado y la cantidad de agentes activos de superficie empleados, los cuales generalmente son de costo elevado; -- de la concentración a la cual el limpiador alcalino es usado y también de la cantidad de suciedad a ser removida. Cuando las partes a ser limpiadas están excesivamente contaminadas, los recipientes para limpieza con álcali pueden tener que ser vaciados y renovar el limpiador una o quizá dos veces por semana. Cuando la suciedad a ser removida es ligera, un baño (recipiente) para limpieza alcalina puede ser usado por varias semanas o en casos excepcionales varios meses antes que la renovación llegue a ser necesaria. Estas variantes también -- deben ser consideradas al determinar el costo de la limpieza. Un costo aproximado promedio de la limpieza con álcali puede oscilar entre \$18.00 y \$25.00 por cada 100 ft² de superficie.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD EN LA LIMPIEZA ALCALINA

Todos los materiales alcalinos son más o menos corrosivos. Los limpiadores alcalinos compuestos con altas -- concentraciones de sosa cáustica pueden causar serias quemaduras. Por tanto, algunas precauciones deben ser observadas en el manejo de todos los limpiadores alcalinos.

Los operadores deben estar equipados con guantes de hule y delantales además de la ropa normal de trabajo; deben también ser provistos con respiradores para evitar la inhalación de polvo cáustico, el cual es extremadamente irritante a la mucosa nasal, y goggles para proteger los ojos contra salpicaduras de compuestos de limpieza alcalina concentrados cuando ellos son adicionales al baño (recipiente).

Si accidentalmente es salpicada solución de sosa cáustica dentro de los ojos, deben ser inmediatamente enjuagados con grandes cantidades de agua fresca y continuar -- con un tratamiento con una solución de ácido bórico. Un médico debe ser consultado tan pronto como sea posible.

Si la sosa entra en contacto con cualquier parte del -- cuerpo ésta debe ser rápidamente enjuagada con grandes-- cantidades de agua fresca y entonces tratada con vina-- gre diluido. Aquí también un médico debe ser consulta-- do inmediatamente.

El ácido crómico y los cromatos pueden causar dermati-- tis, por tanto deben tomarse precauciones para proteger la piel y manos de los trabajadores.

D) LIMPIEZA ACIDA

Introducción.- Este procedimiento está totalmente pro-- bado por muchos años de experiencia, limpia el metal -- tratándolo con soluciones de ácido ortofosfórico que -- contienen algunos solventes tales como alcoholes, éte-- res, cetonas, etc. y para ayudar en la remoción de acei-- tes y grasas se utilizan también detergentes y agentes-- humectantes para auxiliar en el humectado de la superfi-- cie y remoción de suciedad.

La limpieza con ácido remueve efectivamente grasas, - - aceite, suciedad y otros contaminantes de superficie y-- remueve o neutraliza estimuladores de herrumbre que no-- se distinguen fácilmente; a diferencia de la limpieza - con álcali o emulsión, también remueve el herrumbre no-- muy adherido y graba minuciosamente la superficie del - metal mejorando sus propiedades de adhesión a la pintu-- ra. El buen éxito de la limpieza con ácido puede atri-- buirse a dos importantes acciones químicas.

- La remoción del volumen de contaminantes de la super-- ficie.
- El tratamiento deja sobre la superficie trazas de áci-- do fosfórico, el cual pronto reacciona con la superfi-- cie del metal produciendo una delgada película de fos-- fato de hierro insoluble. Esta delgada película ofre-- ce una buena base para las películas de pintura subse-- cuentemente aplicadas y también retardará un poco el-- desarrollo de corrosión debajo de la película de pin-- tura aplicada.

Los limpiadores de ácido fosfórico usados a altas tempe-- raturas son capaces de remover cualquier cantidad de es-- coria de laminación presente. Sin embargo, en algunos-- casos serían requeridas muchas horas y aun días de in-- mersión para lograr una completa remoción. Esta serfa--

una operación bastante cara y tardada cuando se quisiera remover escoria de laminación muy pesada; por tal razón cuando esto suceda, lo indicado es un - - - - - PICKLING (Inmersión de superficies metálicas en soluciones ácidas muy concentradas) de ácido sulfúrico seguido de un tratamiento limpiador con ácido fosfórico para remover el sulfato residual estimulador de la corrosión e impartir una superficie más pasiva al metal más limpio.

MATERIALES PARA LIMPIEZA ACIDA

En general, los limpiadores de metal con ácido fosfórico y removedores de herrumbre son similares en composición ya sea que se apliquen por inmersión, brocha o espreado. Estos limpiadores difieren únicamente en las concentraciones relativas de los solventes, ácido fosfórico, agentes humectantes, etc.

A continuación están dadas algunas formulaciones típicas de compuestos acondicionadores de metal y removedores de herrumbre:

TIPO 1: WASH-OFF

Acido Fosfórico al 85%	-----	118.00 ml
Tritón N-100	-----	5.00 ml
Butil Cellosolve	-----	40.00 ml
Agua	-----	lo suficiente para completar un volumen de 250 ml.

TIPO 2: WIPE-OFF

Acido Fosfórico	-----	35.00 ml
Tritón N-100	-----	5.00 ml
Butil Cellosolve	-----	62.00 ml
Agua	-----	lo suficiente para completar un volumen de 250 ml.

Estas formulaciones son diluidas antes de usarse con tres veces su volumen de agua.

MÉTODOS DE APLICACION DEL LIMPIADOR ACIDO

Existe un gran número de limpiadores de metal y remove-
dores de herrumbre con base en el ácido fosfórico, cada
uno diseñado para un trabajo de limpieza particular. Es-
tos limpiadores pueden ser aplicados sobre la superfi-
cie por tres diferentes métodos:

Inmersión

Manual (brocha o cepillo)

Espreado

Cuando el trabajo de limpieza no es frecuente y el área
a ser tratada es muy grande, la aplicación más económi-
ca y práctica es por medio de brocha o cepillo. En es-
te tipo de aplicación son usados dos tipos principales-
de procedimientos: Wash-Off y Wipe-Off.

Método Brush-On tipo Wash-Off

Este método se usa cuando se tiene disponible suficien-
te cantidad de agua limpia para remover los productos -
de limpieza. Esta agua puede estar contenida en un tan-
que y ser usada a cubetazos o ser tomada directamente -
de la llave y aplicada con manguera. El equipo requeri-
do para el empleo de este método es el siguiente:

- Cubetas, pilas, tanques u otros recipientes adecuados,
resistentes al ácido que deben usarse para almacenar la
solución de ácido diluido. Los materiales de construc-
ción de los recipientes mencionados pueden ser: madera-
hule, acero inoxidable, o pueden estar recubiertos con
una capa de neopreno; recipientes de acero ordinario se
pueden usar por un período de tiempo corto y los reci-
pientes galvanizados no deben ser usados.

- Cepillas manuales de mango largo del tipo usado para
limpiar ventanas que se usan para aplicar la solución -
sobre la superficie.

- Una cubierta de asfalto, concreto, etc. adecuadamente
drenada, sobre la cual el trabajo es enjuagado con agua
por medio de cubetas y esponjas o preferiblemente man-
gueras de agua y esponjas.

- Si es posible, un tanque con agua fresca sin tapa su-
perior equipado con canal de desespumado y orificio de-
salida para derrames o sobre-llenados que puede ser usa-
do para enjuagar por inmersión las partes.

- Un dispositivo para enjuague con agua caliente, si se tiene disponible debe ser usado para facilitar el secado.
- Equipo de secado: Aire comprimido limpio para limpiar grietas, hendiduras, juntas, bordes, etc. Si se tienen disponibles pueden ser usados hornos para secar el trabajo perfecta y rápidamente antes de pintarse.
- Guantes de caucho, delantales, botas, goggles y ropa de trabajo son necesarios para los trabajadores.
- Si las condiciones de producción lo garantizan, pueden instalarse pilas o canales para recuperar el limpiador, desecarlo y reusarlo.

El proceso Wash-Off consiste de la siguiente secuencia de operaciones:

- a).- Operación de prelimpieza.
- b).- Preparación de la solución de limpieza.
- c).- Aplicación del limpiador diluido y tratamiento de la superficie.
- d).- Enjuague de la superficie.
- e).- Secado y pintado de la superficie.

a).- OPERACION DE PRELIMPIEZA

Es una operación que no necesariamente debe llevarse a cabo. Cuando una superficie está revestida con aceite no combustible, no se requiere prelimpieza de la misma. Sin embargo, si están presentes recubrimientos pesados de grasa o compuestos de extracción es recomendable removerlos antes de la aplicación del limpiador de ácido fosfórico para prevenir la prematura contaminación del baño de limpieza y acondicionamiento. Esto puede hacerse restregando la superficie con solventes adecuados, prelimpiándola en agua caliente o usando una solución alcalina seguida de un completo enjuague con agua limpia.

b).- PREPARACION DE LA SOLUCION DE LIMPIEZA

Se diluye una parte del limpiador ácido con tres partes de agua para superficies con herrumbramiento moderado.-

Si el herrumbramiento es pesado en partes de la superficie, se hace una solución más fuerte diluyendo una parte del limpiador ácido con una o dos partes de agua. La experiencia y las pruebas que se vayan efectuando indicarán la concentración más efectiva para cualquier aplicación específica. El limpiador puede ser diluido en las mismas cubetas o pilas, de las cuales es aplicada al metal.

c).- APLICACION DEL LIMPIADOR DILUIDO Y TRATAMIENTO DE LA SUPERFICIE.

Se aplica libremente el limpiador diluido a la superficie y se restrega perfectamente. Si es necesario, re-aplicar la solución en cantidades libres sobre las áreas herrumbreadas hasta que todo el herrumbre y/o aceite sea removido. Las áreas unidas (soldadas) deben ser bien restregadas con la solución limpiadora y los lugares de herrumbre muy pesado o reacto deben ser finamente lijados (con lija para acero) mientras estén todavía húmedos. En cada aplicación es muy importante dar un tiempo determinado para permitir que la solución actúe.

d).- ENJUAGUE DE LA SUPERFICIE

Después que el herrumbre y la grasa son removidas y antes que la solución de limpieza seque, la superficie debe ser perfectamente enjuagada con agua limpia. Esto puede hacerse con el chorro de agua de una manguera, con esponja y cubeta de agua frecuentemente renovada o en un tanque con agua corriente (por inmersión). Si es posible enjuagar con agua caliente es mucho mejor ya que se acelerará el proceso de secado de las superficies.

e).- SECADO Y PINTADO DE LA SUPERFICIE

Una vez que la superficie ha sido limpiada y enjuagada debe secarse. El secado puede llevarse a cabo por frotado de la superficie con trapos limpios, con chorro de aire comprimido limpio y empleando hornos adecuados. En el secado de la superficie se debe poner especial interés en las costuras, juntas y hendiduras, las cuales deben ser sopleteadas con aire comprimido limpio y seco y la humedad rociada debe ser frotada con trapos limpios y secos para secarla. Una vez que el trabajo está perfectamente seco, queda listo para ser preparado y pintado.

Método Brush-On tipo Wipe-Off

Se usa cuando no se tiene disponible un enjuague con agua limpia o cuando resulta impráctico enjuagar los productos de limpieza como por ejemplo sobre estructuras armadas de partes muy grandes o en procesos de producción intermitentes. En estos y en casos similares los productos de limpieza son removidos restregando la superficie con trapos mojados limpios y después con trapos secos limpios.

El equipo requerido por este método de limpieza es el mismo que para el tipo Wipe-Off, excepto que el equipo para el enjuague con agua y la cubierta de lavado no son necesarios.

El proceso Wipe-Off consiste de la siguiente secuencia de operaciones:

- a).- Aplicación del limpiador diluido y tratamiento de la superficie.
- b).- Tiempo que se da para que la solución actúe.
- c).- Restregado de la superficie con trapos mojados y limpios.
- d).- Restregado de la superficie con trapos secos y limpios.
- e).- Secado y pintado de la superficie.

Las operaciones de pre-limpieza y preparación de la solución de limpieza son las mismas que para el tipo Wash-Off. En lo que se refiere a la remoción de los productos de limpieza empleados, una vez que el herrumbre y la grasa son removidos y antes que la solución de limpieza seque, la superficie debe restregarse perfectamente con trapos húmedos, limpios y exprimidos hasta que estén casi secos. A continuación la superficie debe tallarse con trapos secos y limpios para lograr que quede lo más seca posible. El proceso de secado y pintado son iguales que para el tipo Wash-Off.

Quando se tiene la posibilidad de que las partes a ser limpiadas puedan ser convenientemente tratadas en tanques, los limpiadores de ácido fosfórico pueden ser aplicados por inmersión. Cuando se va a remover herrumbre relativamente ligera se puede emplear un baño de ácido

frío o caliente y ambos requieren un tanque resistente - al ácido (recubierto con hule o plomo), mientras que las soluciones de enjuague pueden estar contenidas en tanques de acero medio (acero dúctil, acero sobre carbón menos del 0.25%).

LIMPIEZA POR INMERSION EN BAÑO ACIDO CALIENTE

El proceso consiste de los siguientes pasos:

- a) Pre-limpieza si es necesario.
- b) Inmersión del trabajo en el limpiador diluido caliente.
- c) Enjuague del trabajo con agua caliente o fría.
- d) Enjuague del trabajo en agua acidulada caliente (ácido crómico diluido).
- e) Secado y pintado de la superficie-

El baño de limpieza con ácido caliente debe calentarse a la temperatura más baja posible (entre la temperatura ambiente y 82°C) que sea práctica para procesar el trabajo en el tiempo asignado. Siendo que la fuerza del limpiador (concentración) y la temperatura determinan el tiempo de limpieza, estos factores deben ajustarse de tal forma que el tratamiento sea completo en un tiempo razonable (generalmente 10-15 minutos máximo). Si el tiempo requerido para remover escoria y herrumbre en soluciones fuertes de limpiador a altas temperaturas excede de 10 ó 20 minutos, será una indicación de la conveniencia de tratar la superficie en baño de ácido muriático o sulfúrico (PICKLING) convenientemente inhibidos, enjuagando posteriormente el trabajo y entonces tratándolo con un limpiador de ácido fosfórico. El enjuague final de 30 a 45 segundos de duración se hace normalmente a una temperatura tan baja como sea posible entre 49° y 82°C, sin impedir el subsecuente secado.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA LIMPIEZA CON ACIDO

Ventajas.- Estos limpiadores remueven los tres tipos de contaminantes de superficies de una manera más o menos eficiente dependiendo del limpiador seleccionado y el método de su aplicación. Además, los residuos del ácido de limpieza son generalmente benéficos. Para este tipo-

de limpieza los costos son moderados y la aplicación es generalmente fácil.

Desventajas.- Los procesos de inmersión y esparcido requieren equipo de prueba de la concentración o fuerza del ácido en las estaciones de limpieza. Además, los buenos resultados dependen directamente del cuidado y habilidad del operador. Otra pequeña desventaja se encuentra en el hecho de que los operadores se encuentran siempre en peligro de quemaduras por estar en contacto continuo con este tipo de materiales corrosivos.

COSTOS DE LA LIMPIEZA ACIDA

Los costos para la limpieza con ácido varían ampliamente dependiendo del tipo de limpiador usado, la concentración empleada, el método de aplicación y el grado de limpieza y remoción de herrumbre. En la limpieza por cepillado manual donde la solución de limpieza no puede ser re-usada, los costos de los materiales generalmente van desde \$28.00 a \$56.00 por cada 100 pies cuadrados de superficie. La limpieza por inmersión es un proceso más económico con costos que van desde \$1.20 a \$3.50 por cada 100 pies cuadrados de superficie.

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD EN LA LIMPIEZA ACIDA

Los limpiadores de ácido fosfórico no son muy corrosivos a la piel, sin embargo un contacto constante con estos ácidos disolverá el aceite de la piel causando reseque- -dad, agrietamiento y llagas. Los operadores deben por tanto, estar equipados con guantes de hule, delantales y goggles. Las salpicaduras accidentales de estos materiales en los ojos deben tratarse lavando los mismos con grandes cantidades de agua fresca seguido de un lavado con solución de ácido bórico. Un médico debe consultarse inmediatamente después.

E) LIMPIEZA CON SOLVENTES EMULSIFICABLES (Emulsiones - Limpiadoras.

Introducción.- Los solventes emulsificables remueven efectivamente películas pesadas de aceite, grasa, compuestos preventivos de herrumbre, parafinas, compuestos de pulido y otras suciedades no deseadas. Ofrecen la ventaja de limpiar la suciedad fuera de la operación de-

enjuague, dejando solamente una muy delgada película de solvente sobre la superficie la cual cuando es necesario puede ser rápidamente removida por medio de limpieza alcalina moderada.

Generalmente el material concentrado (solventes grasos, agentes de mezclado y agentes emulsificantes) se adiciona a un material relativamente barato como kerosina o gas nafta (en general con alifáticos) y las partes a ser limpiadas se sumergen en esta solución. Los solventes emulsificables ocasionalmente son usados en equipos de espreado.

MATERIALES PARA LIMPIEZA CON SOLVENTES EMULSIFICABLES

Los solventes emulsificables son usualmente suministrados como concentrados, los cuales pueden ser adelgazados con kerosina o gas nafta (en general con alifáticos). El concentrado en sí puede estar compuesto de un agente emulsificante sintético, agua y un solvente graso orgánico preferentemente mezclados en un homogenizador o molino coloidal. La homogenización tiende a disminuir el tamaño de partícula de la emulsión, con lo cual la vuelve más estable. Los materiales empleados son productos patentados con propiedades variables.

METODO DE LIMPIEZA

Los solventes emulsificables pueden ser usados concentrados o diluidos con cuatro a diez partes de kerosina, gas nafta o alguna otra fracción del petróleo o solvente aceitoso y graso. Las partes contaminadas son sumergidas en esta solución de 1 a 5 minutos (cuando la solución es espreada o aplicada con cepillo sobre la superficie se deja reaccionar varios minutos). Durante este período los solventes aflojan y disuelven las películas de la superficie, las cuales al ser enjuagadas con agua fácilmente emulsifican y pueden ser quitadas de la superficie.

Es generalmente recomendable remover el solvente emulsificable y la suciedad por medio de un enjuague con agua espreada (o por chorro de manguera) a presión de preferencia caliente. El tipo de enjuague final empleado es muy importante para la efectividad total de este tipo de limpieza.

Como generalmente sucede, un pequeño residuo de la emulsión que quede sobre la superficie dejará una película delgada de contaminante (aceite, grasa, etc.) que puede tener consecuencias posteriores. Si la pintura que se va a aplicar no puede tolerar pequeñas cantidades de aceite, el residuo deberá ser lavado de la superficie por medio de vapor, detergente en agua caliente, solventes o compuestos de limpieza alcalina. Sin embargo, la mayoría de las pinturas usadas sobre acero estructural poseen suficiente habilidad humectante para mojar las superficies a través de tales películas ligeras de contaminante. Además, es bastante posible que una delgada película de aceite sobre la superficie metálica pueda ser benéfica para retardar el herrumbramiento.

En una operación de limpieza de este tipo se debe tener presente que el solvente de los tanques de inmersión se va contaminando lentamente debido a la suciedad removida de las superficies por emulsificación durante la operación de enjuague y por tanto debe ser periódicamente renovado para mantener sus propiedades emulsificantes y de limpieza (remoción de suciedades e impurezas).

NOTAS:

- 1).- En algunas ocasiones como por ejemplo en grandes estructuras como puentes, etc. donde el enjuague por esparcido con agua caliente sería impráctico, la limpieza con vapor resulta muy efectiva.
- 2).- Los limpiadores en emulsión alcalinos, los cuales combinan las ventajas de los limpiadores alcalinos y los limpiadores en emulsión están también disponibles y son aconsejables.

VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA LIMPIEZA CON SOLVENTES EMULSIFICABLES.

Ventajas.- Incrementan la eficiencia para la remoción de aceites pesados particularmente cuando los solventes emulsificables se adicionan a los tanques de inmersión para limpieza alcalina. Los solventes emulsificables son ampliamente usados cuando se van a llevar a cabo en la superficie tratamientos más efectivos de prepintado tales como recubrimientos con fosfato (fosfatizados).

Desventajas.- Si los solventes emulsificables son usados sin diluir, el punto de flasheo o de evaporación del

material estará cerca al del componente más volátil. Este es un factor limitante en su uso, excepto para ciertos tipos de solventes emulsificables de alto punto de flasheo. También, si ellos son usados sin diluir aumenta su costo y en este caso su uso debe ser limitado a aplicaciones donde tienen que ser removidos depósitos de contaminantes extremadamente pesados o como un pre-tratamiento cuando son requeridos parámetros muy altos de limpieza.

COSTO DE LA LIMPIEZA CON SOLVENTES EMULSIFICABLES

Los costos del material son aproximadamente los mismos que los materiales para limpieza alcalina. Cuando los limpiadores de solvente emulsificable son usados en conjunción con los limpiadores alcalinos, el costo aproximado está en el mismo rango ya que ambos son entonces usados a concentraciones más bajas.

Si los solventes emulsificables se usan concentrados, los costos del material estarán aproximadamente en el mismo rango de costo que la limpieza con solventes.

PRECAUCION DE SEGURIDAD EN LA LIMPIEZA CON SOLVENTES EMULSIFICABLES.

Los solventes emulsificables que poseen componentes con puntos de flasheo relativamente bajos constituyen definitivamente un peligro de incendio; por tanto siempre que sea posible debe hacerse uso de los solventes emulsificables de alto punto de flasheo.

Su uso es recomendado solamente en lugares bien ventilados o en espacios abiertos.

Siendo que la absorción de la capa de solvente a través de la piel humana puede producir resultados tóxicos, los operadores deben estar protegidos del contacto con los vapores o con el líquido mismo.

Se recomienda que las precauciones sugeridas para la limpieza con solventes sean observadas en este tipo de limpieza.

F) LIMPIEZA DE SUPERFICIES POR INMERSION EN SOLUCIONES ACIDAS PICKLING O DECAPADO SSPC - SP - 8

El pickling es por definición la inmersión de objetos en ácido diluido. Es el proceso en el cual los metales son sumergidos en soluciones ácidas con el propósito de remover óxidos y escorias. Por este método de preparación de superficies metálicas se remueve completamente la escoria de laminación y el herrumbre por reacción química, por -- electrólisis o por ambos métodos. Se entiende que una superficie sometida a este proceso deberá estar completamente libre de toda escoria de laminación, herrumbre y materias extrañas. Aún más, la superficie deberá estar libre de ácidos o álcalis inactivos o peligrosos y de tizne.

Los ácidos usados en el pickling comercial son: Sulfúrico, Muriático, Nítrico, Fluorhídrico, Fosfórico y mezclas de éstos. En varios países incluyendo México, debido a su bajo costo, alto punto de ebullición, disponibilidad y conveniencia o adaptabilidad el ácido sulfúrico es usado casi generalmente en el pickling de acero simple y de bajo carbón que representa la mayor parte del tonelaje tratado.

El ácido muriático solo o en combinación con sulfúrico, nítrico y a veces fluorhídrico se usa para la remoción de escoria de laminación y para pulir acero inoxidable y algunos de los aceros de aleación.

El pickling usualmente se lleva a cabo por INMERSION del trabajo dentro de los baños de ácido en tanques adecuados; sin embargo, los mismos principios aplicarían si el baño de ácido fuera por ASPERSION o por DERRAMADO del ácido sobre la superficie empleando métodos adecuados (cepillos, brochas, etc.)

Los ácidos recomendables para pickling no solamente remueven escoria de la base metálica, sino que una cantidad substancial del metal mismo puede ser consumida por disolución. Tal consumo puede ser prevenido por el uso de inhibidores adecuados.

Para el proceso de rolado el acero se calienta adecuadamente arriba del punto de fusión generalmente en hornos abiertos, en los cuales el oxígeno de la atmósfera del horno se combina rápidamente con el metal caliente para formar óxidos de hierro. Al enfriarse, estos óxidos se colocan usualmente como un recubrimiento de color negro, duro, quebradizo y adherente. Este recubrimiento es de--

signado por varios nombres tales como: Oxido, Oxido Magnético, Escoria, Escoria de Laminación, Escoria de Rolado, Escoria de Forjado, Escoria de Templado, etc.

La escoria es quebradiza, se expande (dilata) menos que el acero del cual está formada y afortunadamente para -- las operaciones de pickling se agrieta al enfriar. La escoria no es uniforme en composición. La falta de uniformidad de interés presente, es la cantidad de oxígeno en varias partes de la película de escoria. En la siguiente figura se puede observar claramente dicha falta de uniformidad.

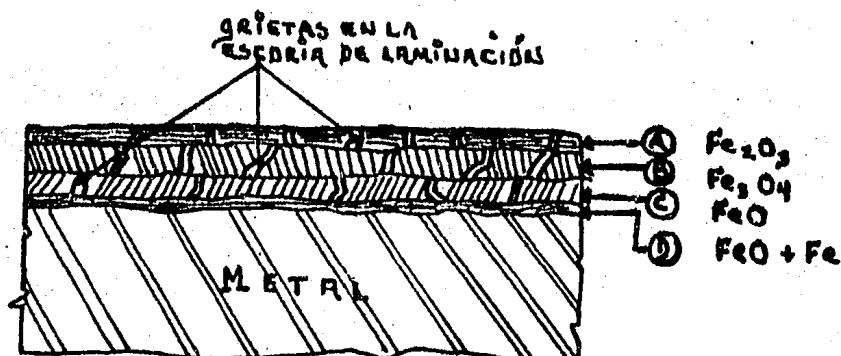


Figura (26)

La capa más externa, es en general la más rica en oxígeno. Puede aproximarse a la fórmula Fe_2O_3 (óxido férrico), conteniendo aproximadamente el 30% de oxígeno en peso. Abajo de la capa más externa está un material constituyendo generalmente el volumen de la escoria y cercanamente corresponde a la fórmula Fe_3O_4 (óxido ferroso férrico) con aproximadamente 28% de oxígeno en peso. La siguiente capa dirigiéndose hacia la superficie metálica es el óxido, que puede aproximarse a la fórmula FeO , la cual contiene aproximadamente el 22% de oxígeno. Abajo de ésta puede estar una capa de óxido mezclada con metal de un contenido de oxígeno todavía más bajo.

La capa más externa de escoria es casi insoluble en ácido sulfúrico pero ligeramente soluble en ácido muriático. La capa o capas de más abajo son más solubles y el metal por sí mismo, es bastante soluble. En el pickling del acero en ácido sulfúrico, el ácido diluido penetra a través de las grietas en la capa de escoria más externa y disuelve algo de la escoria de abajo trabajando contiguo al metal o las capas de escoria ricas de metal y bajas -

en oxígeno, las cuales se disuelven rápidamente produciendo hidrógeno entre la escoria y el metal. Es el hidrógeno aquí producido el responsable de la remoción de la escoria, la cual es expulsada por presión en forma de hojuelas de tamaño variable.

Si toda la escoria fuera removida de la superficie a un tiempo y el metal inmediatamente retirado de la solución ácida del pickling, se prevendría un ligero ataque del ácido sobre el metal y no habría necesidad del uso de un inhibidor. Sin embargo, esto no ocurre. La escoria es removida de algunas partes de la superficie rápidamente y el ácido no inhibido ataca y marca (carcome) esas áreas expuestas antes que la escoria sea removida de otras áreas. Cuando se usa ácido muriático, la acción es en mucho la misma que la del ácido sulfúrico excepto que todas las escorias son más solubles y algunas de ellas pueden ser también disipadas por presión debido al hidrógeno.

Como previamente se mencionó, los ácidos se usan para remover también otros depósitos de superficie además de la escoria de laminación. El herrumbre es lo más frecuentemente encontrado; es un óxido de hierro hidratado que es más soluble en ácido sulfúrico, muriático y fosfórico de lo que lo son las escorias de laminación por tanto, las capas de herrumbre son removidas en su mayor parte disolviéndolas en los ácidos, aunque también pueden removerse al ser expulsadas por presión.

Aunque la operación de pickling constituye un proceso bastante completo, en algunas ocasiones es demasiado difícil o antieconómico remover capas de herrumbre o escoria de laminación por este método. Para remover los contaminantes de superficie (herrumbre y escoria de laminación) densamente incrustados y sobre todo para grandes estructuras ensambladas tales como cascos de barcos, es más conveniente emplear la limpieza con chorro de arena u otro tipo de abrasivo.

PROCEDIMIENTOS DEL PROCESO DE PICKLING

Este proceso puede dividirse en tres pasos:

Limpieza y preparación del metal antes del pickling. - El propósito de la limpieza es remover de la superficie cualquier material que pueda evitar el contacto del ácido usado en el pickling con la superficie y la escoria a

removearse. El material más frecuentemente encontrado es el aceite; los aceites pueden ser removidos con solventes, la mayoría de los cuales son volátiles y dejan una delgada película que generalmente no representa ningún problema. Los solventes pueden ser aplicados por cualquier medio disponible y limpiados de la superficie por frotación con trapos limpios. El metal puede también ser desengrasado por inmersión en solvente o vapores de solvente. Este último método deja al metal bastante libre de aceite pero no libre de partículas de mugre sostenidas sobre la superficie por la película de aceite.

La limpieza con álcali es relativamente barata y debe tenerse en cuenta para cuando la limpieza anterior al proceso de pickling pueda ser requerida más o menos regularmente.

Proceso de decapado o pickling.- Como previamente se mencionó, los ácidos sulfúrico, muriático, fosfórico, nítrico y fluorhídrico son usados para el pickling de metales ferrosos. El ácido sulfúrico es usado casi exclusivamente para acero estructural.

El equipo usado en el proceso es:

- Tanques de inmersión adecuados.- Mientras que los tanques construidos de placas de acero medio o de madera pueden ser usados para el enjuague frío y caliente de las superficies, el acero ordinario no recubierto adecuadamente no puede usarse con seguridad para contener cualquiera de los ácidos usados en el pickling. Los tanques de madera pueden usarse temporalmente para contener ácidos tales como sulfúrico, muriático, fluorhídrico y fosfórico, pero el equipo más resistente consiste generalmente de tanques de acero recubiertos con materiales que resisten a los ácidos a ser almacenados en ellos. La siguiente tabla incluye los diferentes ácidos, así como los materiales de recubrimiento que los resisten y con los cuales deben ser construidos los diversos aditamentos adaptados a los tanques como por ejemplo los serpentines para calentamiento.

TABLA (XXX)

ACIDO	M A T E R I A L E S				
	PLOMO	CAUCHO	ACERO INOX.	LADRILLO	MADERA (temporalmente)
Sulfúrico	X	X	-	X	X
Muriático	-	X	-	X	X
Fosfórico	X	X	X	X	X
Fluorhídrico	X	X	-	-	X
Nítrico	-	-	-	X	-

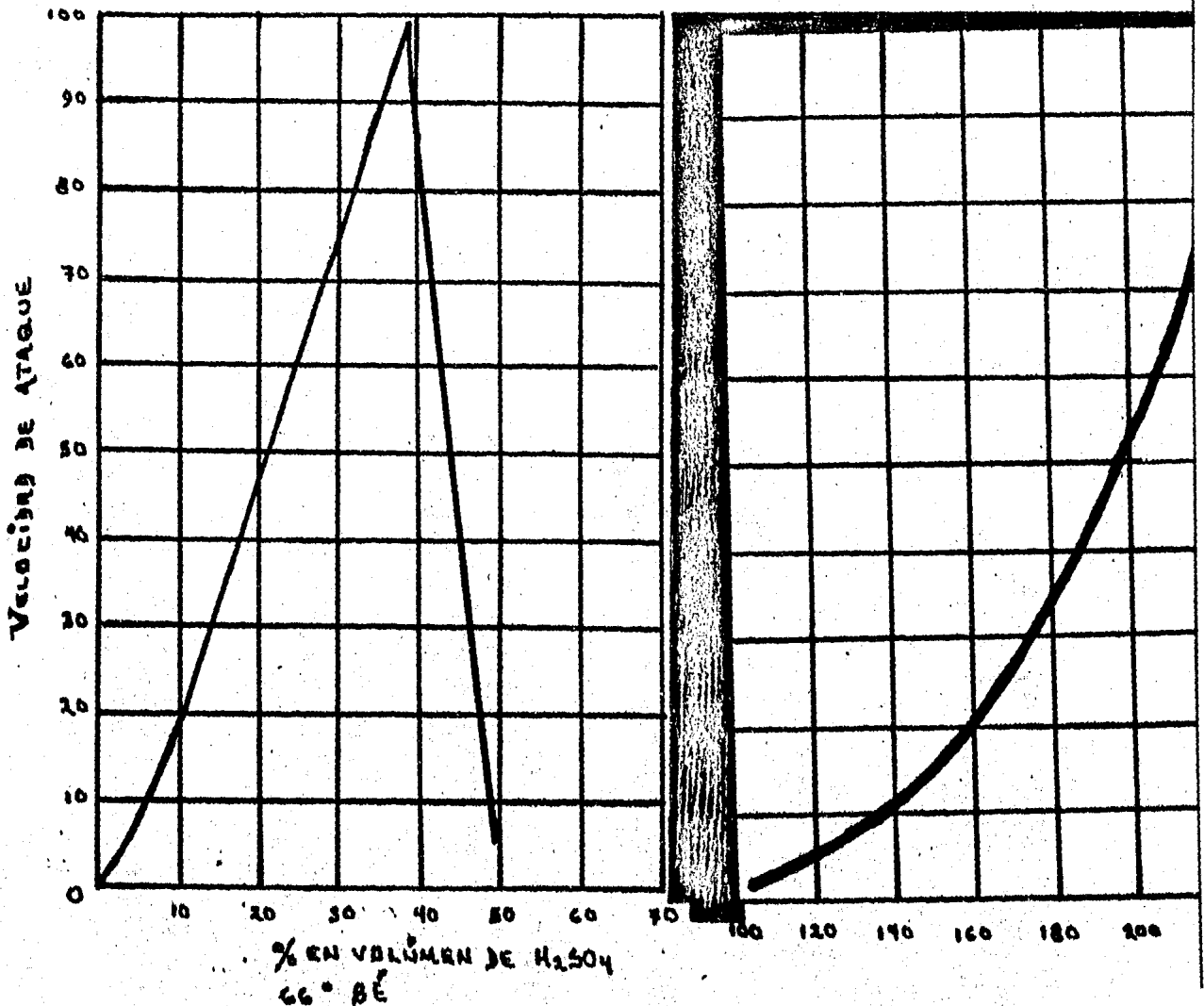
El tanque para el baño de ácido adecuadamente construido y recubierto debe estar equipado con un gran fondo de de saque para rápido vaciado y fácil limpieza, serpentines de calentamiento u otra fuente de calor, dispositivo de abastecimiento de agua para diluir el ácido y para lavar el tanque vacío y dispositivo para la introducción del ácido dentro del baño. El agua nunca debe adicionarse a ácidos fuertes. Aun cuando se adiciona correctamente ácido sulfúrico concentrado al agua, se genera bastante calor como para hervir el ácido y desparramarlo por todos lados. Como resultado de esto, los trabajadores deben invariablemente permanecer tan lejos como sea posible del ácido cuando éste se mezcla con el agua en el baño de ácido. En pequeñas instalaciones el ácido es vaciado al tanque a través de conductos o tubos de acero provistos en la instalación. En grandes instalaciones el ácido debe ser transferido a través de un tubo de acero o plomo del tanque de almacenamiento o tanque de medida al tanque del baño de ácido. Es recomendable siempre que sea posible incluir un tanque para medir el ácido -- adicionado a cada tanque para baño de ácido, el cual puede ser construido seguramente de acero medio, el cual no es atacado por el ácido sulfúrico concentrado.

Las casetas para el baño de ácido están generalmente llenas de vapores y a pesar de la habilidad de los inhibidores para reducir los vapores ácidos, algo de ellos escapa hacia la atmósfera de trabajo. Es por tanto recomendable proveer una amplia ventilación en el área de trabajo, el uso de aire corriente y ductos para extraer o disipar convenientemente localizados sobre o cerca de los tanques, lo cual será fundamental en la obtención de una atmósfera despejada y bastante adecuada para realizar el trabajo.

VARIABLES QUE INTERVIENEN EN LA OPERACION DEL BAÑO DE ACIDO

- a. Acidos. El ácido sulfúrico concentrado, ni ataca al acero ni remueve la escoria. Debe ser diluido con agua antes que pueda ser usado. En la siguiente figura está ilustrada la relación de velocidad de ataque de solución de ácido sulfúrico a 49°C sobre acero medio. En ella puede observarse que aún a una temperatura de 49°C, el ácido concentrado no ataca el acero y no lo hará hasta que el ácido está diluido con aproximadamente un volumen igual de agua que es cuando se presenta cualquier acción apreciable. Es digno de atención también que la actividad del ácido se incrementa con su fuerza ocurriendo el máximo ataque cuando el ácido está aproximadamente al 40%. Con un posterior incremento en la fuerza, el ataque decrece rápidamente.

Figura (27)



Los baños de ácido son operados generalmente dentro de un rango del 2% al 15% en volumen de ácido sulfúrico 66°Be o su fuerza equivalente de otros grados-comerciales de este ácido; no a concentraciones más altas que las cercanas a las de máxima actividad.

En la figura del lado derecho se ilustra la relación básica existente entre el ataque y la fuerza del -- ácido muriático 20°Be. El ácido muriático es cloruro de hidrógeno gas disuelto en agua. El grado comercial 20°Be se entiende solamente que contiene -- aproximadamente el 31% de ácido clorhídrico en peso. El ácido muriático no diluido ataca al acero más rápidamente que otras soluciones más fuertes y se observará que como en el caso del ácido sulfúrico el ataque del ácido en los rangos de operación es proporcional a la fuerza del ácido.

- b. Temperatura. Mientras que la actividad de la solución ácida dentro del rango de operación usual es proporcional a su fuerza la actividad de un baño de ácido está también marcadamente afectada por su temperatura. En la figura de la siguiente hoja podemos observar claramente el efecto de la temperatura sobre la velocidad de ataque del baño de ácido.
- c. Concentración de sulfato de fierro. Un baño de ácido fresco (nuevo) a una temperatura determinada continuaría removiendo escoria de una superficie dada en un mismo período de tiempo; sin embargo, debido a su constante actividad los baños de ácido no permanecen frescos. Pequeñas cantidades de escoria y las grandes cantidades de metal que disuelven en la forma ácida de sulfato de fierro (copperas) en solución originan un efecto adverso en la operación del baño ácido. La presencia de sulfato de fierro tiene un efecto significativo sobre el baño de ácido - RETARDANDO la remoción de escoria y haciendo que el baño actúe como si la cantidad de ácido en él hubiera sido reducida.

Como resultado de la acción retardante del sulfato de fierro, los baños para el pickling deben ser descartados antes de que hayan disuelto el suficiente fierro para saturarlos.

- d. Tiempo. El tiempo es un factor importante en la remoción de la escoria y otros contaminantes de superficie. Se requiere algo de tiempo para que el ácido penetre la escoria y se necesita aún más tiempo para debilitarla, sobre todo la escoria enclavada -

en orificios. Debe permitirse el tiempo suficiente para remover la escoria tan completamente como sea necesario.

- e. Agitación. Los baños de cualesquiera características actuarán más rápidamente si son agitados que si ellos permanecen estáticos. Esto será comprobado cuando se verifique que el ácido al estar en contacto con cualquier parte de la superficie obtiene más sulfato y pierde fuerza rápidamente. A través de la agitación el ácido fresco es más rápidamente traído hacia la superficie y el ácido contaminado con sulfato es dispersado en toda la solución lejos del metal, haciendo más rápido el proceso de pickling.

La agitación también elimina las partículas de escoria sueltas en la superficie exponiendo así las áreas vírgenes a la acción del ácido. Este mismo efecto puede ser llevado a cabo por medios mecánicos, como por ejemplo con cepillos. Existen varios métodos de agitación de un baño de ácido, pero el tipo de agitación más usual es producida por el mismo vapor que se emplea para calentar el baño. Este puede ser descargado a través de orificios en el tubo de carga cerca del fondo del tanque o puede ser descargado a través de un inyector tipo boquilla -- provocando una circulación violenta del baño.

De una consideración de los efectos de la concentración del ácido, la temperatura del baño, la agitación y la acción retardante del sulfato de fierro, un método razonable para operar un baño de ácido puede ser el siguiente: Siendo que un baño preparado recientemente (fresco) no contiene sulfato de fierro, puede ser operado a una temperatura relativamente baja y con una cantidad de ácido oscilando entre el 2% y el 15% en volumen como sea necesario para completar el proceso de decapado o pickling en el tiempo establecido. Como el sulfato de fierro que se va acumulando hace lento el proceso, la acción puede ser acelerada ya sea incrementando la fuerza (concentración del ácido) o la temperatura del baño. Ambos métodos son usados, sin embargo ya que para incrementar la temperatura en la mayoría de las instalaciones se requiere el uso de una gran cantidad de vapor y un incremento en la agitación del baño, el método usual es mantener la fuerza (Concentración) del ácido constante. Debe hacerse-

notar que un método bastante efectivo consiste también en mantener la fuerza del ácido constante e incrementar la temperatura para compensar la acción retardante del sulfato de fierro acumulado. Se encontrará que cuando un baño de ácido ha disuelto -- 2.5 libras de sulfato de fierro por galón, su propiedad de limpieza y remoción de materia ajena a la superficie está apreciablemente reducida. Es en este punto o cerca de él que la mayoría de los talleres que hacen este tipo de trabajo descontinúan la adición de ácido y tratan de aprovechar tan completamente como sea posible el ácido que aún permanece en el baño de tal manera que la cantidad desechada al renovarse el baño sea mínima. Para compensar el debilitamiento del ácido y la continua acumulación de sulfato de fierro, la temperatura del baño se -- eleva gradualmente, eventualmente al punto de ebullición y el baño es usado mientras realice su función en un tiempo razonable. Cuando esto no suceda, es entonces descartado.

- f. Análisis de los baños de ácido con aparatos de laboratorio. El análisis de la fuerza de un ácido es un factor que no debe ser descuidado por ningún motivo, ya que dicha prueba nos permite saber cuando un baño de ácido no está ya actuando en forma adecuada y debe ser reemplazado. La fuerza de un ácido no debe ser determinada con un hidrómetro ya que la lectura obtenida es afectada por el ácido y las sales de fierro en solución. La fuerza de un ácido se determina por titulación empleando métodos y aparatos regularmente usados en el laboratorio. En la actualidad es práctica común en las fábricas o talleres donde llevan a cabo estas operaciones, instalar tales aparatos cerca de los tanques de ácido y tener datos de titulaciones hechas a intervalos regulares por una persona capacitada que usualmente es el operador del baño de ácido quien a su vez se encarga de hacer las adiciones de ácido en cantidades medidas y registradas para mantener el baño a la fuerza (concentración) apropiada.

EQUIPO REQUERIDO

1 pipeta de 1 a 5 ml
 1 pipeta de un ml
 2 buretas de 25 ml
 1 cilindro de medida de 5 ml.
 1 bureta con soporte
 2 vasos de precipitados
 de vidrio

REACTIVOS REQUERIDOS

Solución de NaOH 1.0N
 Solución de KMnO_4 0.1N
 Indicador naranja de metilo:
 1 g. en un litro de agua
 H_2SO_4 concentrado

- 2 agotadores manuales
- 1 matraz aforado

Determinación del porcentaje de ácido por volumen y - cantidad por peso.

- Medir una muestra de 5 ml. de la solución usada para el picling con la pipeta de 5 ml. y transferirla a un vaso de precipitados de 250 ml. perfectamente limpio.
- Adicionar aproximadamente 100 ml (la mitad de un vaso) de agua limpia y fresca y 2 o 3 gotas de la solución indicadora de naranja de metilo.
- Cargar una bureta con la solución de hidróxido de sodio de normalidad conocida exactamente a la marca de cero (0).
- Agitar la muestra de prueba constantemente con una varilla de vidrio y agregar lentamente la solución de NaOH 1.0 N hasta que el color rojo de la muestra cambie a amarillo. Detener la adición de esta solución titulante en el momento exacto cuando el color de la muestra de prueba llegue a ser amarillo puro.
- Anotar la lectura tomada de la bureta graduada; esta es el número de mililitros de hidróxido de sodio 1.0 N usados.

CALCULOS.

El número de mililitros de NaOH 1.0 N usados multiplicado por los factores apropiados dan la cantidad deseada de ácido. Los factores mostrados en la siguiente tabla multiplicados por el número de mililitros de NaOH usados dan la cantidad deseada de H₂SO₄ 66° o 60° o ácido muriático 20° o 18°.

	Ac.Sulfúrico 66°	Ac.Sulfúrico 60°
Por ciento por volumen	0.573	0.740
Gramos por 100 ml.	1.053	1.263
Libras por 100 galones	8.771	10.525
	Ac.Muriático 20°	Ac.Muriático 18°
Por ciento por volumen	1.999	2.288
Gramos por 100 ml.	2.319	2.612
Libras por 100 galones.	19.353	21.796

Determinación del contenido de hierro.

- Medir una muestra de 1 ml. de la solución de ácido usada para el pickling con la pipeta de 1 ml. y transferirla a un vaso de precipitados de 250 ml. perfectamente limpio.
- Adicionar aproximadamente 100 ml. de agua limpia y fresca. Medir 5 ml. de ácido sulfúrico concentrado con el cilindro de medición de 5 ml. y verterlos lentamente con agitación constante dentro del vaso de precipitados que contiene la muestra.
- Llenar una bureta con la solución de permanganato de potasio 0.1 N exactamente a la marca de 0.
- Agitar la muestra de prueba continuamente con una varilla de vidrio y adicionar lentamente la solución de permanganato hasta que el color original de la muestra de prueba cambie a un color rosa tenue (pálido), el cual persista cuando menos 15 segundos. Detener la adición de la solución en el momento exacto cuando este color rosa es obtenido.
- Anotar la lectura tomada de la bureta graduada; esto es el número de mililitros de solución de permanganato de potasio 0.1 N usados.

CALCULOS.

El número de mililitros de permanganato de potasio 0.1 N usados, multiplicados por 0.0465 es igual a las libras de hierro por galón de solución de ácido empleada en el pickling. Las libras de hierro por galón multiplicadas por 12 es igual a los gramos de hierro por 100 ml. de solución de ácido para pickling.

- g. Registros (records). Con las facilidades a la mano para analizar el baño de ácido, el proceso de pickling puede ser operado eficientemente. Para tal efecto, es esencial contar con registros bastante completos de operación del baño de ácido. Un procedimiento bastante simple para registrar la fuerza (concentración) y temperatura del baño de ácido, su contenido de hierro, cuándo y cuánto ácido es adicionado el número de toneladas de metal tratadas, etc., es graficar todos estos datos a intervalos de tiempo regulares sobre una carta; de esta manera las cantidades de ácido adicionadas, la cantidad de inhibidor adicionada, las toneladas de material tratadas, etc., son recordadas con mucha facilidad.

dad. De estos registros pueden ser rápidamente calculados datos tan importantes como el consumo de ácido por tonelada de material tratado para el trabajo de un período de tiempo determinado, como por ejemplo -- una semana (cuánto costó el tratamiento de una tonelada de material en promedio durante esa semana). Las gráficas también indican cuando un baño de ácido ha sido descartado prematuramente es decir, con bastante cantidad de ácido que pudo ser aprovechado o antes de que suficiente cantidad de fierro haya sido disuelta. Este tipo de registros pueden ser utilizados para mostrar el efecto de diversos procedimientos de pickling sobre períodos de tiempo suficientemente grandes para así establecer tendencias.

Otros registros bastante provechosos en lo que se refiere a costos es comparar una práctica con otra y observar por ejemplo el efecto de un inhibidor a lo largo de la vida útil de un baño ácido y compararlo con el producido en otro baño para así poder determinar la eficiencia de cada uno de ellos.

PROCEDIMIENTOS PARA EL PROCESO DE DECAPADO

El proceso de pickling puede consistir en la siguiente secuencia de operación:

- a) Los depósitos pesados de aceite, grasa, suciedad y otras materias extrañas distintas de herrumbre, escoria u óxido pueden ser completamente removidos -- por medio de una limpieza previa con solventes.
- b) Toda la escoria de laminación, herrumbre y óxido -- pueden ser removidos por pickling en solución caliente o fría de ácido sulfúrico, clorhídrico (muriático) o fosfórico a la cual se le ha agregado suficiente cantidad de inhibidor para prevenir ataque a la base del metal, seguido de un enjuague adecuado con agua caliente a más de 60°C.
- c) El pickling o decapado puede realizarse en una solución con un 5% a 10% en peso de ácido sulfúrico que contenga un inhibidor a una temperatura mínima de - 60°centígrados hasta que todo el herrumbre y escoria de laminación hayan sido removidos. Enseguida un enjuague con agua limpia, seguido de una inmersión del material en una solución de 1% a 2% en peso de ácido fosfórico con 0.3% a 0.5% de fosfato de fierro a una temperatura superior a los 80°C por espacio de 2 a 5 minutos.

- d) Pickling en una solución ácida al 5% en volumen de ácido sulfúrico agregando suficiente inhibidor para prevenir el ataque a la base del metal hasta -- que la escoria de laminación y el herrumbre han sido removidos, seguido de un enjuague por espacio de 2 a 5 minutos en agua caliente a 75° - 80°C. El -- acero tratado y enjuagado debe ser sumergido por -- lo menos durante 2 minutos en una solución inhibidora a más de 85°C de temperatura que contenga el 0.75% de dicromato de sodio y un 0.50% de ácido or tofosfórico.
- e) No debe permitirse que el contenido de fierro disuelto por el baño de ácido exceda el 6% en baños de ácido sulfúrico o el 10% en baños de ácido clor hídrico.
- f) Solamente deben permitirse agua limpia y condensado de vapor para soluciones y enjuagues.
- g) Para disminuir las pérdidas, todo el material tratado deberá ser suspendido brevemente sobre el tan que de ácido del cual ha sido retirado permitiendo que drene la mayor parte de la solución ácida.
- h) La superficie tratada debe ser examinada en busca de manchas, depósitos de metal y áreas inadecuadamente limpiadas, si las hay, deben ser posteriormente limpiadas.

TRATAMIENTO DEL METAL SOMETIDO A UNA OPERACION DE PICKLING.

- Enjuague en frío.- Cuando el metal es removido del baño de ácido, una delgada película de ácido y sales resultantes de la reacción del ácido con el metal se adhieren a él. Ambos materiales estimulan el herrumbre y por tanto deben ser completamente re movidos antes de que sequen.

Pickling con ácido fosfórico.

En algunos casos se prefiere una inmersión (pickling) en ácido fosfórico que en ácido sulfúrico. El número de tanques para inmersión y enjuague es menor que en el sistema de pickling en ácido sulfúrico en el cual el proceso de enjuague debe ser más completo.

El ácido fosfórico no es tan corrosivo como el sulfúri

co bajo condiciones normales de uso, así que es posible una construcción del equipo necesario menos costosa y un mantenimiento menos extenso del equipo. Además, el personal de operación no está expuesto a la acción nociva de humos de ácido corrosivos fuertes o dañinos.

El tratamiento de inmersión en ácido fosfórico generalmente utiliza una solución del 15% al 50% de ácido fosfórico en agua. Frecuentemente el proceso también incluye solventes o detergentes, cromatos, etc., para ayudar a remover la escoria de laminación, grasa y aceite. El ácido fosfórico primero disuelve el herrumbre y la escoria de laminación y luego forma un recubrimiento de fosfato de hierro sobre la superficie. En el pasado, el pickling con ácido fosfórico no había sido usado extensivamente debido a que el ácido por sí mismo es mucho más caro que el ácido sulfúrico; pero en la actualidad existe un proceso que hace al pickling con ácido fosfórico competitivo en costo con el pickling con ácido sulfúrico. Este nuevo proceso depende de la purificación y recuperación continua de la solución de ácido fosfórico usada en el pickling por medio de una unidad intercambiadora de iones, la cual convierte al fosfato de hierro en ácido fosfórico: en la unidad puede emplearse una resina intercambiadora de cationes como la ZEOLITA, la cual es regenerada por medio de ácido sulfúrico.

Durante el proceso de pickling de superficies de acero en ácido fosfórico es disuelta una cierta cantidad de hierro, la cual al irse almacenando en el baño de ácido puede originar una disminución no deseable de la velocidad del proceso o dificultar el enjuague final. Esto último se comprueba a menudo por una decoloración café que aparece en la superficie cuando el trabajo se saca del agua de enjuague posterior a la etapa de inmersión en ácido fosfórico. Normalmente cuando los baños de ácido fosfórico acumulan una cantidad excesiva de hierro, se drenan y cambian por otros nuevos o en su defecto el baño contaminado se mezcla con uno fresco.

Los factores que determinan la cantidad de hierro que puede ser tolerada en un baño de ácido fosfórico dado son:

- La fuerza del baño (concentración)
- Tipo de escoria, herrumbre, etc a ser removidos.
- Tiempo disponible para el tratamiento con ácido fosfórico.

- Tipo y limpieza del enjuague disponible.

Ciertos baños para pickling con ácido fosfórico deben descartarse cuando las concentraciones de fierro alcanzan 0.3 libras de fierro por galón de solución, -- mientras que otros pueden ser operados hasta que la acumulación de fierro alcanza 1.0 libras por galón de pendiente de las variables anteriormente mencionadas.

La determinación del fierro en los baños de ácido fosfórico puede realizarse de la siguiente manera:

- Tomar una muestra de 1 ml. de la solución ácida -- del baño midiéndola lo más exacto posible y colocarla en un matraz erlenmeyer de 125 ml.
- Adicionar 1 ml. de ácido sulfúrico C.P. al 50% y -- aproximadamente 25 ml. de agua destilada.
- Titular la solución con permanganato de potasio -- 0.18 N colocada previamente en una bureta y agitar continuamente hasta que la solución alcance un color rosa permanente. Anotar la cantidad de solución de permanganato usada en mililitros.
- Cálculos.- Cada mililitro de solución de permanganato usado es equivalente a 0.08 libras de fierro/galón de ácido fosfórico del baño. Por tanto, si requieren 3.0 ml. por 0.08 lb/gal. es igual a 0.24 libras/galón de solución del baño ácido. Si la titulación requiere 12 ml. de solución de permanganato equivaldría a una concentración de fierro de -- aproximadamente 1.0 lb/galón.

PICKLING CON ACIDO SULFURICO Y FOSFORICO.

Este método de pickling es un medio eficiente y económico de remover escoria de laminación de superficies de acero. Provee también una superficie limpia y seca con un recubrimiento de fosfato de fierro que mejora el enlace o unión entre la pintura y el acero. El proceso consiste en sumergir el material en baños de ácido sulfúrico, enjuagarlo con agua y sumergirlo en baños de ácido fosfórico sucesivamente. El proceso se realiza como sigue: Se sumerge el material en el baño de ácido sulfúrico cuya concentración inicial es de 5 a 10% en peso y la temperatura de 60°-65°C hasta que la escoria de laminación y el herrumbre son removidos, el tiempo del proceso es de aproximadamente -- 15-20 minutos, aunque varía con el tipo de escoria y-

espesor de la placa de material. Una vez completado el proceso el material se saca del baño de ácido y se deja escurrir durante 30 segundos antes de sumergirlo en el enjuague de agua limpia. El baño para enjuague debe mantenerse normalmente a 60-65°C aunque se obtienen también muy buenos resultados sin calentamiento. Este enjuague se lleva a cabo para eliminar los sulfatos residuales del baño de ácido sulfúrico. A continuación se sumerge el material en una solución de ácido fosfórico caliente al que han sido adicionadas pequeñas cantidades de fierro. La temperatura del baño es de aproximadamente 80°C y el material se sumerge por espacio mínimo de 3 a 5 minutos. Al principio de la operación el baño debe contener aproximadamente el 2% de ácido fosfórico libre y el 0.3% - 0.5% de fierro y esta concentración debe mantenerse durante todo el proceso mediante adiciones ocasionales de ácido fosfórico. Este baño se prepara originalmente disolviendo la cantidad necesaria de fierro en forma de rebabas o fibras de acero en el 8% - 10% del ácido fosfórico calentado a 80°C y entonces diluyendo esta solución con agua a la concentración requerida. Este proceso permite que se deposite sobre la superficie del acero un recubrimiento de fosfato de fierro. El material se saca del baño de ácido y se deja secar, e inmediatamente y aún cuando la superficie esté caliente se recubre con una capa de pintura (primario) lo que eliminará cualquier peligro de contaminación o ensuciamiento de la superficie antes de que la pintura sea aplicada y además mejorará considerablemente la adhesión del recubrimiento.

El equipo necesario para este proceso es similar al que se emplea en el pickling normal. El proceso de control de los baños es idéntico al proceso que se emplea en los métodos anteriores y la adición de un inhibidor apropiado al baño de ácido sulfúrico es también recomendable para reducir el ataque del ácido al metal bueno.

PICKLING ELECTROLITICO.

El pickling electrolítico de fierro y acero se emplea para librar algunas de las dificultades encontradas en el pickling normal. La remoción de herrumbre es comparativamente fácil con los métodos de pickling convencionales, pero la remoción del óxido magnético negro de fierro, Fe_3O_4 , el cual es ligeramente soluble en ácido sulfúrico (lentamente soluble), es muy difícil sin el uso de métodos electrolíticos.

El pickling electrolítico es usualmente mucho más rápido que el pickling convencional debido a la mayor producción de hidrógeno durante el proceso, el cual agita la solución del pickling, reduce la escoria y tiende a despegar la escoria de la superficie del acero. En consumo de ácido, sin embargo, hay una pequeña diferencia entre el pickling electrolítico y el pickling ácido inhibido.

Este tipo de proceso aunque importante, no será tratado con profundidad como los anteriores debido a que su uso no está muy generalizado para el tratamiento de -- grandes volúmenes de acero estructural.

V.- MEZCLADO, ADELGAZAMIENTO Y APLICACION DE RECUBRIMIENTOS.

En este capítulo se intenta esbozar brevemente los métodos y equipo más comunes usados en el mezclado, adelgazamiento y aplicación de los diversos recubrimientos empleados para protección anticorrosiva.

Este capítulo resulta de suma importancia porque ha sido demostrado por infinidad de pruebas, que cualquier anomalía en alguno de los procesos arriba mencionados puede desembocar en fallas que alteran negativamente la vida útil de los recubrimientos usados sobre estructuras metálicas para protegerlos contra la corrosión.

Para una mejor comprensión, estos tres procesos serán -- discutidos por separado de una manera simplificada haciendo énfasis en los problemas que pueden ser ocasionados por no realizar adecuadamente la operación de mezclado, adelgazamiento o aplicación de los recubrimientos.

Antes de empezar a describir los procesos que se involucran en este capítulo, es necesario aclarar ciertos puntos que se suscitan antes de la necesaria intervención de alguno de ellos. Una vez que el recubrimiento ha sido elaborado y aprobado por la compañía manufacturera, generalmente no es vendido inmediatamente a los diferentes consumidores sino que pasa por un período de almacenamiento antes de que sea solicitado por el consumidor. Una vez que el material ha sido surtido al cliente, en muchas ocasiones es almacenado durante un cierto período de tiempo antes de que sea usado en aplicaciones para -- protección anticorrosiva. El período de tiempo transcurrido entre la manufactura del recubrimiento y su aplicación se denomina "tiempo de almacenaje" el cual es muy importante ya que, tiene un efecto considerable en el -- comportamiento del recubrimiento a la hora de su aplicación.

El almacenaje de los recubrimientos anterior a su mezclado y aplicación es un aspecto muy importante y no debe -- por ningún motivo ser tomado a la ligera tanto por los fabricantes como por los consumidores. Todos los recubrimientos para protección anticorrosiva emplean en su formulación materias primas conocidas como pigmentos, -- los cuales con el tiempo tienden a asentarse en menor o mayor grado en el fondo del recipiente, formando asentamientos desde los muy suaves hasta los completamente duros, los cuales en el momento de la aplicación de recubrimiento deben ser remezclados cuidadosamente hasta obtener una pintura perfectamente homogénea con las mismas características que presentaba el producto en el instan-

te mismo de haber sido terminada su manufactura. Este trabajo de remezclado representa una pérdida en tiempo y trabajo bastante considerable, la cual puede resultar menos considerable si métodos de almacenamiento adecuados son tenidos como norma en los lugares de almacenamiento tanto del fabricante como del consumidor.

Un procedimiento adecuado de almacenamiento puede consistir en el seguimiento de las normas que a continuación se enuncian:

- a. Los recubrimientos no deben ser almacenados a la intemperie, ni en lugares excesivamente fríos sobre todo si se trata de productos susceptibles a ser dañados por el frío como es el caso de las emulsiones.
- b. Todos los recubrimientos deben estar almacenados preferentemente en lugares perfectamente protegidos del intemperismo, pero bien ventilados y libres de calor excesivo, chispas, flamas y de los rayos directos -- del sol.
- c. Los envases que contienen el recubrimiento deben permanecer perfectamente cerrados hasta el momento de su uso. Si por algún motivo alguno de los envases ha tenido que ser abierto (remover parte de su contenido o por inspección), el producto deberá ser usado tan pronto como sea posible y con preferencia sobre el producto de los envases que han permanecido cerrados durante todo el tiempo del almacenaje.
- d. Los envases deben ser almacenados de tal forma que puedan ser volteados cada período de tiempo determinado sin ningún problema. Los intervalos de tiempo en que deben ser invertidos los envases, dependen de la tendencia al asentamiento que presente el recubrimiento. Generalmente, se recomienda como buena práctica realizar la maniobra, cada uno, dos o hasta tres meses. Esta operación tiene por objeto ayudar a la preservación del pigmento en suspensión.
- e. Nunca permitir que un lote o carga de un producto vaya siendo relegada por la presencia de nuevas remesas del mismo material, sino que dichas remesas deben ser almacenadas en forma tal que permitan que -- las antiguas existencias sean usadas primero.
- f. Los recubrimientos que hayan estado almacenados por un largo período de tiempo deben ser examinados y --

probados antes de su uso para determinar si no han -
sufrido deterioración durante el almacenamiento.

V.1. OPERACIONES DE MEZCLADO.

El mezclado es una operación importante e incluso --
fundamental en casi todos los procesos químicos. El
éxito de muchos procesos depende de una eficaz agita-
ción y mezcla de los componentes que en ellos inter-
vienen. Para evitar confusiones es conveniente aclara-
r que los términos agitación y mezcla no son sinóni-
mos. La agitación se refiere al movimiento induci-
do de un material en forma determinada, generalmente
circulatoria y dentro de algún tipo de recipiente. -
La mezcla es la distribución al azar de dos fases --
inicialmente separadas. Puede agitarse una sola sus-
tancia homogénea como un tanque de agua fría, pero -
no puede mezclarse a menos que se añada a la misma -
otra sustancia como por ejemplo una cierta cantidad-
de agua caliente, o un sólido pulverizado. El térmi-
no mezcla se aplica a una gran variedad de operacio-
nes, que se diferencian en el grado de homogeneidad-
del material mezclado. La agitación en sí tiene va-
rios fines que dependen del objeto que se pretende -
en una etapa de proceso. Estos fines pueden ser:

- a. Poner en suspensión partículas sólidas.
- b. Agitar (inducir movimiento) líquidos miscibles, -
como por ejemplo Metanol - Agua.
- c. Dispersar un gas en el seno de un líquido en for-
ma de pequeñas burbujas.
- d. Dispersar un líquido en otro no miscible con él -
para formar una emulsión o suspensión de gotas pe-
queñas.

Como ya se indicó, una operación de mezclado implica la -
íntima interposición de dos o más componentes separados -
para formar un producto uniforme. En el caso específico-
de la industria de los recubrimientos el mezclado es una-
operación muy importante ya que para una aplicación apro-
piada es necesario que el recubrimiento sea una mezcla ho-
mogénea como lo era cuando los procesos de su manufactura
fueron completados. En este estado la consistencia de la
formulación es uniforme y los pigmentos están igualmente-
dispersados.

Durante un prolongado almacenamiento los pigmentos de un recubrimiento tienden a asentarse en el fondo de los recipientes formando sedimentos duros y blandos y la superficie de la pintura líquida puede estar cubierta con una nata dura; por tal motivo, es de importancia esencial - que un recubrimiento sea cuidadosamente remezclado antes que la aplicación es intentada. Todo el pigmento asentado debe ser re-dispersado y cualquier nata en la superficie debe ser removida.

Una vez que el pigmento ha sido completamente incorporado y la pintura perfectamente mezclada, puede ésta ser transferida a otro envase si se desea sin olvidar cualquier nata o grumos presentes en la pintura, los cuales pueden ser removidos pasando el producto a través de una estopilla de algodón o una malla fina. Si el mezclado y readaptación de recubrimiento ha sido adecuadamente hecho, las densidades y viscosidades de muestras de recubrimiento, tomadas de la parte superior y el fondo del envase deberán ser las mismas, sin considerar el error experimental de las mediciones.

El mezclado de los recubrimientos dentro de los depósitos de almacenamiento puede realizarse por medio de dos métodos generales:

Mezclado Manual.

El mezclado manual es satisfactorio para recipientes pequeños hasta una capacidad no mayor de 20 l., aunque puede resultar también satisfactorio para recipientes de mayor capacidad si se preve que la operación sea realizada cuidadosamente.

Esta operación se realiza introduciendo en el recipiente una paleta o remo de madera (podrían utilizarse remos de otros materiales, pero por razones de seguridad la madera es el material comunmente usado) el que es oscilado vigorosamente sobre el borde del recipiente para producir la turbulencia necesaria para un buen mezclado.

El mezclado manual presenta una desventaja en el tiempo y labor involucrados para el mezclado de materiales que se hayan contenidos en recipientes mayores de 20 l., para los cuales es recomendable el empleo de equipo de mezclado mecánico, con lo cual la posibilidad de un mezclado deficiente disminuye considerablemente.

PROCEDIMIENTO.

Para que el mezclado manual resulte satisfactorio, es conveniente tener siempre en mente el siguiente procedimiento: Una vez seleccionado el recipiente de recubrimiento - que va a ser utilizado se destapa cuidadosamente procurando que las partículas de basura y tierra que se hallan depositadas en la tapa del recipiente no se introduzcan dentro del mismo contaminando así el material; para ésto es conveniente limpiar perfectamente con un trapo medio húmedo la tapadera que va a ser removida. Una vez destapado el recipiente se observa el estado del material y se se han formado natas sobre la superficie, se cortan cuidadosamente por las orillas del bote y se levantan llevándolas hasta fuera del mismo. Es aconsejable vertir en otro bote limpio parte del material y usar una pala fuerte y amplia para homogeneizar perfectamente la parte asentada de la pintura así como romper los grumos que se hayan formado durante el almacenaje. Enseguida se va adicionando poco a poco el material del otro recipiente hasta que el volumen total está perfectamente homogeneizado. Para terminar el proceso de mezclado el material se pasa sucesivamente de uno a otro recipiente, dos o tres veces y al final se recomienda hacer pasar el material a través de una malla fina o estopilla de algodón para eliminar las pequeñas natas y grumos que no fueron incorporados durante el proceso del mezclado.

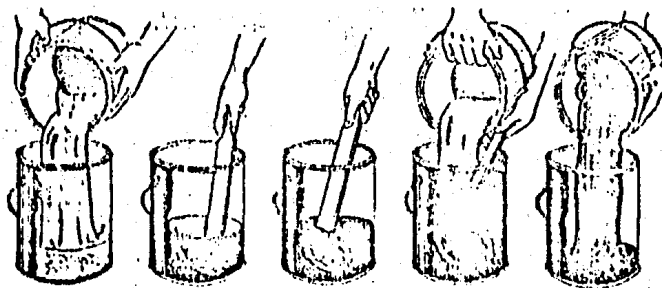


FIGURA (28)

Mezclado mecánico.

El mezclado mecánico puede ser llevado a cabo por tres métodos generales:

Empleando una propela o hélice de tamaño adecuado al recipiente que contiene al líquido que va a ser homogenizado. Este método constituye la forma de mezclado más comúnmente usada y consiste en el empleo de una propela o hélice que será impulsada por un motor frecuentemente conectado a la flecha del agitador por medio de una caja de engranes reductores. El mezclado mecánico muy rara vez se emplea para recipientes pequeños (hasta 20 litros), más bien su uso está reservado para la agitación de grandes volúmenes de materiales contenidos en tanques o recipientes de cualquier forma y tamaño. Con la práctica se ha encontrado que los tanques más adecuados para un buen mezclado por agitación con propela son cilíndricos y con el eje vertical, con el fondo plano o cóncavo, con placas de flectoras (baffles o pantallas) o sin ellas y con la parte superior abierta al aire o cerrada. Las proporciones y características del tanque varían ampliamente dependiendo de la naturaleza del problema de agitación.

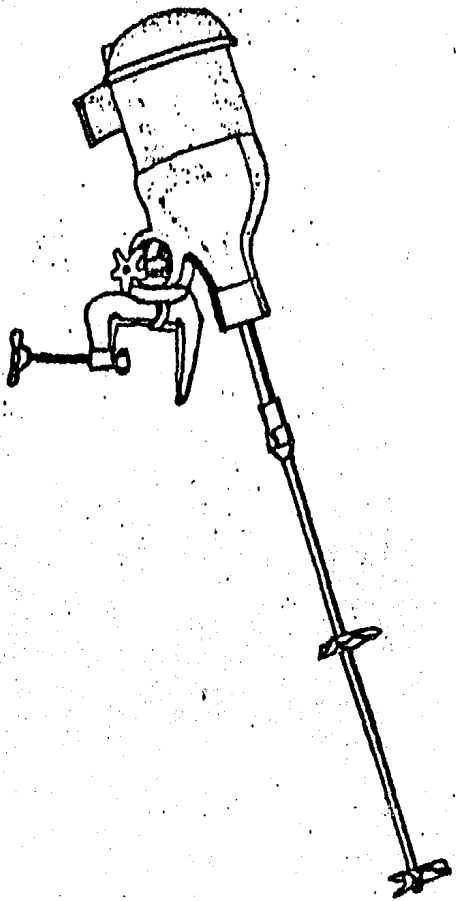
Es práctica común que la altura del material que va a ser mezclado en el tanque sea aproximadamente igual al diámetro del recipiente. Ordinariamente, las propelas o impulsores tienen un diámetro de aproximadamente $1/3$ del diámetro del tanque y si hay uno solo en un eje, está colocado a poco más o menos un diámetro del impulsor desde el fondo. Cuando hay dos o más impulsores en un eje, están colocados a distancias mutuas de, por lo menos, el diámetro del impulsor. Rara vez se colocan los impulsores a distancias menores de un diámetro desde la superficie del líquido.

Es conveniente hacer notar que es más fácil mezclar productos de baja viscosidad y poca densidad ya que la turbulencia se extiende más rápidamente y la mezcla se logra con menor gasto de energía que en productos de alta viscosidad.

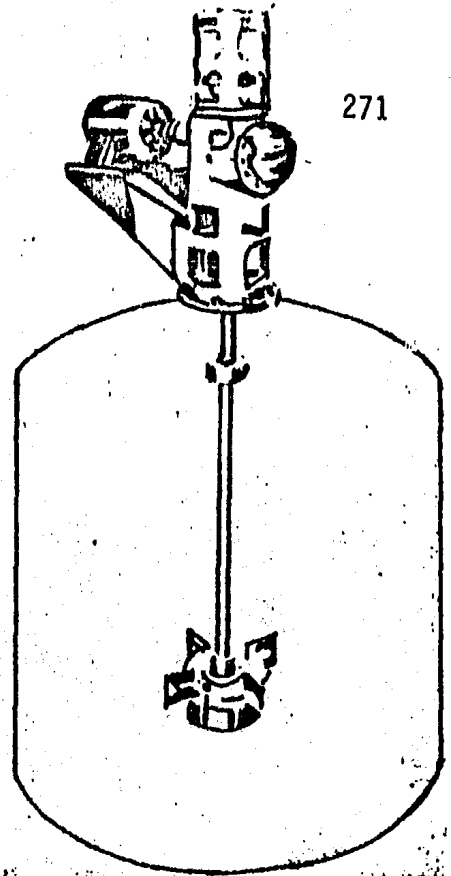
AGITADORES.

Los agitadores en base al tipo de flujo que generan se dividen en 2 clases:

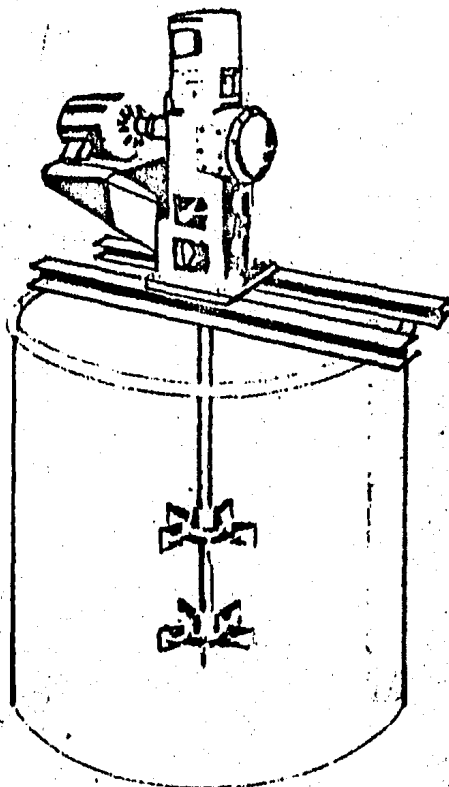
Agitadores de flujo axial. Son aquellos que generan corrientes paralelas al eje del agitador.



Mezclador portátil de motor directo con dos hélices.



Mezclador de tanque cerrado con anillo estabilizador bajo la turbina.



Mezclador de construcción integral en tanques abiertos con dos turbinas.

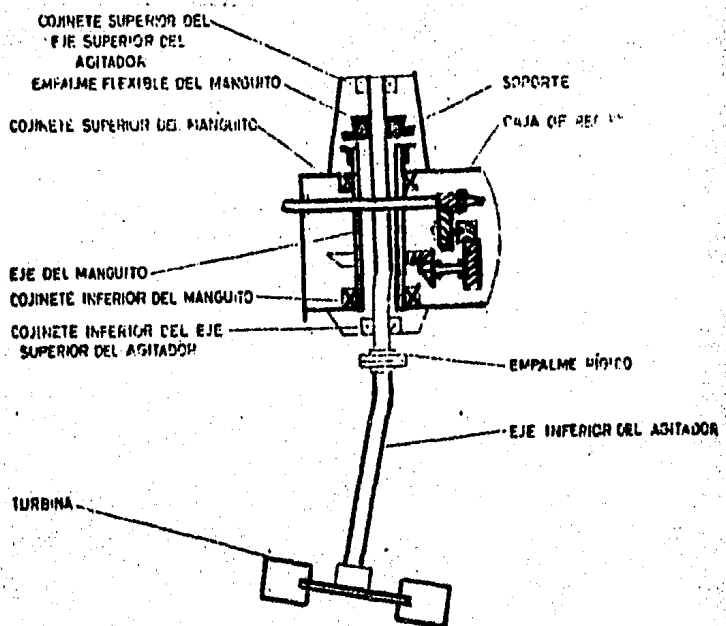


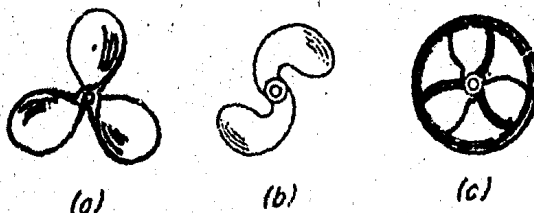
Fig. 16. Mezclador para trabajo pesado.
Mezclador para trabajo pesado

Agitadores de flujo radial. Los cuales dan origen a corrientes en dirección tangencial o radial.

Los tres tipos principales de agitadores son, de HELICE, de PALETAS y de TURBINA. Cada uno de estos tipos comprende de muchas variaciones y subtipos y aunque en algunas ocasiones son útiles también agitadores especiales, con los tres tipos antes mencionados se resuelven quizás el 95% de los problemas de agitación.

Agitadores de Hélice. Un agitador de hélice, es un agitador de tipo axial, que opera con velocidad elevada y se emplea para líquidos poco viscosos. Los agitadores de hélice más pequeños giran a toda velocidad del motor, unas 1,100 o 1,800 rpm; los más grandes giran de 400 a 800 rpm. Las corrientes de flujo, que parten del agitador, se mueven a través del líquido en una dirección determinada hasta que son desviadas por el fondo o las paredes del tanque. La columna de remolinos de material de elevada turbulencia, que parte del agitador, arrastra en su movimiento al material estancado, generando un efecto considerablemente mayor que el que se obtendría mediante una columna equivalente creada por una boquilla estacionaria. Las palas de la hélice cortan o friccionan vigorosamente el material. Debido a la persistencia de las corrientes de flujo, los agitadores de hélice son eficaces para tanques de gran tamaño.

En la fig. (30) se observan algunos tipos de agitadores de hélice. Los más comunes son los agitadores marinos de hélice de tres palas, los cuales como ya se anotó anteriormente producen el tipo de flujo axial; la corriente sale del impulsor en la dirección del eje de rotación originando líneas de flujo verticales y laterales: el material es movido hacia arriba, hacia abajo y horizontalmente y el activo cambio de materia entre la parte superior y el fondo conduce a una buena mezcla.



Hélices de mezcla: (a) Normal de tres palas, (b) de cuchilla, (c) Protegida).

El diámetro de los agitadores de hélice, raramente es mayor de 45 cms., independientemente del tamaño del tanque. Para tanques de gran altura pueden disponerse 2 ó más hélices sobre el mismo eje, moviendo el líquido generalmente en la misma dirección. A veces dos agitadores operan en sentido opuesto o en "Push-Pull" creando una zona de elevada turbulencia en el espacio comprendido entre ellos.

Agitadores de Paletas. En la figura (31) se ilustran -- distintos tipos de agitadores de paletas. Para problemas sencillos, un agitador eficaz está formado por una paleta plana que gira sobre un eje vertical (fig. 31a). A veces las paletas giran a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque, impulsando al líquido radial y tangencialmente sin que exista movimiento vertical respecto del agitador, a menos que las paletas estén inclinadas. Las corrientes de líquido que se originan se dirigen hacia la pared del tanque y después siguen hacia arriba o hacia -- abajo. En la fig. (31c) se ilustra uno de los tipos de agitadores de paletas, el cual se adapta perfectamente a la forma cóncava o semi-esférica del tanque, de tal forma que en su movimiento rasca la superficie o pasa sobre -- ella con una holgura muy pequeña. Un agitador de este tipo se conoce como AGITADOR DE ANCLA. Los agitadores de ancla son útiles cuando se desea evitar un depósito de sólidos sobre una superficie, pero en general no son buenos mezcladores. Generalmente trabajan conjuntamente con un agitador de paletas o de otro tipo, que se mueve con velocidad elevada y que gira normalmente en sentido opuesto.

Los agitadores industriales de paletas giran a una velocidad comprendida entre 20 y 150 rpm. La longitud del rodete de un agitador de paletas es del orden del 50 al 80% del diámetro inferior del tanque. La anchura de la paleta es de 1/6 a 1/10 de su longitud. A velocidades muy bajas, un agitador de paletas produce una agitación suave, en un tanque sin placas deflectoras o cotacorrientes las cuales son necesarias para velocidades elevadas, ya que de lo contrario el material se mueve como un remolino que gira alrededor del tanque, con velocidad elevada pero con poco efecto de mezcla.

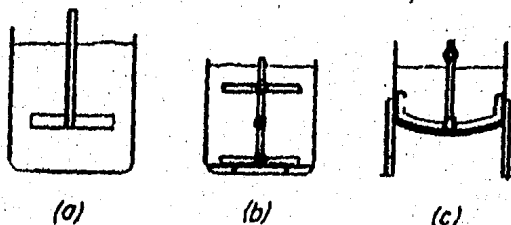


Fig. 31. Agitadores de paletas: a) Paletas planas, b) Paletas inclinadas, c) Agitador de ancla.

AGITADORES DE TURBINA.

En la figura 32 se ilustran algunos de los múltiples - - agitadores de turbina. La mayor parte de ellos se asemejan a agitadores de múltiples y cortas paletas, que giran con velocidades elevadas sobre un eje que va montado centralmente dentro del tanque. Las paletas pueden ser rectas o curvas, inclinadas o verticales. El rodete puede ser abierto, semi-cerrado o cerrado. El diámetro del rodete es menor que en el caso de agitadores de paletas, siendo del orden del 30 al 50% de diámetro del tanque.

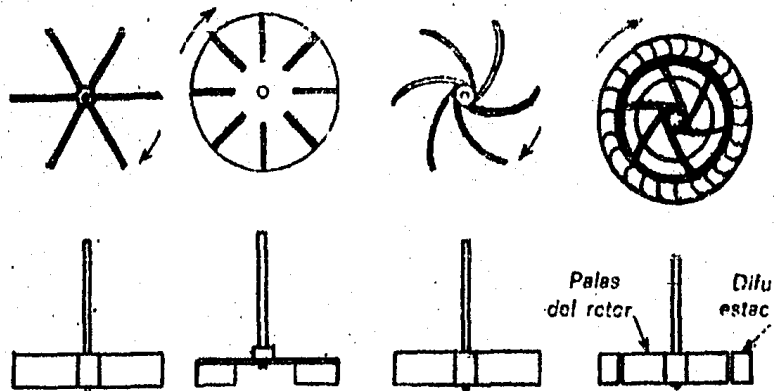
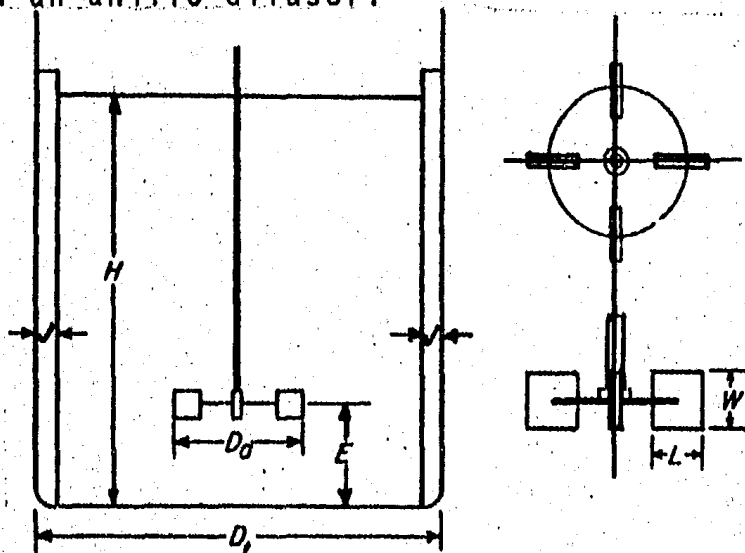


Fig. 32. Rodetes de agitadores de turbina: (a) Abierto de paletas verticales. (b) De disco con álabes. (c) De paletas verticales curvas. (d) Cerrado de paletas curvas con un anillo difusor.



Dimensiones características de un agitador de turbina.

Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio intervalo de viscosidades; en materiales poco viscosos, producen fuertes corrientes, que se extienden por todo el tanque y eliminan las masas de material estancado. En las proximidades del rodete, existe una zona de corrientes rápidas, de alta turbulencia e intensos esfuerzos cortantes. Las corrientes principales son radiales y tangenciales. Los componentes tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos, que se deben evitar por medio de placas deflectoras o un anillo difusor, con el fin de que el rodete sea más eficaz.

El agitador de turbina seme-abierto, conocido como agitador de disco con aletas, que se ilustra en la fig.(33b) es un tipo de agitador especial que se usa para dispersar o disolver un gas en un líquido. El gas entra por la parte inferior del eje del rodete; las aletas lanzan las burbujas grandes y las rompen en muchas pequeñas, con lo que se aumenta grandemente el área interfacial entre el gas y el líquido.

TIPOS DE FLUJO EN RECIPIENTES AGITADOS.

El tipo de flujo que se produce en un recipiente agitado, depende del tipo de rodete, de las características del fluido y del tamaño y proporciones del tanque, placas deflectoras y agitador. La velocidad del fluido en un punto del tanque tiene 3 componentes y el tipo de flujo global en el mismo depende de las variaciones de éstas tres componentes de la velocidad, de un punto a otro. La primera componente de velocidad es radial y actúa en dirección perpendicular al eje del rodete. La segunda es longitudinal y actúa en dirección paralela al eje. La tercera es tangencial o rotacional, y actúa en dirección tangencial a la trayectoria circular descrita por el rodete. Para el caso más común de un eje vertical, las componentes radial y tangencial están en un plano horizontal y la componente longitudinal es vertical. Las componentes radial y longitudinal son útiles porque dan lugar al flujo necesario para que se produzca la mezcla. Cuando el eje es vertical y está dispuesto en el centro del tanque la componente tangencial de velocidad es generalmente perjudicial para la mezcla ya que, el flujo tangencial sigue una trayectoria circular alrededor del eje y crea un vórtice en la superficie del líquido (fig.34).)

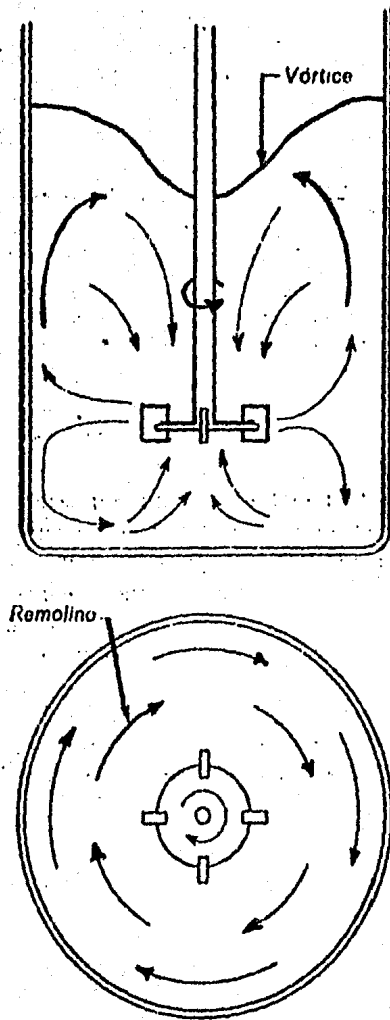


Figura 34. Formación de vórtice y tipo de flujo en un tanque agitado.

que debido a la circulación en flujo laminar, da lugar a una estratificación permanente en diferentes niveles de materiales sin mezclar, sin que exista flujo longitudinal de un nivel a otro. En el caso de que partículas sólidas estuvieran presentes, las corrientes circulatorias tenderían a lanzar las partículas contra la pared del tanque debido a la fuerza centrífuga, desde donde caerían acumulándose en la parte central del fondo del tanque. Por tanto, en lugar de mezcla se produce la acción contraria o sea concentración.

FORMAS DE EVITAR LOS REMOLINOS.

El flujo circulatorio y los remolinos, pueden ser evitados por cualquiera de los tres métodos siguientes: En el caso de tanques pequeños, se dispone el agitador separado del centro del tanque como lo indica la fig. (35).)

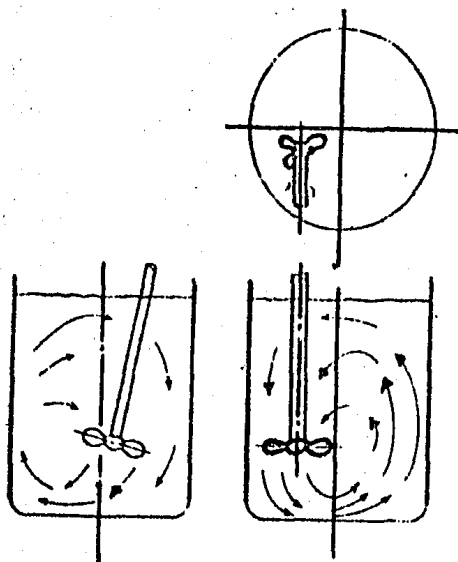


FIGURA (35)

Agitador no centrado.

El eje se mueve así alejado de la línea que pasa por el centro del tanque. En los tanques de mayor tamaño, el agitador puede montarse en la parte lateral del tanque con el eje en un plano horizontal, pero formando un cierto ángulo con el radio como se ilustra en la fig. (36)

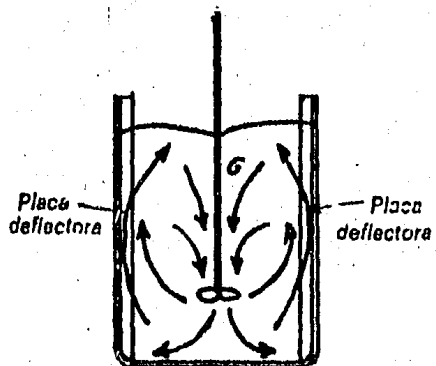


FIGURA (37)

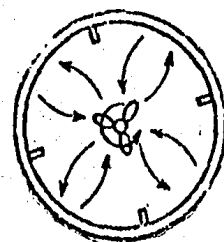


FIGURA (38)

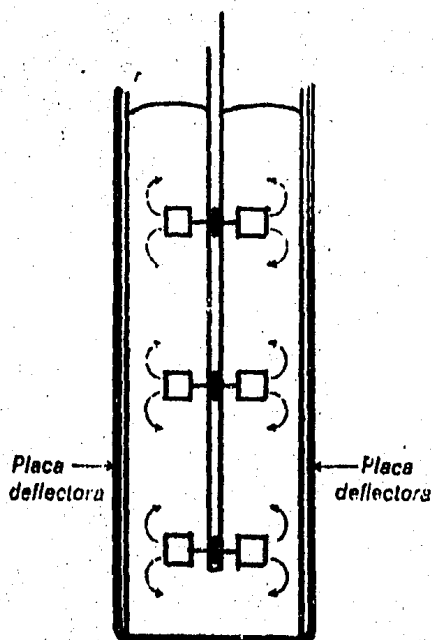


FIG.(39) Turbinas múltiples en un tanque de gran altura.

En los tanques muy grandes, con agitadores verticales, el método más conveniente de reducir los remolinos es instalando placas deflectoras, que impiden el flujo rotacional sin afectar al flujo radial y longitudinal. Un método -- muy sencillo y eficaz de destruir los remolinos, se consigue instalando placas verticales perpendiculares a la pared del tanque como se ilustra en la fig. (37)). Generalmente y excepto para tanques demasiado grandes cuatro placas deflectoras son suficientes para evitar los remolinos. para agitadores de turbina, no es necesario que la anchura de la placa deflector sea mayor que la $1/12$ parte del diámetro del tanque; para agitadores de hélice es suficiente con $1/8$; y cuando el agitador entra al tanque lateralmente, está inclinado o desplazado del centro, no son necesarias las placas deflectoras.

Una vez eliminados los remolinos, el tipo de flujo específico dentro del tanque depende del tipo de agitador. Los agitadores de hélice impulsan el líquido hacia el fondo del tanque, donde la corriente se extiende radialmente en todas direcciones hacia las paredes, fluye sobre las mismas hacia arriba y retorna hacia la succión de la hélice. La forma de flujo se representa en la figura (38)). Los agitadores de hélice se emplean cuando se desean intensas corrientes verticales, por ejemplo, cuando se deben mantener en suspensión partículas sólidas pesadas. Generalmente no se emplea este tipo de agitadores cuando la viscosidad del líquido es superior a los 5,000 centipoises.

Los agitadores de paletas producen un flujo radial intenso en el plano próximo a las palas, pero prácticamente no dan lugar a corrientes verticales. Esta es la limitación principal de los agitadores de paletas y por consiguiente, estos agitadores no son eficaces para mantener sólidos en suspensión.

Los agitadores de turbina impulsan al líquido radialmente contra las paredes laterales del tanque, en las cuales la corriente se divide, una parte de ella fluye hacia abajo, hasta el fondo del tanque y vuelve al centro del impulsor por la parte inferior, la otra parte fluye hacia la superficie del líquido y regresa al impulsor por la parte superior. En la figura (39) se puede observar la producción de dos corrientes de circulación separadas. Los agitadores de turbina son especialmente eficaces en producir corrientes radiales, pero inducen al mismo tiempo flujos verticales, especialmente cuando se disponen --

placas deflectoras.

Es necesario hacer hincapié en un aspecto ya anotado anteriormente, ya que constituye una práctica muy eficaz, pero que desgraciadamente no se tiene en mente en el momento de realizar el proceso de mezclado y que se refiere al hecho de que en un tanque cilíndrico vertical la altura del líquido debe ser igual o algo mayor que el diámetro del tanque. Si se desea una altura mayor, se montan dos o más impulsores sobre el mismo eje, actuando cada uno de ellos como un mezclador independiente (Figura 39). El impulsor inferior ya sea de turbina o de hélice, se monta a una distancia aproximadamente igual al diámetro de impulsor, sobre el fondo del tanque. La distancia entre los impulsores es también de aproximadamente un diámetro de ellos.

VELOCIDAD DE CIRCULACION.

Se llama velocidad de circulación o capacidad de bombeo del impulsor o rodete, al volumen de fluido puesto en movimiento por el impulsor en la unidad de tiempo. Para que el proceso de agitación dentro del tanque sea eficaz, independientemente de la naturaleza del problema de agitación, la velocidad volumétrica de flujo debe ser suficiente para remover el volumen total del mezclador en un tiempo razonable. Además, la velocidad de la corriente que abandona el impulsor ha de ser lo suficientemente elevada para que su influencia llegue a las partes más alejadas del tanque, ya que de lo contrario los materiales que se encuentran en esas zonas no llegarían a mezclarse. La corriente que abandona el impulsor o rodete, transporta una cierta cantidad definida de energía cinética la cual, se disipa por fricción debido a los esfuerzos cortantes, a medida que la corriente fluye a través de la masa de líquido. Si la energía cinética es demasiado pequeña la corriente no llega a alcanzar las partes más alejadas del tanque y por consiguiente es necesario que la velocidad del fluido sea de tal magnitud que proporcione una energía cinética superior a un cierto valor mínimo.

La velocidad de flujo de un agitador de turbina o de paletas, de tamaño y forma determinados y que opera dentro de un tanque que contiene un material determinado, es proporcional a la magnitud nD_a^3 , donde n es la velocidad de giro del agitador en rpm y D_a el diámetro del rodete o impulsor. En el caso de agitadores de hélice, la velocidad de flujo es proporcional a nD_a^2 .

En las operaciones de mezclado la velocidad de circulación no es el único factor importante, ya que es posible la existencia de corrientes que se muevan unas al lado de otras durante un cierto recorrido, sin que prácticamente se mezclen entre sí. La turbulencia de la corriente es también importante para el efecto de mezcla, con frecuencia resulta de mayor importancia que la velocidad de circulación. Por medio de la turbulencia es posible arrastrar la masa global de material del tanque e incorporarla a la corriente. La turbulencia es producto de corrientes dirigidas adecuadamente y de los gradientes de velocidad elevados que existen en el seno del material.

La utilidad de un mezclador se mide por las propiedades del producto mezclado que produce. Es de suma importancia tener en cuenta ciertos criterios de la eficacia de mezclado entre los que destacan:

Índice de mezclado.

El rendimiento de un mezclador industrial se juzga por el tiempo requerido, la potencia empleada y las propiedades del producto. Tanto los requisitos del aparato mezclador como las propiedades deseadas del material mezclado varían ampliamente de un problema a otro. A veces se requiere un grado muy elevado de uniformidad; a veces -- una acción de mezclado rápida; otras un gasto de energía mínimo, etc.

Grado de uniformidad.

El grado de uniformidad de un producto mezclado medido por análisis de un cierto número de muestras puntuales, es una medida cuantitativa adecuada de la eficiencia de mezclado. Los mezcladores actúan sobre dos o más materiales separados para entremezclarlos, casi siempre al azar. Una vez que uno de los materiales está distribuido al azar dentro del otro, puede considerarse completa la operación de mezclado. Basándose en estos conceptos se puede establecer un procedimiento estadístico para medir la eficiencia de mezclado.

Los aspectos sobre mezclado considerados en este capítulo son muy importantes para el perfecto entendimiento de la operación de mezclado, pero de ninguna manera se consideran lo suficientemente completos como para considerar o afirmar que representa todo un tratado en cuanto a mezclado se refiere. La finalidad de este capítulo es -

hacer notar que la operación de mezclado es tan importante como cualquier otra y que su tratamiento no es tan fácil como se piensa sino que constituye una operación bastante compleja. Como en este trabajo sería imposible -- tratar detenidamente este tema que sólo se considera un auxiliar del tema medular, se limitará a proporcionar la bibliografía necesaria para quienes deseen profundizar más al respecto.

En el caso de la mezcla de un líquido con un sólido (por ejem. un recubrimiento de dos componentes) el mezclado -- deberá hacerse poco a poco permitiendo que el componente sólido (polvo) vaya siendo humectado perfectamente. Esto dará como resultado una mezcla perfectamente homogénea y de fácil manejo y aplicación. Además, los componentes deberán mezclarse poco tiempo antes de su aplicación observando la proporción indicada en la especificación correspondiente. Para este tipo de recubrimientos -- es de gran importancia vigilar el tiempo de vida útil de la mezcla (pot life) dato que también aparece en la especificación correspondiente.

- 2). Mezclado por movimientos oscilatorios. Este procedimiento es ampliamente usado en las industrias de recubrimientos y se emplea para mezclar materiales -- que se hayan contenidos en recipientes completamente cerrados. Consiste en colocar los recipientes -- con el material a ser mezclado sobre un dispositivo que consta de dos rodillos perfectamente nivelados -- colocados paralelamente girando a una velocidad baja constante.

La fig. (40) muestra un dispositivo de este tipo.

- 3). Mezclado por bombeo (recirculación). Representa el procedimiento de mezclado más sofisticado y consiste en recircular varias veces el material hasta obtener la uniformidad deseada. Este procedimiento -- se emplea únicamente para grandes volúmenes de material. El material se recircula dentro del mismo -- tanque de almacenamiento.

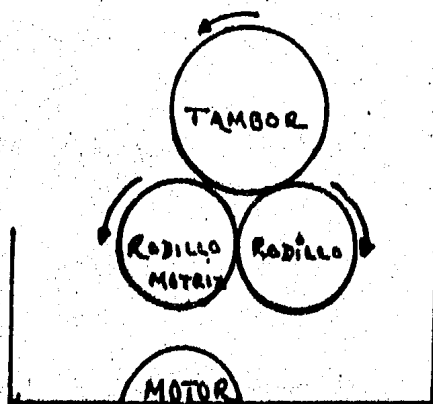


Figura (40)

V.2 ADELGAZAMIENTO

Una vez que el recubrimiento está adecuadamente mezclado el adelgazamiento o ajuste de viscosidad del mismo se -- convierte en la parte medular del procedimiento de acondicionamiento del recubrimiento para su aplicación.

El adelgazamiento de los recubrimientos es muy importante y debe ser llevado a cabo de acuerdo a las instrucciones proporcionadas por los fabricantes de los mismos. Lo deben realizar personas capacitadas y no deberá ser relegado a personas sin experiencia.

Al ajustar la viscosidad de un recubrimiento se deben tener en mente dos factores de vital importancia:

- a). Empleo del adelgazador apropiado.
- b). Adición de la cantidad adecuada de adelgazador en base al método de aplicación a ser usado.

Todo adelgazamiento de recubrimientos debe ser realizado bajo la supervisión de una persona competente, la cual -- está familiarizada con la cantidad correcta y tipo de -- adelgazador a ser añadido al recubrimiento.

La adición de un adelgazador equivocado así como un adelgazamiento excesivo provoca un comportamiento negativo -- en el recubrimiento.

Los adelgazadores pueden no ser añadidos, a menos que -- sea necesario para la adecuada aplicación del recubrimiento. La mayor parte de las pinturas surtidas hoy en día son adelgazadas para obtener la adecuada viscosidad de aplicación con brocha, y en la mayoría de los casos -- con sólo un poco más de adelgazamiento las pinturas pueden ser aplicadas por aspersión. Antes de adicionar el adelgazador a la pintura para aplicación por aspersión, -- el equipo deberá ser cuidadosamente checado y la presión del aire y la presión del fluido ajustadas para determinar si el adelgazamiento es necesario.

En la aplicación de un recubrimiento para protección anticorrosiva existe un factor muy importante que es vigilado y controlado por la persona encargada de la aplicación del recubrimiento, la cual se requiere sea de mucha experiencia y tenga buenos conocimientos sobre recubri--

mientos. Este factor se refiere al espesor óptimo de película de pintura que deberá ser depositado sobre la superficie para asegurar una protección óptima y duradera contra los problemas de corrosión y deterioramiento prematuro de la misma. Si la pintura es adelgazada excesivamente, los requerimientos de espesor de película aplicada por capa no se cumplen, lo que origina que la superficie recubierta no quede lo suficientemente protegida a menos que un mayor número de capas (manos de pintura) -- sean depositadas sobre la superficie. Este factor se denomina "Construcción de película por capa"

Generalmente, la cantidad de adelgazador necesario para lograr la consistencia (viscosidad) óptima de aplicación no excede del 25% de la cantidad de pintura a ser aplicada, al menos que la pintura sea una formulación del tipo laca, las cuales son intencionalmente formuladas para -- una gran cantidad de adelgazador.

El mejor método de determinación de las cantidades apropiadas de adelgazador, es el medir la viscosidad de la pintura por los métodos apropiados que serán descritos -- en uno de los capítulos siguientes.

Para aplicación con brocha o rodillo, la consistencia o viscosidad de la pintura debe ser equivalente a 50 - 60 segundos Copa Ford No. 4, para aplicación por aspersión con aire, la consistencia debe ser equivalente a 22 - 28 segundos Copa Ford No. 4. En muchas ocasiones y sobre todo en trabajo de campo, la viscosidad de aplicación es obtenida en base únicamente a la experiencia en el trabajo sin necesidad de usar aparato alguno.

La temperatura de la pintura afecta grandemente la viscosidad por tal motivo una carta o tabla de "VISCOSIDAD -- contra TEMPERATURA" deberá ser preparada con el fin de -- obtener los mejores resultados.

V.3 MÉTODOS DE APLICACION DE RECUBRIMIENTOS.

La aplicación adecuada de un recubrimiento sobre una superficie es una operación muy delicada que debe ser llevada a cabo con mucho cuidado, ya que en ella descansa gran parte del éxito de un sistema de recubrimiento para protección anticorrosiva. Esta aplicación puede ser llevada a cabo a través de varios métodos específicos, cada uno de los cuales requieren técnicas y cuidados diferentes, pero todos en general tienen como finalidad depositar sobre una superficie una cierta cantidad de pintura en forma de película que servirá como aislante entre la superficie y el medio evitando así el deterioramiento o destrucción prematura de la superficie por la acción corrosiva desarrollada por el medio.

Para obtener una vida satisfactoria del sistema de recubrimiento es estrictamente necesario observar cuidadosamente una serie de reglas antes, durante y después de la aplicación del recubrimiento. Entre las más importantes y que requieren atención especial tenemos las siguientes:

- a) Una vez que la persona encargada de realizar el trabajo ha comprobado que el recubrimiento a ser aplicado es el adecuado y corresponde a la especificación establecida para ese medio de exposición y tipo de servicio y que el tipo de preparación de superficies es el adecuado, deberá percatarse que el recubrimiento esté debidamente mezclado y adelgazado con los adelgazadores recomendados por el fabricante.
- b) Se deberá tener cuidado que las superficies donde van a ser aplicados los recubrimientos estén perfectamente secas.
- c) No deberá ser aplicado un recubrimiento en presencia de lluvia, humedad excesiva o cuando la temperatura ambiente sea menor de 10°C.
- d) El equipo a ser usado para la aplicación deberá chequearse cuidadosamente para estar seguros que está completamente limpio y libre de contaminación.
- e) Es aconsejable no pintar si existe riesgo inminente de lluvia ya que la humedad en el tiempo de aplicación y secado es peligrosa. En ambientes donde la humedad relativa es abajo del 80% las condiciones son satisfactorias para el buen pintar. Cuando la humedad relativa es alta, es probable que la condensación ocurra si la superficie metálica está ligeramente abajo de la temperatura del aire. Cuando el

aire está saturado, es virtualmente cierto que una delgada capa de agua uniforme, aunque invisible, recubre la superficie metálica. Si la superficie está abajo del punto de rocío del aire, es cierto que una capa de agua se formará sobre la misma. El peligro de la humedad sobre la superficie se debe a que el recubrimiento no desarrolla adhesión o lo hace muy ligeramente sobre la superficie en la cual es aplicado.

- f) Todas las superficies recubiertas que hayan tenido que ser expuestas a la humedad antes del secado, deberán ser chequeadas cuidadosamente para conocer la adhesión desarrollada por el recubrimiento. Si la adherencia de la pintura es pobre, la superficie deberá ser raspada y preparada para ser repintada bajo condiciones apropiadas.
- g) Las superficies que están húmedas o mojadas pueden ser pintadas (recubiertas) si la superficie va a ser pintada con un material, el cual tiene una tolerancia para el agua; por ejemplo: una emulsión, de otra manera la superficie deberá secarse antes de recubrirse. El secado de la superficie puede ser por flama, calor radiante, calentadores por convección o por cualquier otro método adecuado.
- h) La aplicación del recubrimiento deberá hacerse de una manera uniforme, de tal forma que la capa de pintura depositada sobre la superficie tenga el mismo espesor y esté libre de poros. Si la superficie es rugosa, picada o pobremente preparada se recomienda la aplicación con brocha de un recubrimiento primario. Pero, si la superficie está perfectamente preparada se recomienda la aplicación de recubrimiento primario por aspersión lo cual dará exactamente el mismo resultado que la aplicación con brocha, con la ventaja adicional de que la aplicación resulta más uniforme en el espesor de película depositada sobre la superficie; además las marcas dejadas por la brocha son evitadas eliminando así un riesgo muy común en la aplicación de recubrimientos con brocha ya que se ha comprobado que el agotamiento de la pintura ocurre precisamente en el fondo de los surcos de las marcas de la brocha debido a que los surcos son la parte más delgada de la película de la pintura.

- i) Deberá siempre tenerse presente una relación "Tiempo de secado - Cubriente" de tal forma que la película de recubrimiento aplicada tenga un período de endurecimiento apropiado antes de que otra película del mismo recubrimiento o de otro tipo sea aplicada sobre la primera.
- j) El cubriente final de pintura (cuando el trabajo ha sido terminado) debe permitirse secar tanto como sea posible antes de su exposición al tipo de servicio al que va a estar destinado. La exposición de la pintura fresca a un ambiente severo, es conocido que tiene un efecto deteriorante sobre la vida de la pintura lo cual, no puede ser remediado cuando se está pintando en el campo bajo condiciones prácticamente severas.
- k) Si la superficie fue preparada con chorro de arena el recubrimiento no deberá aplicarse después de 3 horas de efectuada la limpieza, debido a los posibles efectos de corrosión en la superficie. Si las condiciones ambientales son críticas, este tiempo es menor y deberá establecerse en la localidad.

Los anteriores son algunos de los aspectos que deben ser tenidos en cuenta en todo trabajo de aplicación de recubrimientos para protección anticorrosiva.

A continuación serán discutidos los métodos de aplicación de recubrimientos comúnmente usados, especificando sus principales características, procedimientos, ventajas y desventajas y usos más comunes.

V.3.1 APLICACION CON BROCHA DE PELO.

La aplicación con brocha es un procedimiento que ha sido utilizado durante muchos años y no requiere de una discusión muy extensa; no obstante, es necesario puntualizar algunos aspectos. En comparación con otros métodos resulta excesivamente lento por lo que deberá preferirse para áreas pequeñas o de conformación difícil; además, presenta cierta dificultad para un control de espesor de película eficiente. Entre sus ventajas más sobresalientes se pueden mencionar las pérdidas mínimas de material y la fácil humectación aun en áreas difíciles, además

que los costos por equipo son mínimos.

Durante la aplicación del recubrimiento con brocha de pelo es conveniente observar las siguientes recomendaciones:

Selección de la brocha.

El tamaño de la brocha a ser usada dependerá del área por recubrir; las de tamaños reducidos se utilizan en áreas pequeñas o intrincadas (de difícil acceso), las más anchas se utilizan en áreas extensas preferentemente planas.

En la selección de una brocha es también importante el conocimiento del tipo de material de que están hechas las cerdas; la máxima eficiencia de aplicación se obtiene con brochas de pelo de caballo, aún cuando en ciertos casos se puede utilizar una combinación de esta cerda natural y fibra sintética, con la consiguiente disminución en la eficiencia de aplicación. El número de cerdas de la brocha es también muy importante y generalmente va en función del precio. Las de bajo costo tienen pocas cerdas por cada cm.² en comparación con las de buena calidad, por lo que al mojarse en el recipiente que contiene al recubrimiento retienen muy poco material; por otra parte las cerdas en brochas de baja calidad son muy gruesas lo que ocasiona dejen una cantidad excesiva de huellas o surcos -- que dificultan la nivelación del recubrimiento y por tanto la obtención de espesores uniformes. Por otra parte hay que hacer notar que este tipo de cerdas se desprenden con facilidad ocasionando la deterioración de la brocha a corto plazo, lo que origina que las brochas de más bajo costo se transformen en las más costosas en la realización de un trabajo de recubrimiento para protección anticorrosiva.

APLICACION CON BROCHA.

La brocha nunca deberá sumergirse a más de la mitad de la longitud de las cerdas evitándose así la necesidad de eliminar el exceso de recubrimiento en el borde del recipiente, eliminándose las pérdidas de material por este concepto. Si la brocha es sumergida más de lo debido el recubrimiento tenderá a alcanzar la base de la brocha y allí no puede ser aplicado; en este sitio pierde solventes, se vuelve más viscoso y em

pieza a secar haciendo cada vez más dura la brocha por lo que se requiere mayor fuerza en aplicaciones subsecuentes. Esta acción de frotación acelera la evaporación de solventes aumentando la consistencia o viscosidad del recubrimiento y restándole la posibilidad de un buen flujo y nivelación. Además, una brocha con pintura completamente seca acumulada en su base pierde mucho de su flexibilidad y moldeo.

Solamente un pintor de experiencia conoce el área aproximada que puede recubrir con cada inmersión de la brocha a un espesor determinado, por lo que con un mínimo de brochazos extiende el material y obtiene un espesor uniforme en la práctica esto equivale a una "MANO" de recubrimiento. Una recomendación profesional en este campo es siempre mantener la brocha a un ángulo de 45° con respecto a la superficie, extendiendo el material de la zona, sin recubrir a zonas ya recubiertas, cambiando en 90° el sentido de los últimos brochazos de retoque en forma tal que toda la superficie recubierta tenga el mismo sentido.

V.3.2. APLICACION CON RODILLO

Estos dispositivos de aplicación se desarrollaron para reducir el tiempo de aplicación en superficies planas. En el mercado existen gran variedad de formas y tamaños. Los rodillos generalmente se construyen de lana natural aunque con frecuencia se le combina con fibras sintéticas.

La apariencia del recubrimiento depende en gran parte de la profundidad del rodillo; los rodillos de fibra corta producen acabados tersos o lisos. Algunos tipos requieren de un recipiente de recubrimiento para sumergir y exprimir el rodillo aún cuando los más convenientes tienen una línea de alimentación automática de baja presión, la cual pasando por el mango alimenta al rodillo. Es conveniente hacer notar que aún cuando se aumenta la rapidez de aplicación por este método, el espesor resultante no es del todo uniforme y solamente tiene éxito en superficies planas en el sentido del eje de rodillo.

V.3.3 APLICACION POR ASPERSION

El método de aplicación por aspersión se desarrolló ante la necesidad imperiosa de incrementar las velocidades de aplicación y mejorar el control de espesores y eficiencia en general a consecuencia de las grandes áreas por recubrir y la agresividad de los medios corrosivos que se presentan en la industria.

El principio fundamental de la aplicación por aspersión está basado en la fina atomización del recubrimiento, proyectando la niebla resultante hacia el objeto por recubrir.

Los primeros equipos de aspersión utilizaron aire comprimido como medio de atomización y no obstante que a la fecha es el procedimiento más utilizado se han desarrollado otros métodos de aspersión tales como aspersión por vapor y aspersión sin aire (airless), pero en algunos de ellos su alto costo o dificultad de manejo han limitado su popularización.

A) APLICACION POR ASPERSION CON AIRE.

Como ya se anotó anteriormente este método de aplicación es el más popular y consecuentemente el más comúnmente usado. El manejo de este equipo aunque no muy problemático, requiere de una serie de cuidados básicos que deben ser tenidos siempre en mente y que irán siendo mencionados durante el desarrollo del tema.

El equipo de aplicación por aspersión con aire considera los siguientes componentes: Pistola de aspersión, Recipiente de material (olla o vaso), mangueras, filtros de aire, reguladores de presión de aire, compresores de aire, accesorios (conexiones, etc.) y equipos de seguridad. A continuación y como primer punto se describen cada uno de los componentes que intervienen en el proceso de aplicación de recubrimientos para protección anticorrosiva por aspersión con aire.

Pistola de aspersión.

Es un dispositivo cuyo diseño permite mezclar íntimamente y en la proporción adecuada una corriente de aire comprimido con una cierta cantidad del recubrimiento que va a ser aplicado, provocando su atomización y con la facultad de dirigir la niebla de-

recubrimiento de forma o patrón determinado hacia una superficie por recubrir. El aire y el material entran a la pistola por conductos diferentes.

Considerando el lugar donde se produce la mezcla -- AIRE-RECUBRIMIENTO las pistolas se clasifican en:

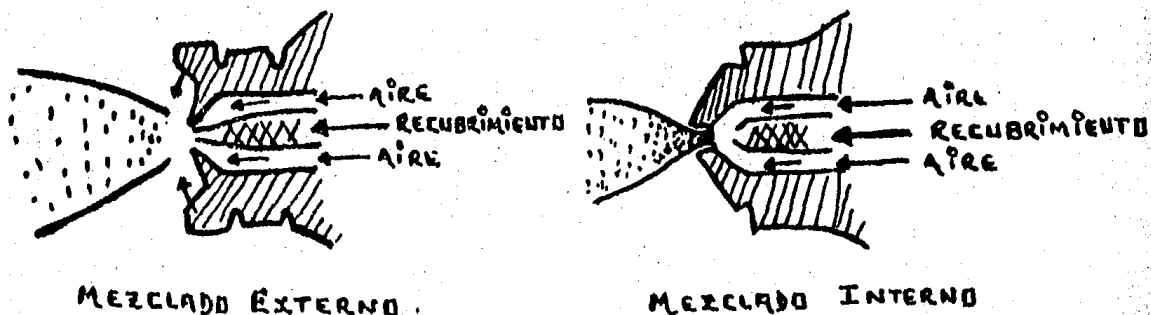
a) Pistola de mezcla exterior.

En este tipo de pistola la mezcla tiene lugar inmediatamente después de la salida de materiales del frente o casquillo de la pistola; este tipo es adecuado para aplicar casi cualquier tipo de material fluido e incluso el único que puede aplicar materiales de secado rápido.

b) Pistolas de mezcla interior.

En este tipo de pistola la mezcla AIRE-RECUBRIMIENTO se realiza en el casquillo, un poco antes de que los materiales abandonen la pistola; su uso está relegado a situaciones donde sólo se cuenta con aire de baja presión.

En la figura (41) se ilustran los 2 tipos de pistolas existentes en el mercado indicando claramente la forma del mezclado AIRE-RECUBRIMIENTO:

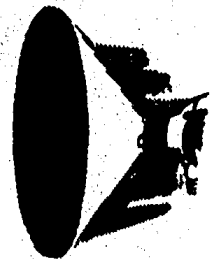
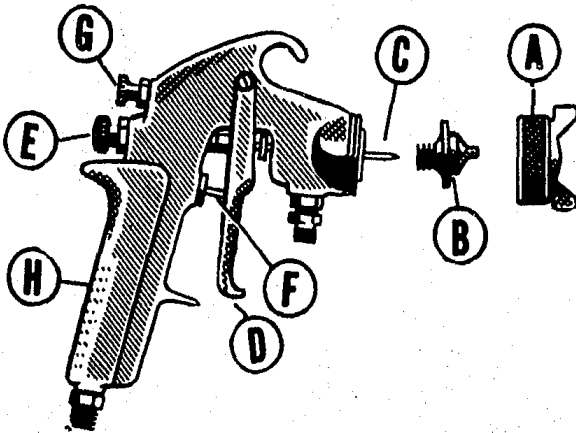


Tomando en cuenta el tipo de alimentación del recubrimiento estos dispositivos se clasifican en pistolas de SUC- - CION y pistolas de ALIMENTACION A PRESION. En el primer tipo la corriente de aire forma un vacío capaz de succionar el recubrimiento del recipiente que lo contiene. Este método es eficiente siempre y cuando la capacidad del recipiente no sobrepase de un litro o un cuarto de galón y el recubrimiento por aplicar presente una baja consistencia o viscosidad. Su uso está confinado a la aplicación en áreas pequeñas.

En el segundo tipo el recubrimiento es forzado a ir hacia la pistola aplicando una cierta presión al recipiente, -- por lo que es posible aplicar materiales de baja y alta viscosidad con una rapidez muy superior a las pistolas -- del tipo anterior.

La combinación de una pistola de alimentación por presión o mezcla externa es el tipo de pistola más utilizado en la aplicación de recubrimientos para protección anticorrosiva a grandes áreas, tanto por la rapidez, como por la versatilidad de los materiales que pueden manejarse.

Los principales componentes de una pistola de aplicación o aspersión se muestran en la figura (42).



A. Casquillo o boquilla

Inyecta aire a la corriente de material para su atomización. Su diseño define la forma del patrón de aplicación, pudiendo ser la mezcla interior o exterior.

B. Tobera.

Tiene por objeto regular y dirigir el recubrimiento a la corriente de aire para su atomización. Sus funciones de regulación o control de la cantidad del material (válvula) las realiza conjuntamente con la aguja de fluido.

C. Aguja de fluido.

Es una pieza de la pistola que asienta perfectamente en la parte anterior de la boquilla que accionada por el gatillo regula o clausura la entrada de material.

El conjunto casquillo-tobera-aguja debe ser adecuadamente seleccionado tanto en lo que se refiere a forma y dimensiones como a su material de construcción. Su selección depende de la naturaleza del material que va a ser aplicado en lo que se refiere a su consistencia o viscosidad, abrasividad y corrosividad, así como la velocidad de aplicación requerida, la cual depende a su vez del área por recubrir.

Considerando los tipos de recubrimiento que son comúnmente utilizados en la República Mexicana para satisfacer las necesidades de protección anticorrosiva, los cuales han sido evaluados por Petróleos Mexicanos a través del Instituto Mexicano del Petróleo, a continuación se enlistan los conjuntos de boquillas y toberas más usados para recubrimientos ajustados a una cierta viscosidad de aplicación que generalmente oscila entre 22 - 25 segundos en Copa Ford # 4.

T O B E R ADIAMETRO INTERNO
(pulgadas)FLUJO PARA 15 lbs/in² EN EL
DEPOSITO.

	(lt/min)
0.042 "	0.29 - 0.83
0.047 "	0.83 - 1.18
0.055 "	0.89 - 1.48
0.070 "	1.48 - 2.00

B O Q U I L L AANCHO DE ABANICO
(cms.)FLUJO PARA 15 lbs/in²
EN EL RECIPIENTE
(lt/min)AIRE DE ATOMIZACION
PRESION GASTO.
(lb/in²) (pies³/min)

20 - 25	0.29 - 0.59	30 - 50	5.8 - 8.5
10 - 13	0.29 - 0.71	50 - 75	10.0 - 14.0
20	0.59 - 0.95	30 - 50	10.1 - 14.8
18	0.44 - 0.62	20 - 40	7.2 - 9.2
25	0.59 - 0.95	50 - 90	14.7 - 23.8
35	0.89 - 1.18	50 - 70	17.9 - 23.7
39	0.89 - 1.18	50 - 80	17.4 - 23.0

Los abanicos angostos deberán utilizarse preferentemente en áreas irregulares o pequeñas, mientras que los abanicos de mayor tamaño se utilizan para cubrir rápidamente áreas grandes.

Una vez seleccionado el ancho de abanico más adecuado, la capacidad de la boquilla deberá corresponder al tamaño de la tobera más adecuado. Similarmente la guja de la pistola deberá estar de acuerdo al tamaño de la tobera.

En cuánto al material de construcción del conjunto deberá ser el más adecuado a la naturaleza de los materiales que se van a manejar. Se puede considerar que los recubri-

mientos inorgánicos de zinc representan el único material abrasivo de manejo ampliamente difundido para protección-anticorrosiva, en cuyo caso el bronce y el acero del conjunto BOQUILLA-TOBERA-AGUJA deberán sustituirse por materiales de construcción más resistentes del tipo CARBOLOY o NITRALLOY.

D. Gatillo.

Con este dispositivo la persona encargada de realizar la aplicación del recubrimiento (aplicador) suspende o permite el paso de aire y material.

E. Tornillo de fluido.

Regula la cantidad de material que llega a la pistola.

F. Válvula de aire.

Es accionada por el gatillo de la pistola y permite o suspende el paso de aire en la misma.

G. Tornillo de aire o rociado.

Regula la cantidad de aire que llega a la pistola.

H. Cuerpo de la pistola.

Constituye el armazón donde se hayan conjuntados los dispositivos anteriormente mencionados y que darán origen a la llamada "PISTOLA DE APLICACION POR ASPERSION"

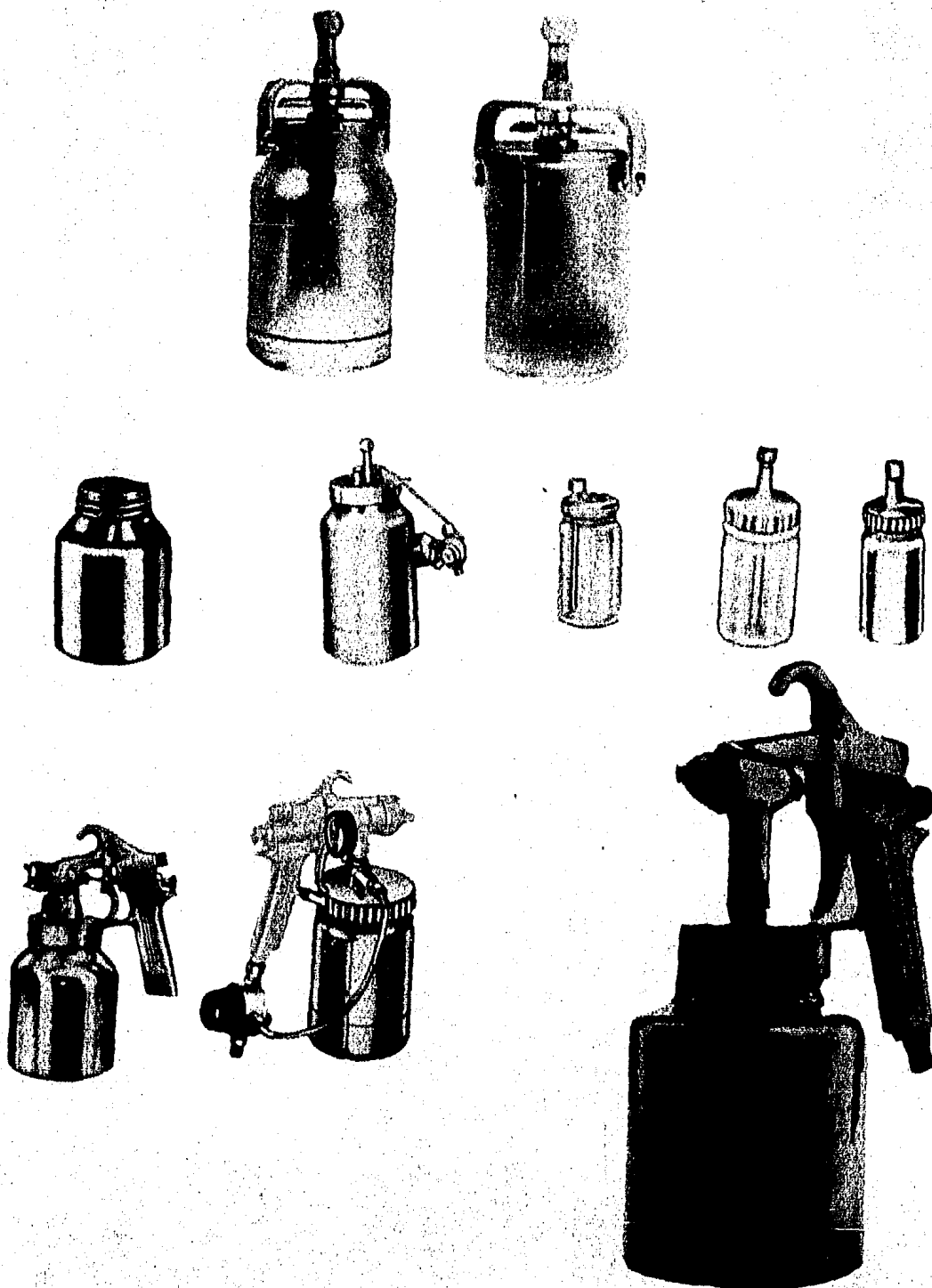
Recipientes de material.

Son depósitos donde se almacena el recubrimiento perfectamente filtrado y acondicionado para su aplicación. Dependiendo de su capacidad se distinguen dos tipos de recipientes: el vaso y el tanque.

El vaso es un recipiente de dimensiones reducidas y se utiliza para pulverizar cantidades pequeñas de material del orden de un litro o menos, resultando ideal en trabajos pequeños o donde se requiere cambiar frecuentemente de color o de tipo de material. En el mercado están disponibles vasos para pistolas de succión conectadas a la presión atmosférica a través de un orificio en las tapas de los mismos; también se encuentran dis-

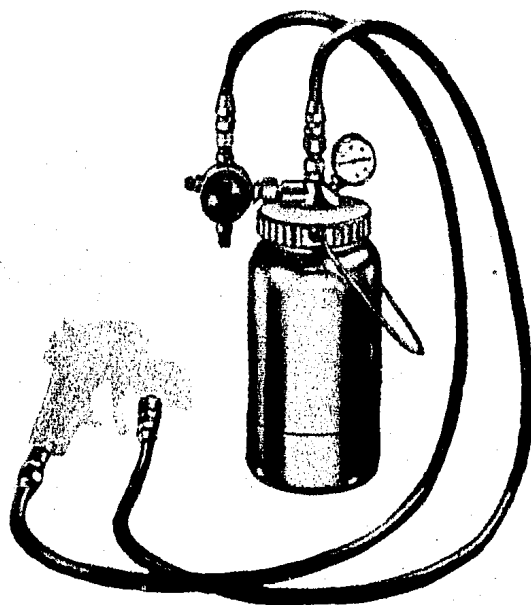
ponibles vasos de presión, en cuyo caso se requiere adicionalmente de un regulador de presión para el aire de atomización y para el recipiente. Este dispositivo es de forma compacta y está colocado entre el recipiente y la pistola. En la figura (43) podemos observar los 2 tipos de dispositivos mencionados anteriormente.

TAZAS DE SUCCION





pistola de succión conectada a la presión atmosférica. En este dispositivo la pintura es alimentada a la pistola - por medio del vacío creado - por el paso del aire a través de la misma.

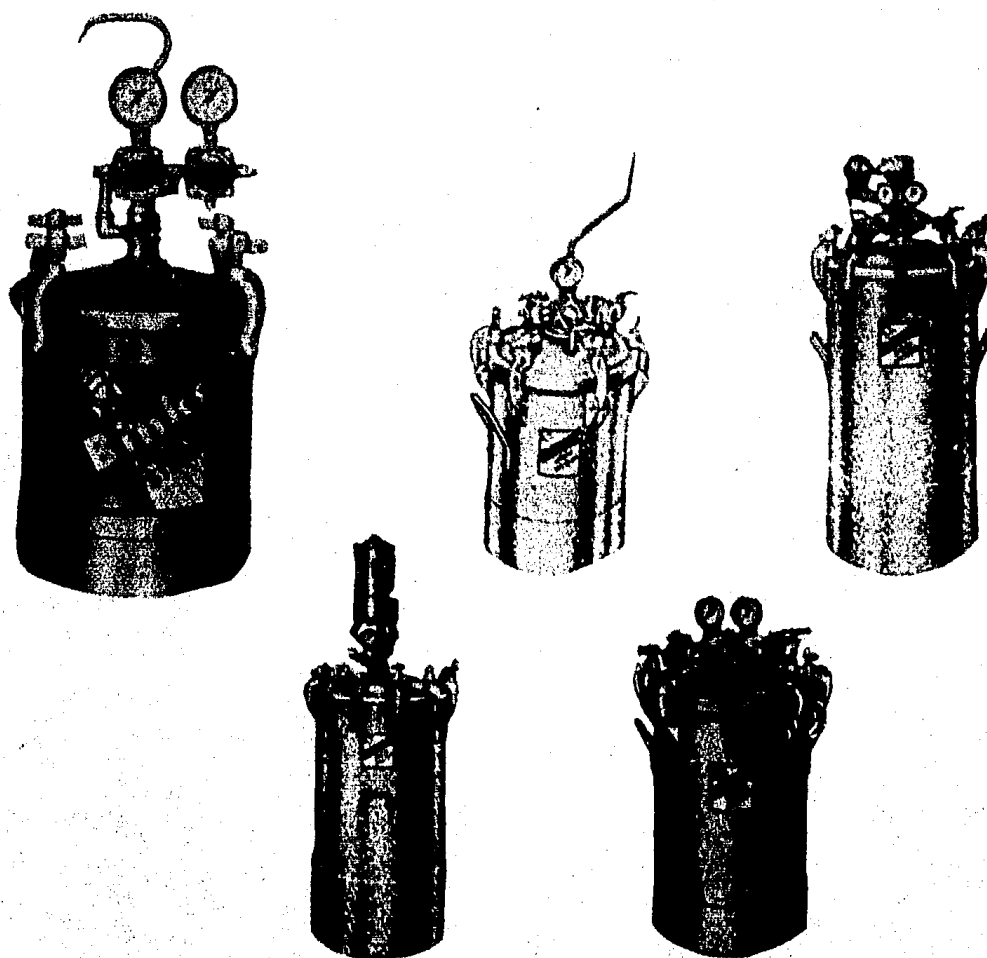


pistolas de alimentación por presión. En este dispositivo el recubrimiento es forzado a la pistola aplicando una cierta presión al recipiente (vaso).

Los tanques son recipientes metálicos con capacidad de 2 a 15 galones, que proveen una corriente continua de recubrimiento a la pistola de aspersión debido a la presión neumática provocada dentro del mismo. Estos dispositivos por regla general están complementados con 2 reguladores de presión y sus correspondientes manómetros; el primero es para regular la presión del aire de atomización y el segundo la presión dentro del recipiente. En muchas ocasiones el recubrimiento tiende a asentarse rápidamente como es el caso de los inorgánicos de zinc, -- por lo que se requiere de un medio de agitación interna continua en cuyo caso puede adaptarse al tanque de almacenamiento de recubrimiento con la inclusión de los recipientes de agitadores de tipo neumático, eléctrico o manual.

Los recipientes tipo tanque deben utilizarse en la aplicación de recubrimientos de baja o mediana consistencia en grandes áreas.

Este tipo de dispositivo se muestra en la figura (44)



3. Mangueras.

Para la aplicación se distinguen 2 tipos de manguera, las de aire y las de fluido. Las primeras están constituidas en forma tal que resisten el manejo rudo y la presión; en las de fluido se utilizan forros internos resistentes a los solventes de los recubrimientos.

En el mercado se cuenta con mangueras de 1/4, 3/8, 5/6, y 1/2 de pulgada de diámetro interno para el fluido siendo las intermedias las más utilizadas. Para el aire generalmente se utiliza la de 5/16 de pulgada de diámetro interno, aún cuando puede utilizarse la de 1/4 de pulgada siempre que la manguera no tenga más de 12 pies de largo.

En la selección del largo y diámetro de la manguera deberá tomarse en cuenta que la caída de presión es del orden de 0.8 lbs/pulgada² por cada pie de largo en la manguera de 1/4 de pulgada y del orden de 0.3 lbs/pulgada² por pie de longitud en mangueras de 5/16 de pulgada de diámetro, para presiones bajas en el suministro de aire del orden de 40 libras/pulgada². Las caídas de presión para las mismas mangueras a altas presiones, del orden de 90 libras/pulgada², son de respectivamente 1.5 y 0.6 lbs/pulgada² por cada pie de largo de la manguera.

Por lo tanto, conociendo la presión a la salida del regulador del compresor, la presión requerida en la pistola de aspersión y los datos de caída de presión en la manguera de aire de suministro, es posible seleccionar en cada caso, el diámetro de la misma.



Figura (45)

4. Reguladores de presión de aire y filtros de aire.

Generalmente el regulador y el filtro de aire vienen acoplados en un mismo dispositivo que normalmente se denomina TRANSFORMADOR. El conjunto tiene por objeto eliminar el aceite, suciedad y humedad de aire comprimido mediante un proceso de filtración y la de regular la presión proporcionando el aire en la cantidad y condiciones adecuadas para la aplicación del recubrimiento. Estos dispositivos están complementados con manómetros para un control adecuado de la presión.

5. Compresores de aire.

Para que una aplicación de un recubrimiento sea realizada adecuadamente, el suministro de aire es esencial y constituye uno de los puntos de mayor importancia en el sistema de aplicación de recubrimientos por aspersión con aire. Los compresores son las máquinas que suministran aire comprimido en la cantidad y presión necesarios para la aplicación por aspersión. Estos compresores pueden estar provistos de reguladores para ajustar la presión del aire a la presión adecuada de aplicación de un recubrimiento y pueden estar accionados por un motor de combustión interna o uno eléctrico. En el mercado se encuentran disponibles compresores de diversos tamaños para diferentes presiones y gastos de suministro:

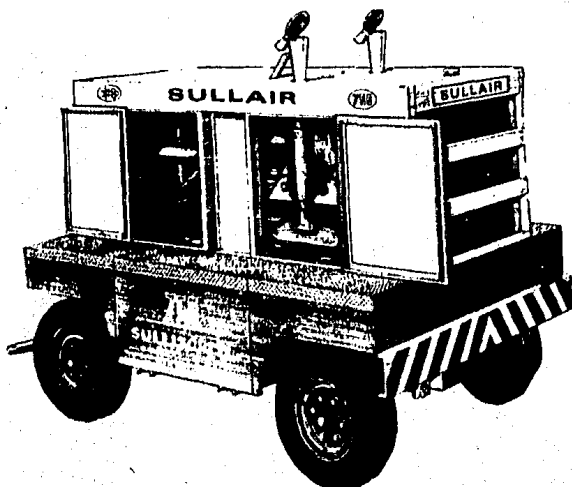
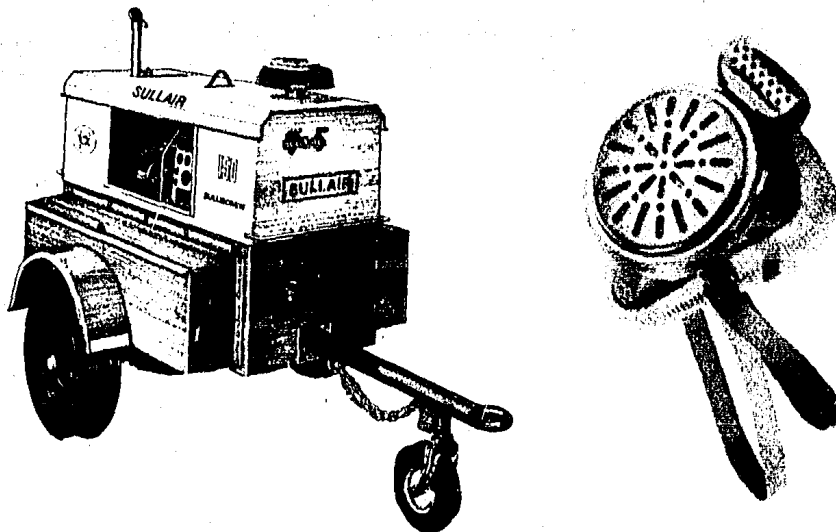


Figura (46)



Desde compresores portátiles que tienen capacidades - de 2.2 pies³/min.² a 25 lbs/pulgada² hasta 5 pies³/min. a 125 lbs/pulgada² y compresores estacionarios de 4 - hasta 120 pies³ min. a presiones de operación de 80 a 175 lbs/pulgada². Estos últimos se prefieren para la operación simultánea de varias pistolas de operación - y servicio de aire en general en un área de trabajo - localizado.

6. Equipo de seguridad.

Como todas las operaciones la aplicación de recubri-- mientos por aspersión con aire involucra una serie de riesgos los cuales hasta donde sea posible deben ser evitados con el uso de los equipos de seguridad apropiados. Se considera un aspecto importante durante - la aplicación de un recubrimiento la protección del - aplicador contra las emanaciones de vapor, polvo y as - persión del recubrimiento. Considerando su toxicidad es por demás indispensable el uso de mascarillas, res - piradores de capucha y lentes de seguridad e incluso - guantes cuando sea necesario. Cuando las operaciones sean realizadas en espacios cerrados un sistema de -- ventilación adecuado será indispensable.

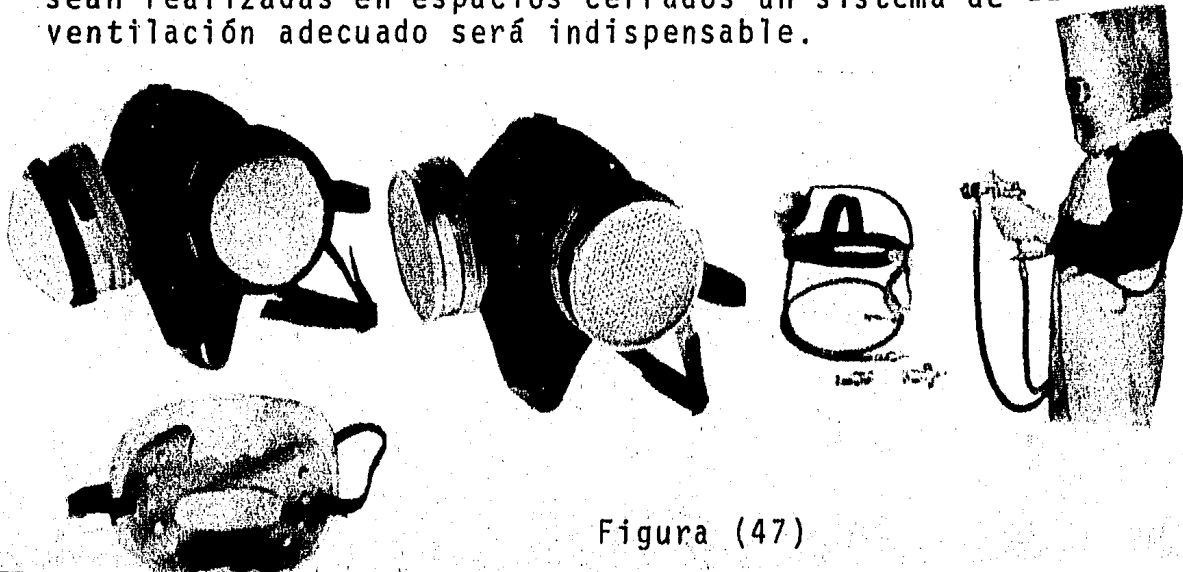
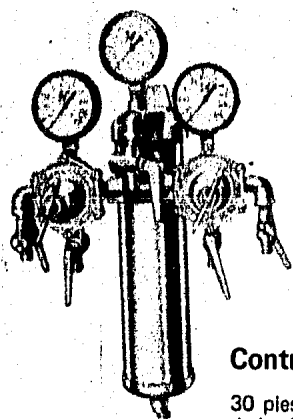


Figura (47)



Control HHA

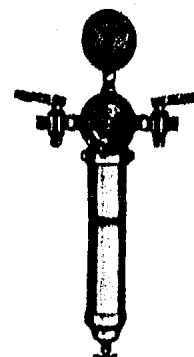
30 pies³ / min. de capacidad. Limpia, regula y acelta el suministro de aire para todos los tipos de equipo neumático. Colador de tipo permanente; regulador sensitivo; completamente ajustable para la proporción de aceite.



Transformadores de Aire

Modelo HB

15 pies³ / min. de capacidad. Combinación de filtro de aire y regulador de presión con capacidad limitada. Regula y mantiene la presión uniforme y precisa para la pistola para pulverización de calidad fina. Filtro desechable de algodón fácilmente reemplazable. Válvula de drenaje. Dos válvulas de salida del aire.



Diversos tipos de transformadores de uso común.

Separadores de Aceite y Humedad

Filtro de aire de alta eficiencia que proveen aire libre de suciedad, agua y aceite para herramientas neumáticas, controles neumáticos, cilindros neumáticos y también pistolas donde existan otros medios de control de la presión. Construidos con materiales resistentes.



Manómetros GA para Aire

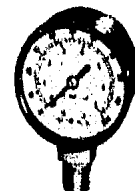
Manómetros estándar para lectura precisa de la presión. Pueden ser usados en cualquier sitio y en donde existan condiciones de vibración o trabajo severo. Carátula con cristal, cajas pintadas a prueba de polvo; resistentes al óxido.

GA-100
(100 lbs/pulg.²)

GA-288
(160 lbs./pulg.²)

GA-211
(200 lbs/pulg.²)

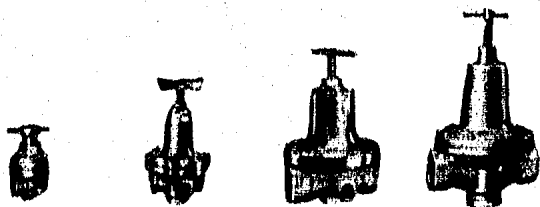
Todos los modelos: tamaño - 2 pulg; salida 1/4" NPT (M).



Filtro

Manómetro

Reguladores de aire



RECOMENDACIONES PARA LA APLICACION POR ASPERSION CON-AIRE'

Dado el número de variables que es necesario manejar durante la aplicación de un recubrimiento por aspersión con aire como son la presión del aire de atomización, la presión y gasto del fluido, la consistencia o viscosidad del mismo, la rapidez en el movimiento de la pistola, la distancia de la pistola a la superficie, etc., la obtención de espesores uniformes correctamente aplicados dependerá fundamentalmente de la experiencia práctica, no obstante se mencionan a continuación algunos factores importantes que pueden ayudar a reducir el tiempo requerido en la obtención de esta experiencia.

Una vez que se tiene listo el equipo de aspersión limpio y adecuadamente seleccionado, se vacía el recubrimiento ya homogenizado y acondicionado en los vasos o recipientes del material. Dependiendo del equipo de aplicación seleccionado a continuación se mencionan algunas operaciones y ajustes recomendables.

APLICACION CON EQUIPO DE ALIMENTACION POR SUCCION.

El aire de suministro debe ajustarse a la presión de atomización adecuada. Para el caso de la mayoría de los recubrimientos usados para protección anticorrosiva la presión es del orden de 40 - 50 lbs/in².

Se giran los tornillos de regulación de aire y fluido en la pistola hasta la posición de abierto, inmediatamente después se hace un ensayo del patrón de rociado que se obtiene, el cual deberá coincidir aproximadamente con el de la siguiente figura: (Fig.48)

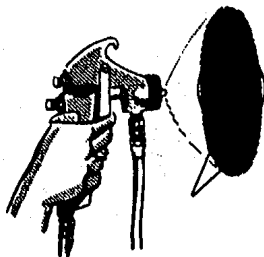


Figura 48.

Cualesquier desviación con respecto a este patrón obedece a una mala limpieza del equipo, a una inadecuada selección del conjunto BOQUILLA-TOBERA-AGUJA o bien a que la relación cantidad de aire/cantidad de fluido está -- descompensada en cuyo caso deberán girarse los tornillos de regulación correspondientes, dependiendo de si falta o sobra material al comparar el patrón de rociado del ensayo con el patrón estandar.

Se recubre una área pequeña con un movimiento uniforme de la pistola. Nuevamente la falta o exceso de material deberán corregirse a través de los tornillos de regulación. Una atomización demasiado fina o tenue requiere de menor presión de atomización o de mayor cantidad de material, una atomización demasiado gruesa requiere de mayor presión en el aire de atomización o -- bien de una reducción en la cantidad de material.

APLICACION CON EQUIPO DE ALIMENTACION A PRESION.

Una vez colocado el material en el tanque o recipiente y habiendo cerrado éste, se abren las válvulas de suministro de aire, con excepción de la que permite el acceso de aire a la pistola; regulando la presión en el tanque a unas 15 lbs/in².

Se abre el tornillo regulador de fluido en la pistola -- ajustando el gasto de recubrimiento a los indicados para cada tipo de ancho de abanico o conjunto boquilla-tobera-aguja seleccionado (consultar tablas de capacidad para boquilla y tobera). En esta operación es de utilidad un recipiente graduado y un cronómetro.

Abrir la válvula de aire para la pistola y el tornillo regulador correspondiente. Posteriormente calibrar la pistola a través de los tornillos reguladores de fluido y de aire hasta obtener el patrón normal y velocidad de aspersión adecuados. Todas las desviaciones o defectos deberán controlarse en la misma forma como se indicó en la parte correspondiente de la aplicación con equipo de alimentación por succión.

Independientemente del tipo de equipo de aplicación usado las siguientes recomendaciones sobre el procedimiento de aspersión son de gran utilidad y en un momento dado pueden resultar definitivas para el buen éxito de -- las operaciones:

1. La pistola de aspersión deberá sujetarse en tal forma que siempre permanezca perpendicular y a unos --

- 15 - 20 cms. de la superficie, procurando que el movimiento de la pistola sea paralelo a la misma; el gatillo deberá accionarse inmediatamente después del inicio del movimiento y soltarse un poco antes de su terminación.
2. La obtención de un espesor uniforme requiere de un -- traslape del 50% del abanico con respecto a la superficie recubierta que le precede.
 3. Cualquier arqueamiento de la pistola con respecto a -- la trayectoria paralela recomendada tenderá a produ-- cir espesores gruesos en la zona de mayor alejamiento por otra parte una inclinación de la pistola con respecto a la superficie tiende a producir desperdicios -- de material el cual para un ángulo de 45° es del or-- den del 60%.
 4. Si la presión de aire durante la aplicación es dema-- siado alta la pintura formará neblina ocasionando un -- desperdicio considerable de material.
 5. La pintura debe ser depositada húmeda sobre la super-- ficie. Ha sido demostrado que una de las grandes -- fuentes de problemas en la aplicación de recubrimien-- tos por aspersión se debe a la mala práctica de mante-- ner la pistola demasiado lejos, lo que ocasiona una -- aplicación sobre la superficie seca y sin adherencia. La distancia correcta entre la pistola y la superfi-- cie es de 15 a 20 cms.
 6. La limpieza y ajuste incorrecto del equipo dan como -- resultado modelos variables en el rociamiento. Es re -- comendable que al final de cada día o cuando sea com-- pletado un trabajo el equipo sea perfectamente limpia -- do, (si es necesario conviene desarmar la pistola).
 7. Nunca deben usarse soluciones ácidas o cáusticas so-- bre cualquier parte de la pistola, o sumergirla com-- pletamente en un solvente para pinturas. Los cáusti-- cos corroen el aluminio de algunas partes de la pisto -- la y los solventes fuertes secan el empaque al remo-- ver los lubricantes necesarios. En la figura (49)-

se ilustra la forma más adecuada de limpieza de una -
pistola de aplicación por aspersión.

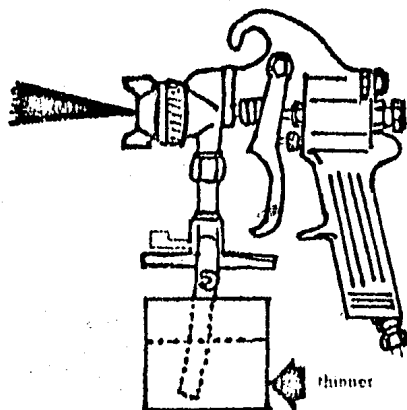
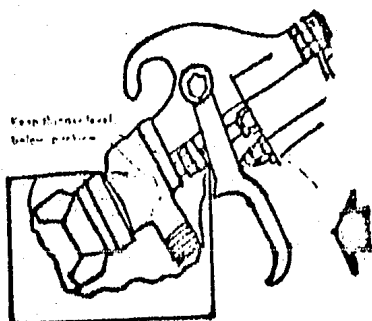
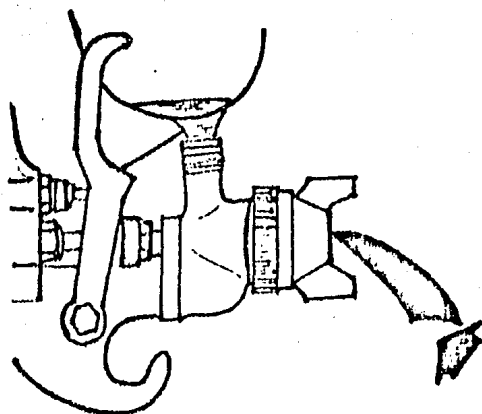


Figura (49)



MEASURING DISTANCE
TO HOLD GUN

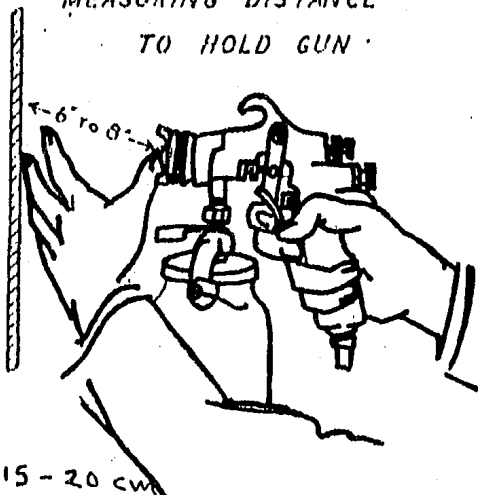
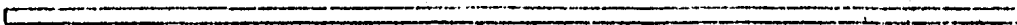


Figura (50).

15-20 cm

DISTANCIA ENTRE LA SUPERFICIE Y LA



6 TO
8 INCHES

ARCING CAUSES
UNEVEN APPLICATION

DO NOT
ARC STROKE

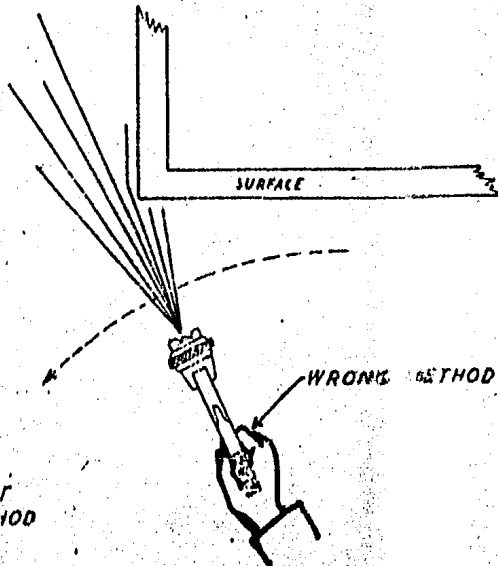
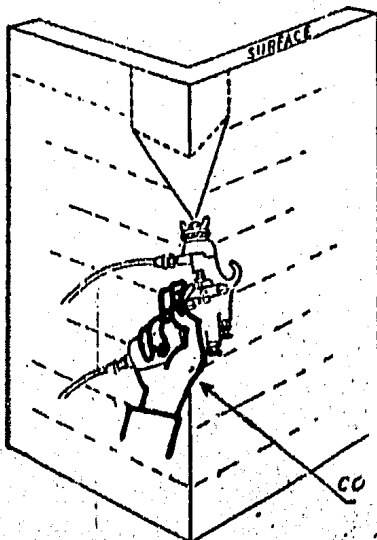
-2-
MOVE GUN IN
STRAIGHT LINE

-1-
BEGIN STROKE
THEN PULL
TRIGGER

-3-
RELEASE TRIGGER
BEFORE COMPLETING
STROKE

SHOWING PROPER METHOD OF MAKING SPRAY GUN STROKE

SPRAY PAINTING CORNERS



HOLD SPRAY GUN
PERPENDICULAR
TO SURFACE

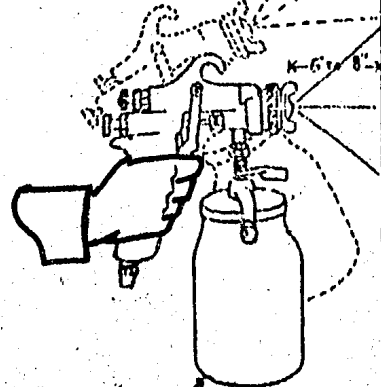


FIGURE 7. Fundamentals of good spraying technique. (Courtesy of the DeVilbiss Co.)

En resumen, a pesar de requerir mayor cantidad de equipo y un mayor control y experiencia, la aplicación de recubrimientos para protección anticorrosiva por aspersión representa el método más rápido y eficiente y por lo tanto el más utilizado. Es necesario aclarar que las consideraciones y características vertidas en la descripción de estos métodos no son totales o definitivos, por lo que en cualquier caso es recomendable recurrir a la asesoría e información técnica de los fabricantes o distribuidores de equipos de aplicación.

B) APLICACION POR ASPERSION SIN AIRE..
(Equipo de aplicación airless)

El método de aplicación por atomización sin aire se originó como consecuencia de la necesidad de depositar sobre las superficies a recubrir espesores de película lo suficientemente gruesos mediante una sola pasada o mano de recubrimiento. Además, en el nuevo método de aplicación sobresale la característica de la limpieza con que se llevan a cabo las operaciones de aplicación gracias al mínimo de rocío o rebote que se origina, lo que ocasiona un mínimo de pérdidas por desperdicio de material. Este tipo de aplicación gracias a su característica de limpieza se recomienda para acabados de interiores o espacios cerrados, por ejemplo, interiores de tanques de almacenamiento, camiones, carros de ferrocarril, artículos de línea blanca, etc.

En el proceso de rociamiento con aire comprimido, algo del material del recubrimiento es llevado a cierta distancia dentro de la atmósfera por medio de aire, el cual golpea el objeto que está siendo recubierto; esto contribuye al sobre-rociamiento y consecuentemente a la pérdida de material de recubrimiento. El método de rociamiento sin aire no requiere aire comprimido para la atomización (se elimina el aire como elemento de presión) pero utiliza en cambio las fuerzas producidas al forzar el material a presión a través de un orificio muy fino (se emplea una alta presión sobre la pintura o una combinación de calor y presión sobre la misma).

VENTAJAS DEL EQUIPO DE APLICACION SIN AIRE.

El equipo sin aire ofrece un medio muy rápido de cubrir superficies grandes con un mínimo de exceso de rocío o rebote lo que significa un trabajo limpio y con menos pérdidas.

La atomización del fluido ocurre sin el uso de chorros de aire, (de donde origina el nombre de rociamiento sin aire) lo cual le dá la ventaja de reducir el desperdicio de pintura y simplificar el sistema de extracción de gases y renovación de aire en la caseta de aplicación si se toma en cuenta que en

los sistemas convencionales una parte de pintura es atomizada con 99 partes de aire.

El rocío o atomización producido tiene un patrón húmedo completo para la formación rápida de la película y mayor penetración de la superficie, por tanto, el trabajo se cubre más rápidamente.

Otra ventaja muy importante y digna de tomarse en consideración es la sencillez del equipo de aplicación el cual consiste únicamente de una bomba operada ya sea por aire o eléctrico/hidráulica, la cual pasa el fluido a la pistola por medio de una sola manguera, la cual siendo única y de diámetro pequeño, facilita la manipulación de la pistola y provee maniobrabilidad y una operación descansada.

OPERACION DEL EQUIPO.

"El rocío o atomización en el sistema sin aire es formado al forzar la pintura o fluido por un orificio muy pequeño en el casquillo rociador de la pistola a presiones extremadamente altas".

Como ya se anotó anteriormente una bomba, una pistola, una manguera que une a los dos anteriores y algunos accesorios son los únicos componentes del equipo de aplicación por aspersión sin aire. Sin embargo, en algunas ocasiones es necesario incluir otro componente el cual facilitará las operaciones de aplicación. Este componente es un calentador de recirculación el cual es muy importante sobre todo en la aplicación de recubrimientos de muy alta viscosidad. Con la inclusión de este componente el equipo completo para llevar a cabo una operación de aplicación de recubrimientos por aspersión sin aire queda integrado como sigue: Una bomba de desplazamiento positivo, un calentador de recirculación, una pistola para rociamiento (con su respectivo juego de boquillas), una manguera y los accesorios necesarios para el control de la temperatura y la presión.

Una vez que el recubrimiento a ser aplicado entra dentro del sistema, es recirculado dentro del mismo continuamente aún cuando no esté siendo rociado.

Bombas Standard QFA

Figura (51)

CARACTERISTICAS DE LAS BOMBAS

Válvula de Aire—corredera de la válvula de tipo ~~ca~~ vaivén y palancas acodadas con resorte proveen el funcionamiento controlado de doble acción del motor de aire para servicio continuo y prolongado.

Pistón de Aire—el pistón de caucho de acción suave, produce eficiencia máxima del aire de admisión.

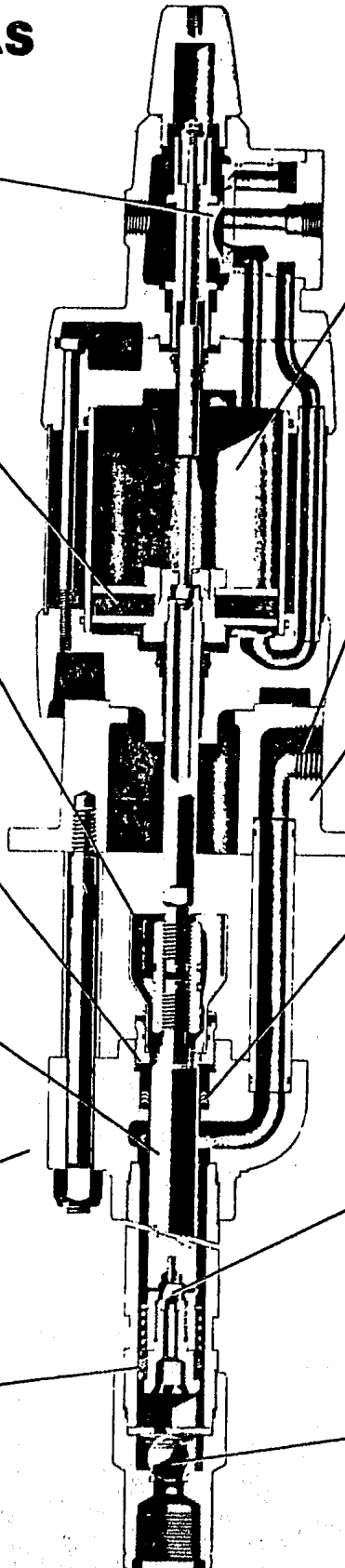
Taza para Disolventes—de Delrin moldeado—standard en todos los modelos. Al llenarla regularmente con solución disolvente, mantiene el vástago del pistón libre de depósitos de materiales y lubrica las empaquetaduras.

Ajuste de la Empaquetadura—la tuerca ajustable de empaquetadura es accesible por fuera de la bomba para el ajuste fácil de la presión de las empaquetaduras.

Vástago del Pistón—de acero inoxidable endurecido—mantiene lisa su superficie y protege las empaquetaduras superiores contra el desgaste.

Bomba de Entrega—Completamente separada del motor de aire—entrega tanto en la carrera de subida como de bajada. Todas las piezas de acero son enchapadas para mayor resistencia a la corrosión y el desgaste.

Empaquetaduras Inferiores—con resortes para mantener hermeticidad efectiva y garantizar la eficiencia duradera de la bomba. Las empaquetaduras son del mismo material que las superiores.



Cilindro del Aire—de aluminio fuerte, liviano con superficie interior especial endurecida resistente a la abrasión para servicio máximo.

Conductos del Fluido—de gran diámetro para el flujo pleno sin restricción de los materiales.

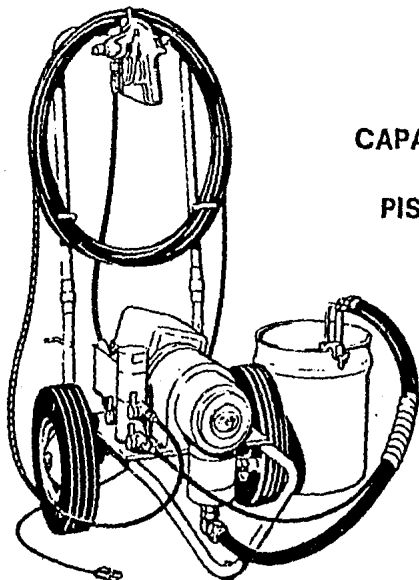
Caja de la Bomba—de aluminio fundido para que sea rígida y liviana.

Empaquetaduras Superiores—de combinación de cuero y teflón, del tipo de chevrón. Las empaquetaduras de cuero están impregnadas con "thiokol" para protección contra el deterioro del disolvente—el forro de teflón previene la expansión o deshilachado. Las hay disponibles a opción de Teflón y Buna "N", véase la página 15.

Válvula de Cierre—con esfera de acero cromado y asiento de la válvula de carburo de tungsteno rectificadas a precisión para acción positiva de la válvula y vida prolongada.

Válvula del Pie—con esfera de acero cromado con resorte y con asiento de la bola de carburo de tungsteno en todos los modelos.

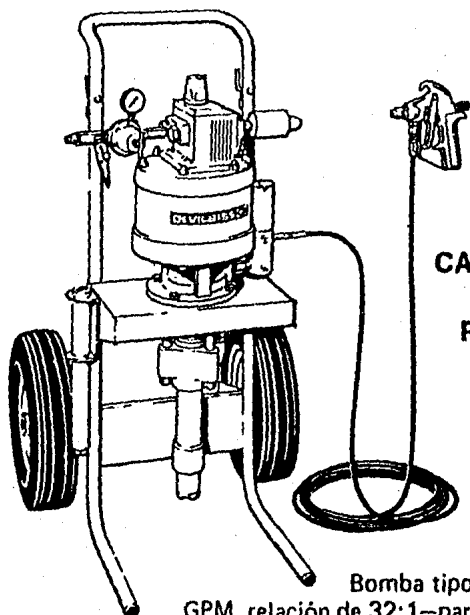
equipos eléctrico/hidráulicos



CAPACIDAD
1 y 2
PISTOLAS

Figura (52)

Tipo QFE para 96 onzas por minuto (capacidad para dos pistolas) y tipo QBE de 40 onzas por minuto (capacidad para una pistola)—equipos rociadores pequeños, compactos completamente portátiles, integrales—no precisan compresor—para todas las operaciones sin aire que utilicen materiales comunes de rociamiento.



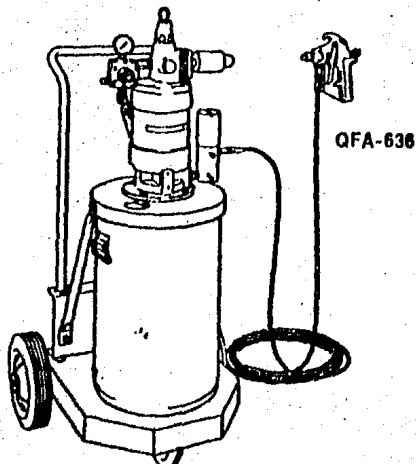
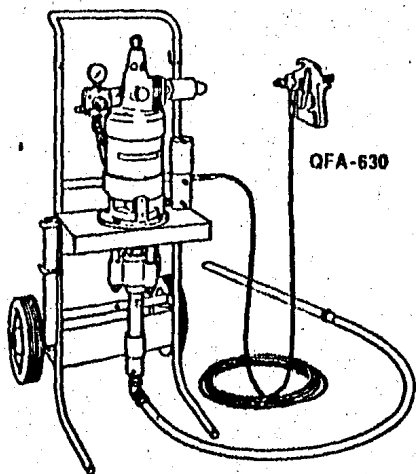
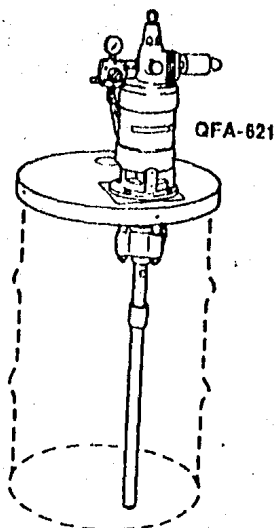
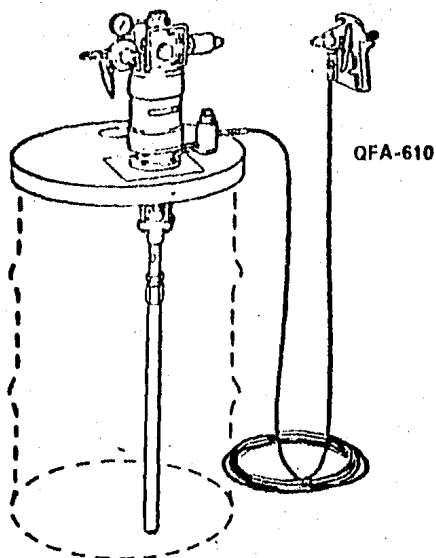
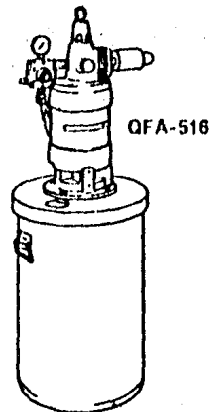
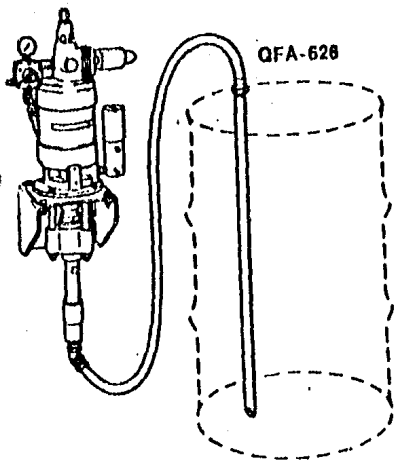
CAPACIDAD
3 A 4
PISTOLAS

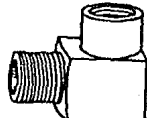
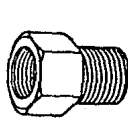
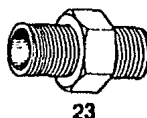
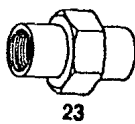
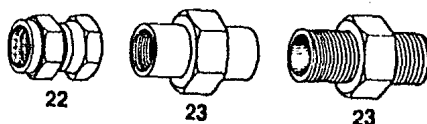
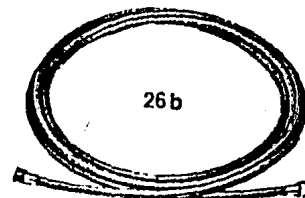
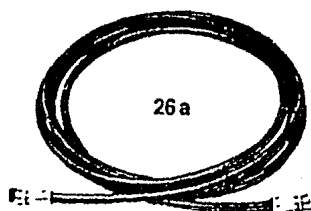
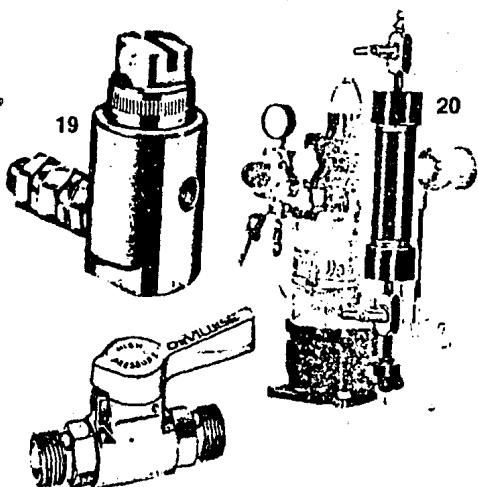
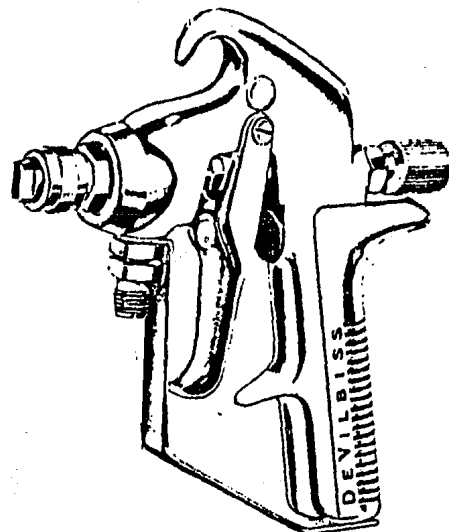
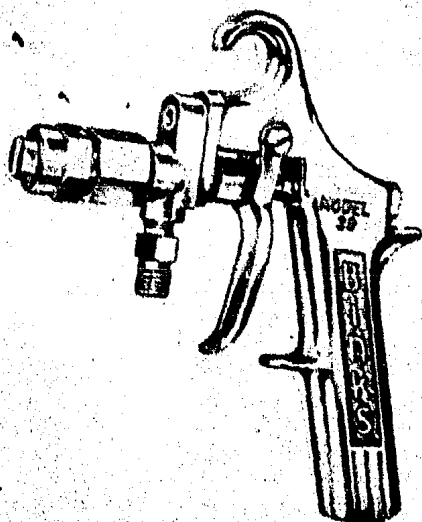
Bomba tipo QFA de 3 GPM, relación de 32:1—para todos los tipos de aplicaciones de alto volumen con una amplia variedad de materiales sin aire—de capacidad para 3 a 4 pistolas—unidades portátiles o estacionarias. Hay disponibles bombas con relación de 48:1 y 64:1 y descarga de 2 y 1-1/2 GPM para uso con materiales muy viscosos que sean difíciles de atomizar.

IMPORTANTE—El equipo rociador sin aire produce presiones muy elevadas del fluido, frecuentemente de 3000 libras por pulg.² o más. El fluido a esta presión pudiera infligir lesiones graves. Por esta razón, al usar este equipo, deben observarse ciertas precauciones de seguridad. Antes de operar este equipo siempre lee las instrucciones que se suministran con el mismo.

Cuando la pistola es accionada, esto es cuando el recubrimiento (pintura) se empieza a rociar, la bomba automáticamente incrementa su velocidad manteniendo así una presión constante en el sistema. La pintura es calentada para reducir su consistencia y facilitar su atomización. En el sistema hidráulico en caliente la pintura es mantenida a una temperatura de 40 - 50°C sujetándose a presiones hasta de 42 Kg/cm².

La atomización de la pintura es producida por una combinación de presión y calor. La alta presión fuerza a la pintura líquida a través de la boquilla de la pistola a una velocidad mayor que la velocidad crítica del líquido, por tanto, rompe en pequeñas gotitas. Generalmente, la velocidad no es lo suficientemente grande con líquidos viscosos para producir las finas gotitas requeridas para recubrimientos tersos. El calor ayuda en este aspecto en dos formas: - Baja la consistencia del recubrimiento e incrementa la presión de vapor del solvente. En este tipo de equipos no se requieren temperaturas elevadas ya que la atomización es obtenida por una combinación de alta presión de fluido y tamaño pequeño del orificio de salida de la boquilla (efecto de extrusión). Las altas presiones son desarrolladas por los tipos especiales de bombas que son usadas, las cuales pueden producir presiones de fluido hasta 20 veces mayores que las presiones de aire disponibles. Por ejemplo, una bomba operada con aire requiere un suministro de aire a 80 psi, la bomba desarrollará presiones de fluido de 1,600 psi para atomización de la pintura en la boquilla de rociamiento. Este tipo de bombas empleadas en las operaciones de aplicación de recubrimientos por aspersión sin aire pueden clasificarse de acuerdo a las gamas de presión que manejan, las que comúnmente se conocen como RELACIONES. Figura (52).)





Otra ventaja de éste tipo de equipo para la aplicación de recubrimientos es su facilidad de limpieza. Una vez terminadas las operaciones de aplicación el sistema puede ser limpiado fácilmente removiendo la varilla del sifón del recipiente suministrador de pintura y colocándola en un recipiente con solvente. El solvente desplazará a la pintura en el sistema - la cual podrá ser removida por la válvula de descarga.

C) APLICACION POR ASPERSION ELECTROSTATICA.

En los últimos años el uso de los métodos de aplicación por el sistema electrostático ha ido en aumento particularmente en los casos de producción en serie-- debido en primer lugar al ahorro considerable de pintura comparado con los métodos comunes de aplicación por aspersión en los cuales se puede decir que cada tres partículas de pintura atomizada dos van hacia el objeto de pintar y otra se pierde. El sistema -- electrostático consiste básicamente en atraer eléctricamente las pequeñas partículas de pintura tal como los imanes atraen a las partículas de fierro, lo cual se logra mediante la creación de un campo electrostático de alto voltaje entre el atomizador y las piezas que van a ser pintadas.

Otras de las ventajas de este método de aplicación, -- son la reducción del costo de mano de obra y la facilidad de aplicación sobre objetos con superficie dis-- continua, tales como rejillas, en las cuales la aplicación por pistola de aire común arrojaría fácilmente pérdidas hasta de un 80%, mientras que con este -- método se reducen a un 10% máximo.

Hace algunos años la Ransburg Electro-Coating Corporation desarrolló un método electrostático para aplicación de recubrimientos por aspersión (método Ransburg # 2) en el cual más del 99% del material espreado o atomizado es depositado sobre el objeto que está siendo recubierto. Este procedimiento elimina casi totalmente el sobre-espreado ahorrando así una -- cantidad considerable de pintura. Casi cualquier objeto metálico y muchos no metálicos pueden ser recubiertos con la mayoría de los tipos de materiales para recubrimiento empleando este sistema de aplicación. En el proceso Ransburg # 2 una cantidad controlada de pintura es alimentada al centro de un disco giratorio (rotor) el cual se encuentra cargado a un potencial DE de 90,000 volt aproximadamente. La pintura es arrastrada a los bordes de la pieza rotatoria por la fuerza centrífuga y es atomizada por -- una combinación de ésta y las fuerzas electrostáticas. Las pequeñas partículas, cargadas electrostáticamente son atraídas hacia los objetos por pintar, -- los cuales son transportados frente al rotor por una

cadena continua conectada a tierra.

Existen muchos factores que afectan el comportamiento de la pintura en condiciones tan complejas y entre ellos tenemos:

La alimentación de material al rotor.

A mayor volumen de alimentación, mayor tamaño de las partículas, por lo cual es necesario controlar cuidadosamente este factor si se desea tener una atomización adecuada y si en estas condiciones el espesor de la película resulta deficiente a la velocidad de producción normal, será necesario aumentar la cantidad de discos.

Viscosidad de aplicación.

Reduciendo la viscosidad se mejora la atomización, con las limitaciones de opacidad y grosor de la película aplicada.

La velocidad de rotación del disco.

La atomización es influenciada por la velocidad de rotación del disco, pero generalmente ésta es fija para cada equipo y no es posible efectuar ningún cambio.

La magnitud de potencial.

Al aumentar el potencial se mejora la atomización y se reduce la incidencia de partículas no atomizadas lo cual ocurre cuando gotas muy grandes de material caen sobre la pieza cuando ya se encuentra prácticamente fuera de la zona de pintura.

La composición del disolvente.

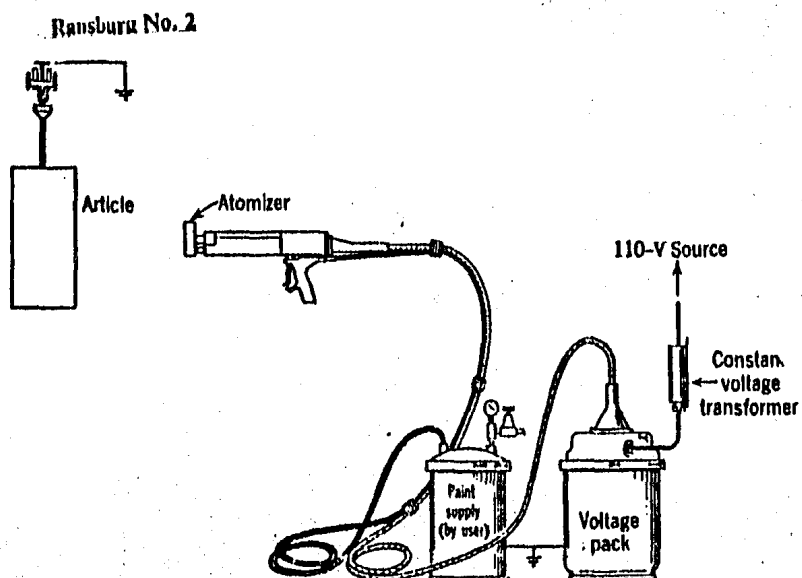
Debido a las pérdidas tan grandes de disolvente entre el rotor y la pieza por pintar es necesario aumentar la proporción de disolventes de evaporación lenta con el fin de mejorar la nivelación del material.

La resistividad de la pintura.

La resistividad definida como la recíproca de la conductividad influye decididamente en las propiedades de aplicación del material y depende en gran parte de la composición de los disolventes usados en la formulación, ya que por ejemplo, los alcoholes y cetonas causan una caída de la resistividad, mientras que los hidrocarburos aromáticos tienen poca influencia sobre la misma e inclusive la pueden aumentar ligeramente., etc.

Como todas las operaciones de aplicación el método de aspersión electrostática tiene también ciertas limitaciones que deben ser tenidas en mente y entre las cuales podemos mencionar las siguientes: El flujo máximo que puede dar una pistola electrostática oscila entre 80-100 ml por minuto mientras que el flujo de una pistola común es de 400 ml, pero si se tienen en cuenta que las pérdidas en este último método son de 40-50% y que además las pinturas en el sistema electrostático pueden ser aplicadas a un contenido de sólidos mayor, la diferencia llega a ser despreciable. Este método tiene también el inconveniente de que las piezas a recubrir deben ser diseñadas especialmente sobre todo en lo que se refiere a bordes y depresiones muy pronunciados ya que en esas áreas se deposita un espesor mayor de película debido a una concentración de la carga.

Con todas sus inconveniencias el método de aplicación por aspersión electrostática continua siendo bastante atractivo gracias al ahorro de material de recubrimiento que proporciona. Los records de producción que se han obtenido indican que de un 50-100% más piezas pueden ser recubiertas por galón de material empleando este tipo de sistema de aplicación en lugar del sistema de recubrimiento por rociamiento con aire comprimido. Además, este método de aplicación tiene la ventaja de eliminar casi totalmente el sobre-espreado de material y consecuentemente la instalación de costosos equipos de extracción ya que únicamente suficiente extracción debe ser provista para remover los vapores de solventes. Fig. (53).)



Dispositivo para aplicación electrostática por el -
método Ransburg # 2.

D) APLICACION POR ASPERSION EN CALIENTE.

El proceso de aplicación por aspersión en caliente es usado actualmente para una gran variedad de materiales de recubrimiento (pinturas).

En el sistema convencional de aplicación por aspersión en frío, la gran mayoría de las pinturas deben ser reducidas de su viscosidad original a una viscosidad de aplicación, adicionando cantidades variables de adelgazadores. En el sistema de aplicación en caliente la viscosidad es abatida incrementando la temperatura de aplicación, con lo cual se evita la adición de adelgazadores. Este procedimiento resulta particularmente útil para la aplicación de pinturas que requieren ser adelgazadas con solventes relativamente caros, ya que calentando el material se reduce su consistencia evitando así el uso de adelgazadores.

Las ventajas que se obtienen de este método son las siguientes:

1. Reducción del peligro de incendio.
2. Economía de adelgazadores
3. Aplicación de películas más gruesas con menor número de manos.
4. Reducción de la cantidad de aire comprimido usado para la atomización.
5. La aplicación en caliente mejora las propiedades de fluidez y nivelación (sobre todo en el caso de las lacas), con lo cual se llegan a eliminar operaciones posteriores, reduciéndose en esta forma los costos de aplicación.

En la aplicación por aspersión en caliente es necesario el uso de un equipo especializado, el cual --

consiste básicamente en un cambiador de calor que tiene como objeto elevar la temperatura de la pintura, y una boquilla resistente al ataque de disolventes calientes. En los equipos más comunes, la pintura se hace circular por un serpentín, el cual se encuentra dentro de un tanque con agua caliente. En otros sistemas el calentamiento se hace por medio de aire comprimido caliente. En ambos casos la boquilla tiene dos salidas concéntricas: la interior, por la cual es alimentada la pintura y la exterior, por la cual circulan el agua o el aire comprimido calientes, manteniendo la pintura a su temperatura de trabajo, la cual es generalmente de 60-75°C. Todas las unidades usadas para la aspersión de pinturas en caliente deben estar termostáticamente controladas para evitar sobre-calentamientos y posibles riesgos de explosión.

En conclusión, podemos decir que las ventajas de este método de aplicación son dos: Economía de adelgazadores, lo cual es muy importante sobre todo si se trata de adelgazadores relativamente caros y facilidad de aplicación que se refiere al hecho de poder aplicar todo tipo de recubrimientos a espesores adecuados en el menor número de manos posible. El hecho de no usar adelgazadores para acondicionar las pinturas a ser aplicadas da como resultado una característica muy de tomarse en cuenta para evitar problemas de contaminación ambiental.

E) APLICACION POR ASPERSION DE DOBLE ALIMENTACION.
(Rociado simultáneo de dos componentes).

Debido a la aparición en el mercado de pinturas de dos componentes tales como los esmaltes de poliuretano, los acabados de tipo epóxico catalizado, etc., en los cuales la transformación de la resina para la formación de la película no se efectúa por medio de los procesos comunes de evaporación de solventes, oxidación o polimerización por horneado a temperaturas más o menos elevadas, sino por la adición de un catalizador o activador el cual actúa sobre la resina produciendo películas infusibles y resistentes a los agentes exteriores. Generalmente, las mezclas de los dos componentes tienen una vida limitada, que va desde unos cuantos minutos hasta varias horas debido a que en el momento de mezclar los dos componentes se inicia una reacción que conduce a un incremento progresivo de la viscosidad hasta la solidificación total de la masa y por lo tanto, en la gran mayoría de los casos no pueden ser aplicadas con brocha o con un equipo ordinario de aspersion.

Con objeto de hacer posible la aplicación de estos materiales tan reactivos se ha desarrollado un nuevo tipo de aspersor en el cual los dos componentes son alimentados a la pistola por separado y son mezclados en el momento preciso de la atomización. Esto es, un mecanismo para mezclar y aplicar automáticamente los dos componentes simultáneamente. Uno de estos desarrollos está mostrado diagramáticamente en la figura (54). La pistola de rociamiento A está diseñada para mezclar los dos componentes en el patrón de rociamiento después de que ellos han salido de la pistola y antes de que alcancen la superficie que está siendo recubierta. Un componente, usualmente la base del material de recubrimiento entra en la pistola cerca de la boquilla y es expelido a través del casquillo de fluido en la manera convencional. El otro componente, el catalizador es admitido dentro de la corriente de aire de atomización a través de un medidor de venturi F a un lado de la cabeza de pistola. El catalizador y el aire llegan a estar completamente mezclados y salen de la pistola por medio de los chorros de aire centrales que atomizan la corrien

te de la base del material de recubrimiento.

La relación de catalizador a base es mantenida - uniforme por los reguladores múltiple B y C y un medidor de flujo F. Siendo que la relación de - flujo del catalizador es bastante crítica, es -- controlado por los dos reguladores de presión B y C los cuales eliminan las variaciones causadas por fluctuación en la presión de la línea de aire principal. Después que el medidor de flujo F ha sido montado, las posibles variaciones en flujo pueden ser observadas rápidamente. El purificador de aire y el equipo de regulación D es estandar y está conectado de tal manera que el aire de atomización recibe doble regulación a través de los controles B y E. Los tanques de alimentación por presión para la base y el catalizador están indicados por las letras G y H respectivamente. El sistema opera en mucho en la misma forma que el equipo de rociamiento estandar - después que la presión original y los ajustes de flujo han sido hechos.

Un equipo de rociamiento de dos componentes sin aire (tipo Airless) ha sido desarrollado. El -- equipo consiste esencialmente en dos bombas de - precisión las cuales se encuentran acopladas por medio de engranes. Una de las bombas envía el - material base al tubo alimentador de la pistola mientras que la otra envía la cantidad correcta de catalizador a un alimentador subsidiario, con el fin de que ambos se unan al salir de la boquilla y sean atomizados por la presión que ha sido desarrollada.

La velocidad de flujo es regulada por el gatillo de la pistola y la proporción de los materiales permanece constante debido a que los engranes giran siempre a las mismas velocidades relativas. - La proporción de catalizador puede ser fácilmente ajustada por medio de los engranes y la relación de un material a otro se mantiene constante con una aproximación de 1%.

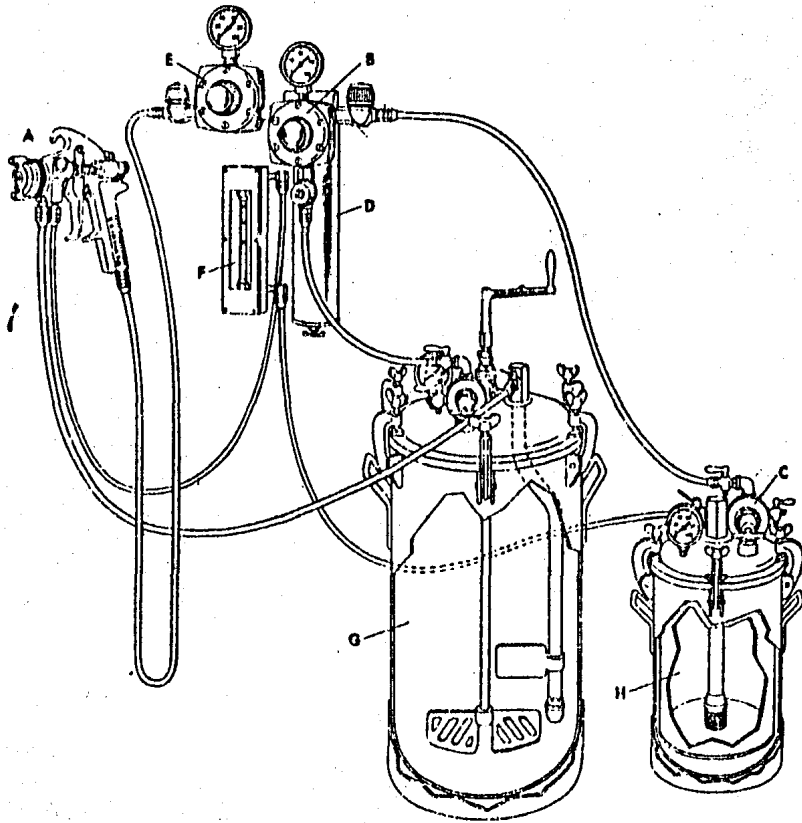


Figura (54). Equipo de rociamiento simultáneo de dos componentes.

Existe otro tipo de equipo de doble alimentación, en el cual el catalizador es alimentado por gravedad y la resina o base por presión. La unidad consiste en un cilindro de aire, un cilindro del catalizador y un cilindro de la resina; los pistones de los tres cilindros están conectados a una barra común, de tal modo que se muevan al unísono. La velocidad del pistón del catalizador puede ser regulada con el fin de ajustar la proporción de catalizador a resina o base.

En el equipo de aplicación sin aire se logra eliminar el sobre-espreado lo que constituye un ahorro de materiales de recubrimiento y un medio de control de la contaminación ambiental.

V.3.4. APLICACION DE RECUBRIMIENTOS POR INMERSION.

El método de aplicación por inmersión es uno de los más sencillos, ya que consiste esencialmente en sumergir las piezas que van a ser recubiertas en recipientes llenos del material, después de lo cual se dejan escurrir y se secan. Tiene la ventaja sobre otros métodos de que no se necesita personal experimentado para la aplicación y además las pérdidas de pintura son pequeñas debido a que el material que escurre de las piezas pintadas es recuperado casi en su totalidad retornándolo a los recipientes de inmersión. También debe ser tomado en cuenta que el costo de la mano de obra es reducido y que el trabajo manual consiste prácticamente en colgar y descolgar las piezas de la cadena que las transporta a través del sistema.

Este método es ampliamente usado para aplicaciones donde la uniformidad en el espesor de la película y apariencia no son importantes; los acabados obtenidos por este método no tienen nunca la calidad de los que se obtienen por otros sistemas, por ejemplo el de aspersión, sobre todo en lo que se refiere a la uniformidad del grosor de película, ya que generalmente hay un depósito mayor de pintura en la parte inferior de los objetos. Además en la película seca se presentan ciertas líneas debido al flujo de la pintura, las cuales en algunos casos llegan a ser bastante notorias sobre todo cuando ésta contiene diferentes pigmentos.

En el método de aplicación por inmersión hay que tomar en cuenta que las piezas para ser pintadas no deben tener ángulos demasiado agudos, ni concavidades, ni cualquier otro obstáculo que impida un buen drenado de la pintura. El tamaño del objeto tiene una gran influencia sobre la apariencia final, y en general se puede decir que este método no da buen resultado para artículos de gran tamaño debido a que la pintura tarda más tiempo en fluir dando oca-

sión a que la evaporación de los disolventes se -
acentúe con el consiguiente incremento del conte-
nido de sólidos y viscosidad.

Uno de los problemas más serios de este método lo
constituye el peligro de incendio debido al alma-
cenamiento de grandes cantidades de pintura en --
los tanques. Con objeto de controlar el fuego y
evitar al mismo tiempo pérdidas de pintura en ca-
so de incendio, es recomendado tener un tanque --
adicional subterráneo provisto de un sistema de -
extinguidores a base de CO₂ y conectado al tan-
que principal por medio de un orificio de acceso-
accionado por un mecanismo fusible al calor. - -
Cuando todo el contenido del tanque ha pasado a -
través de la abertura, ésta se cierra automática-
mente aislando al otro tanque y por consiguiente
a la pintura.

Los equipos de aplicación por inmersión pueden --
ser tan sencillos como un simple tanque y una ca-
dena donde se sostengan las piezas, la cual puede
ser accionada desde manualmente hasta los equipos
más complejos totalmente mecanizados, controlados
por sistemas eléctricos o hidráulicos y en los --
cuales las piezas se mueven automáticamente a ve-
locidades variables.

La capacidad de los tanques de inmersión puede va-
riar, de acuerdo con el tamaño de las piezas a --
ser recubiertas, pero cualquiera que sea la capa-
cidad, se procurará que la superficie tenga un --
área mínima con objeto de evitar hasta donde sea
posible la evaporación de los disolventes así co-
mo la oxidación y formación de natas en la pintu-
ra. La exposición de una gran área de superficie
de pintura al aire tiende a incrementar su consis-
tencia debido a la oxidación, lo que provoca que
la estabilidad de la pintura con el constante uso
llegue a ser un problema y eventualmente el mate-
rial total pueda tener que ser cambiado.

El interior de los tanques de inmersión debe es--
tar libre de concavidades para evitar que el pig-
mento o pequeñas partículas sólidas de las pintu-
ras se depositen en las mismas. En los tanques -
pequeños, el fondo es por lo general, ligeramente
cóncavo mientras que en los tanques grandes con-
siste de dos partes inclinadas que terminan en --

una sección central horizontal muy angosta y móvil a través de la cual la pintura puede ser vaciada a otro tanque colocado bajo el primero, ya sea en caso de incendio o para limpieza del equipo.

Generalmente los tanques están provistos de agitadores con el fin de mantener homogénea a la pintura (mezclarla) y en algunos casos se emplea un sistema de recirculación por medio de bombas las cuales succionan el material del fondo y lo pasan a la parte superior del tanque.

Fundamentos importantes de la operación.

Existe un período de tiempo óptimo entre la inmersión y el retiro de los objetos a recubrir; así mismo, la velocidad de retiro de los objetos constituye un factor muy importante la cual está determinada por la velocidad del transportador y el ángulo de inclinación del mismo sobre la terminal de retiro del tanque. A velocidades normales de retiro el espesor del recubrimiento no es uniforme porque la velocidad es más rápida que la velocidad a la cual el recubrimiento se deposita o para de fluir. Recubrimientos uniformes pueden ser obtenidos a velocidades de retiro de 2.0 - 4.0 pulgadas por minuto, pero esta velocidad es bastante lenta para la mayoría de los transportadores.

La depositación o velocidad de flujo del recubrimiento puede ser controlada en alguna extensión por la volatilidad del solvente y la viscosidad de la pintura. En este tipo de operación una viscosidad medianamente baja da muy buen flujo, por tanto el solvente debe evaporar con la suficiente rapidez para asegurar suficiente espesor de recubrimiento sobre la superficie del objeto. Generalmente, durante el proceso de escurrido el material no drena tan bien como se quisiera lo que origina la formación de cortinas o lágrimas en la parte inferior del objeto en los tiempos normales de escurrido. Este tipo de defectos son usualmente objectionables.

En la actualidad se encuentran en uso varios sistemas de aplicación por inmersión, siendo uno de los

más ingeniosos a la vez que complicado el de roto-inmersión (Rotodip), que es usado en la industria-automotriz para la aplicación de primarios y en el cual las carrocerías son sometidas a un movimiento de rotación constante durante los procesos de inmersión, escurrido y secado, en tal forma que una película continua y uniforme del material es depositada tanto en el interior como en el exterior de las carrocerías. En tal forma ambas superficies reciben una capa de recubrimiento bastante adecuada para prevenir la corrosión.

Una variación del sistema de aplicación de recubrimientos por inmersión es aquella en la cual los objetos a ser recubiertos son calentados desde la -- operación de limpieza y la pintura también está caliente, por tanto, los solventes se evaporan casi -- tan rápido como los objetos son sacados de los tanques de inmersión así, el recubrimiento es más uniforme y libre de defectos de colgado o lágrimas. -- Este procedimiento puede ser utilizado para la -- aplicación de recubrimientos con una alta construcción de película.

Una modificación substancialmente diferente de la aplicación de recubrimientos por inmersión es el -- método de aplicación de cama o lecho fluidizado. -- Este proceso es ampliamente usado en Europa y ha -- sido desarrollado en los E.E. U.U. por compañías -- tales como Polymer Processes Incorporated. El proceso requiere que el material esté disponible en -- una condición de polvo muy fino en el cual los objetos a ser recubiertos previamente calentados a temperaturas predeterminadas son sumergidos. El material de recubrimiento se adhiere a la superficie -- caliente y después que se saca el recubrimiento seca por simple enfriamiento o puede ser curado por -- otros métodos convencionales.

Este procedimiento de aplicación será tratado brevemente más adelante en la parte que corresponde a la aplicación de recubrimientos en polvo.

Es necesario hacer notar que con el objeto de asegurar el buen funcionamiento del sistema de aplicación por inmersión, es necesario ejercer constante

mente un control estricto de las propiedades de la pintura en el tanque, tales como viscosidad, peso-específico, contenido de sólidos, etc., ya que la variación de cualquiera de estos factores puede -- afectar en forma decisiva los resultados finales.

V.3.5 APLICACION POR SISTEMA DE FLUJO.

Este método es otro de los más antiguos para la aplicación de pintura y puede ser considerado como la inversa del método de inmersión, ya que los objetos -- por recubrir no son llevados a la pintura sino que -- la pintura se vierte sobre los mismos. Básicamente -- consiste en bañar los objetos con el material (pintura) por medio de una serie de mangueras en cuya extremidad se encuentra una boquilla por la cual fluye la pintura a una presión medianamente reducida, ya -- que en este procedimiento no hay atomización del material de recubrimiento.

En este sistema se encuentran básicamente los mismos problemas que en el de inmersión, pero por regla general se puede decir que los acabados que en él se -- usan deben ser formulados a baja viscosidad, con un alto poder cubriente y buen flujo. Como en el método anterior, se debe mantener un constante control -- de viscosidad con el fin de mantenerla constante por medio de adiciones de disolvente, además se deben hacer reposiciones controladas de pintura fresca, las -- cuales pueden ser calculadas sobre la base de metros cuadrados por litro o por kilo de pintura o bien por número de piezas pintadas.

La economía de pintura y de mano de obra en este sistema es la misma que en el de inmersión pero con la -- ligera ventaja de que la inversión en pintura es menor, ya que la cantidad de material en los tanques -- es mucho más reducida. Pero, las pérdidas por evaporación de disolventes son más considerables debido a -- la gran superficie de pintura expuesta a la aereación y con el fin de reducir estas pérdidas se recomienda usar disolventes de evaporación lo más lenta -- posible, pero que al mismo tiempo trabajen bien dentro del sistema en lo que se refiere a tiempo de drenado y apariencia de la película aplicada.

En los sistemas mecanizados las piezas por pintar --

son colocadas en un transportador y llevadas a una cámara cerrada en la cual unas espreas de baja presión suministran un exceso de pintura, el artículo se pasa entonces a otra cámara en la cual se extraen los disolventes con lo cual se ayuda a obtener un buen flujo y brillo de la pintura. Los escurrimientos de las cámaras de aplicación y extracción son recirculados, previa filtración, con el fin de eliminar el polvo o partículas de contaminación.

Este método se utiliza para el recubrimiento de objetos de gran tamaño tales como transformadores, chasis, bastidores de acero, etc., para los cuales no sería costeable usar el método de aspersion debido a las pérdidas de material y por el método de inmersión se necesitaría hacer una gran inversión tanto en la construcción de los tanques como en la cantidad de pintura para llenarlos. Además, existen ciertos objetos que por las características de exposición a que van a estar sometidos requieren de una aplicación de película bastante gruesa, capaz de protegerlos de los deterioros prematuros causados por la corrosión. Este método es ideal para este tipo de aplicaciones.

En este sistema, al igual que en el de inmersión y con el objeto de asegurar un buen funcionamiento de las operaciones de aplicación es necesario ejercer constantemente un control analítico estricto de la pintura en los tanques de flujo que al igual que para los tanques de inmersión se refiere a viscosidad, peso específico, contenido de sólidos, etc.

V.3.6 APLICACION POR RODILLOS.

La aplicación de recubrimientos por medio de rodillos puede clasificarse en dos grupos dependiendo del medio o sistema empleado:

Sistema Manual. Este sistema de aplicación es ampliamente usado para la aplicación de pinturas de tipo arquitectónico o decorativo y consiste básicamente en mojar los rodillos que están fabricados de lana, fieltro, hule o cualquier otro material absorbente y deslizarlos sobre la superficie que va a ser protegida hasta obtener una película uniforme. Este método como ya fue visto anteriormente tiene la ventaja sobre la aplicación con brocha de dejar una película más uniforme, pero sólo puede ser usado en superficies lisas y continuas tales como muros o laminaciones planas.

Sistema automático. Este sistema es muy usado en el recubrimiento de laminaciones metálicas completamente planas ya sea cortadas o en forma de tiras, las cuales son posteriormente troqueladas o cortadas y soldadas en las formas más variadas para la fabricación de tapas, juguetes, latas para envases de alimentos, persianas muebles de aparatos domésticos, paredes divisionales, etc.. Generalmente la aplicación se hace en un sólo lado de la lámina secando la película de pintura después de cada aplicación; en algunos casos la aplicación puede hacerse simultáneamente por ambos lados.

Las pinturas para aplicación con rodillos son altamente especializadas dependiendo del uso que se vaya a dar a la pieza terminada, pero se incluyen en el grupo acabados de tipo vinílico (termoestables y termoplásticos) alquidálicos, fenólicos, oleorresinosos, epoxi-fenólicos, acrílicos, epoxi-urea formaldehído, etc. En términos generales se puede decir que todos estos materiales deben tener una buena adherencia, ya que en la mayoría de los casos se aplican directamente sobre la lámina sin ningún tratamiento y además deben ser lo suficientemente elásticos y flexibles como

para resistir la deformación en los diferentes tipos de troqueles.

Este sistema de aplicación puede ser considerado como rápido y económico, debido a que las pérdidas se limitan únicamente al material que queda en los aplicadores al terminar el trabajo o al cambiar de un color a otro.

El equipo en su forma más simple consiste de una serie de 4 rodillos montados en marcos laterales y accionados mecánicamente, los cuales se mueven en las direcciones mostradas por las flechas en la figura que ilustra el funcionamiento de este tipo de equipo.

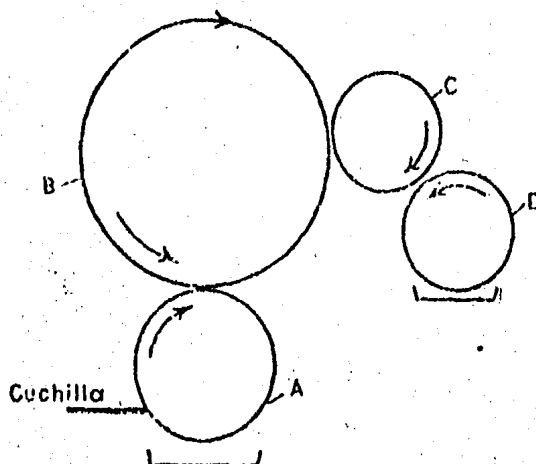


Figura (55)

Los rodillos A, C y D, están hechos de acero endurecido, mientras que el rodillo B es de acero con una cubierta de hule, la cual no debe deformarse con el uso, con el fin de que el espesor de la película aplicada sea constante y además no debe ser atacada por los solventes de los recubrimientos usados en el proceso.

Las partes a ser recubiertas se colocan sobre una banda continua cuya velocidad es regulada de acuerdo con las necesidades del proceso y que las pasa a través del rodillo de presión A y el de aplicación B con lo cual reciben una película de pintura cuyo espesor depende directamente de la abertura entre el rodillo --alimentador C y el rodillo transportador. El espesor de la película seca puede ser controlado con exactitud hasta un mínimo de 0.002 mm.

V.3.7. APLICACION DE RECUBRIMIENTOS POR EL SISTEMA DE CORTINA

En principio consiste en el paso de los artículos -- que van a ser pintados a través de una cortina de la pintura líquida. El método parece ser análogo a simple vista a los de inmersión o flujo, pero no es así, ya que la cantidad de material que fluye por este método es exactamente la que se requiere para la formación de la película ya que no hay un recubrimiento posterior; en cambio semeja en algunos aspectos a la aplicación con rodillos pero con la ventaja de que el ajuste y control son más sencillos, además por este método se puede trabajar en un rango mucho más amplio de espesores de película y lo que es más importante, se pueden recubrir piezas a diferentes espesores sin necesidad de hacer ajustes en el equipo.

En la figura (56) se muestra un diagrama del equipo en el cual A y B son dos transportadores con una abertura de aproximadamente 15-20 cms. entre ellos, por la cual cae la pintura en los intervalos de paso entre una pieza y otra. Una característica muy importante es que las piezas deben ser lo suficientemente grandes para no caer dentro de la abertura, E representa un objeto aproximándose a la cortina.

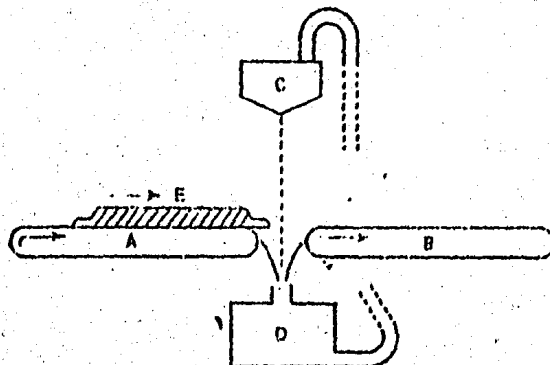


FIGURA (56)

El material se almacena en el tanque D, del cual es bombeado el compartimiento C desde el cual cae sobre el objeto en forma de cortina a través de una abertura inferior, que puede ser regulada a voluntad.

La velocidad de los transportadores varía desde casi-estacionaria hasta 100-140 m/min. y el espesor de la película aplicada puede ser controlado ajustando dicha velocidad y la cantidad de pintura en la cortina. En este método la depositación de la pintura no llega a ser tan uniforme como en el método de rodillos, ya que las corrientes de aire motivadas por la velocidad de los transportadores distorsionan hasta cierto punto la cortina de pintura.

Este equipo puede ser empleado con éxito en la aplicación de acabados de dos componentes del tipo catalizado como poliésteres o poliuretanos, en cuyo caso tanto el tanque de almacenamiento D como el compartimiento C son dobles. La relación de pintura a catalizador es controlada por medio del grosor de las cortinas respectivas, las cuales caen simultáneamente sobre el objeto por pintar. En este caso la pintura no puede ser recirculada y el sistema funciona con una celda fotoeléctrica la cual suspende la caída de la cortina al tiempo de paso entre una pieza y otra.

V.3.8. APLICACION POR BAÑO GIRATORIO.

Es un método que se usa solamente para artículos pequeños y que tiene la ventaja de poder aplicar casi cualquier tipo de pintura ya que no se tiene el problema de evaporación de los disolventes por tratarse de un sistema cerrado. El método consiste en un tambor o barril hecho de acero o madera y de forma variable en cuyo interior se coloca la pintura y -- las piezas que van a ser pintadas. El tambor o barril está dotado de un movimiento giratorio con una velocidad de 20 - 40 rpm dependiendo del diámetro -- del mismo. El eje de rotación puede ser horizontal o inclinado. En el primer caso el diámetro del barril varía de 0.50 a 1.50 m. mientras que en el segundo es siempre inferior a 0.50 m. y forma un ángulo de 45° con la horizontal. Los barriles poseen -- una entrada ajustada que puede intercambiarse con -- una malla con el fin de escurrir la pintura. El -- equipo necesario para esta operación no es costosa -- y la mano de obra es reducida, pero como se anotó -- anteriormente sólo se puede utilizar para objetos -- pequeños, siempre que no tengan bordes afilados y -- que no sean en forma de disco o alargados ya que en estos casos el depósito de pintura sobre los objetos resulta completamente irregular.

En lo que se refiere a las características de las -- pinturas a ser usadas en este tipo de operación podemos decir que las viscosidades de las mismas deben ser similares a las de los materiales usados en los sistemas de inmersión y que deberán estar sujetas a control analítico constante para asegurar su calidad.

En lo que respecta a la operación del sistema deber ser tomado en cuenta que la cantidad de material empleado en la carga del barril afecta la apariencia de los objetos terminados ya que si se encuentra en defecto disminuye el poder cubriente y si está en -- exceso provoca que los artículos se peguen entre sí.

La cantidad correcta de material se determina experimentalmente si se desea obtener un buen acabado.

En resumen, los métodos de aplicación anteriormente descritos constituyen los procedimientos más comúnmente usados para depositar sobre una superficie -- una película de recubrimiento que servirá para protegerla y evitar su deterioramiento prematuro por aislamiento del medio.

RECUBRIMIENTOS EN POLVO

Los recubrimientos en polvo, también llamados pinturas secas o pinturas plásticas constituyen un concepto relativamente nuevo en la tecnología de recubrimientos. Básicamente, estos productos son similares a las pinturas líquidas excepto que no se emplean solventes. Las materias primas que componen estos recubrimientos son molidas hasta un polvo -- muy fino y usadas de esa manera. La película se forma fundiendo el polvo a temperaturas superiores al punto de fusión de la mezcla que compone la pintura.

Aún cuando los recubrimientos en polvo son muy similares a los líquidos ya que ambos usan polímeros similares y los mismos pigmentos, abren una nueva era a la industria de recubrimientos plásticos, ya que en ellos no hay la limitación de la solubilidad del polímero. En consecuencia pueden ser usados polímeros de más alto peso molecular, dando como resultado recubrimientos de más alta calidad, además de -- que ciertos polímeros que a causa de su insolubilidad no han podido ser usados, como por ejemplo las poliamidas como el hulon, pueden usarse.

Los polvos se clasifican en dos grandes grupos: Termoplásticos y Termofijos y los tipos más comunes -- son los enlistados a continuación:

TABLA (XXXI)

Tipos de recubrimiento en polvo

	<u>Termoplásticos</u>	<u>Termofijos</u>
Peso molecular	Alto	Relativamente bajo (más alto que los líquidos)
Punto de fusión	De alto a muy alto	De bajo a alto
Pigmentación	Difícil	Relativamente fácil
Molienda	Difícil	Relativamente fácil
Necesita primario	Sí	No
Productos típicos	Acetato butirato - de celulosa. Cloruro de polivinilo. Poliéster Polietileno Poliamida (nylon - 11)	Epoxy Poliéster

Los recubrimientos en polvo presentan muchas ventajas y limitaciones cuando se comparan con recubrimientos líquidos. Entre las ventajas más importantes tenemos:

- Mejores propiedades mecánicas, resistencia a la abrasión y a los productos químicos, mayor durabilidad.
- El material siempre se encuentra listo para usarse ya que no requiere mezclarse.
- Con este tipo de recubrimientos se logra un mejor acabado en los filos y cantos de los objetos a recubrirse.
- Cubren los defectos del substrato.

- Ocupan menor espacio de almacenaje.
- Tienen una vida en el envase ilimitada.
- Tienen un bajo costo de mantenimiento.
- Los costos de embarque son bajos ya que es un material que está al 100% de sólidos.
- No provoca emisión de disolventes a la atmósfera y reduce totalmente el peligro de incendio.

Las limitaciones más considerables son:

- Los daños en la película son más difíciles de reparar.
- Presentan problemas de aglomeración durante el almacenaje en zonas calientes.
- Los productos termoplásticos son difíciles de moler, por tanto deben molerse a temperaturas menores de 0°C (-18°C).
- Problemas para el control de color.
- La fabricación de pinturas en polvo por el método de fusión es más difícil.

Los recubrimientos en polvo al igual que los líquidos presentan ciertos requisitos y cualidades entre las cuales podemos mencionar:

- Deben tener un punto de fusión lo suficientemente bajo para reducir la temperatura de fusión, pero también lo suficientemente alto para evitar el apelmazado durante el almacenamiento.
- Que sean molidos fácilmente a temperatura ambiente formando partículas uniformes y esféricas. Estas partículas tienden a fluir fácilmente y mantener su carga electrostática más tiempo.
- Que sean fácilmente pigmentables.
- Deben tener un bajo peso específico o sea alto rendimiento por kilogramo.

- Que no sean afectados por una humedad alta.
- Fundirse rápido y fluir bien para formar una película uniforme y tersa.
- Tener un punto de fusión amplio para permitir recubrir diferentes metales.
- Tener una diferencia grande entre el punto de fusión y la temperatura de descomposición.
- Tener buena adherencia.
- Tener un tiempo de curado corto (para materiales-termofijos básicamente).
- Aceptar la carga electrostática.

El manejo de las pinturas en polvo es diferente a -- las pinturas líquidas, por lo cual se usan también -- métodos diferentes de aplicación entre los cuales so bresalen:

- XIII. método del lecho fluidizado.
- XIV. método de pulverización electrostática.
- XV. método del lecho fluidizado electrostático.

En la aplicación de este tipo de recubrimientos el -- tratamiento del metal es exactamente el mismo que se -- usa para pinturas líquidas.

V.3.9. Método del lecho fluidizado.

Este método es el más antiguo para la aplica-- ción de pinturas en polvo. Se originó en Ale-- mania en 1950 y fué introducido en los E.E.U.U. en 1955.

El lecho fluidizado consiste en un tanque de -- fondo falso constituido por un plato poroso de metal o plástico que se llena hasta aproximada-- mente la mitad con la pintura en polvo. Duran-- te la operación se hace circular aire a través del plato poroso con un flujo de 8.6 a 17.5 m³ por hora por m² de plato, para mantener el pol

vo en suspensión, al hacer esto, se duplica - el volumen del polvo y hace que el conjunto - parezca y opere como un fluido, de donde deri- va su nombre. Generalmente se emplea un vi- brador para mantener un movimiento horizontal en el polvo, lo que evita que el aire se cana- lice a través del polvo o que forme burbujas.

El artículo a ser recubierto es precalentado - aproximadamente 35-40°C arriba del punto de- fusión del polvo e inmediatamente es sumergi- do en el lecho. El polvo se adhiere al sus- trato caliente formando una película inmedia- tamente que se funde. Una vez sumergido el - artículo en el lecho es sometido a un movi- miento de rotación en diferentes direcciones - para asegurar un cubrimiento uniforme en todo el artículo. En seguida, se saca el artículo del lecho se sacude o sopletea para eliminar- el polvo adherido e inmediatamente se enfría- o se recalienta, esto último, se hace para ob- tener una película más uniforme con materia- les termoplásticos o para curar materiales -- termofijos. El enfriado de los artículos pue- de hacerse en condiciones ambiente o por in- mersión en agua.

El equipo en sí es simple siendo el lecho lo- único diferente al equipo convencional. El - tamaño del lecho puede variar según el tamaño del artículo y puede ser desde 0.50 m. hasta- varios metros siendo la única limitación el - costo para llenarlo con pintura en polvo.

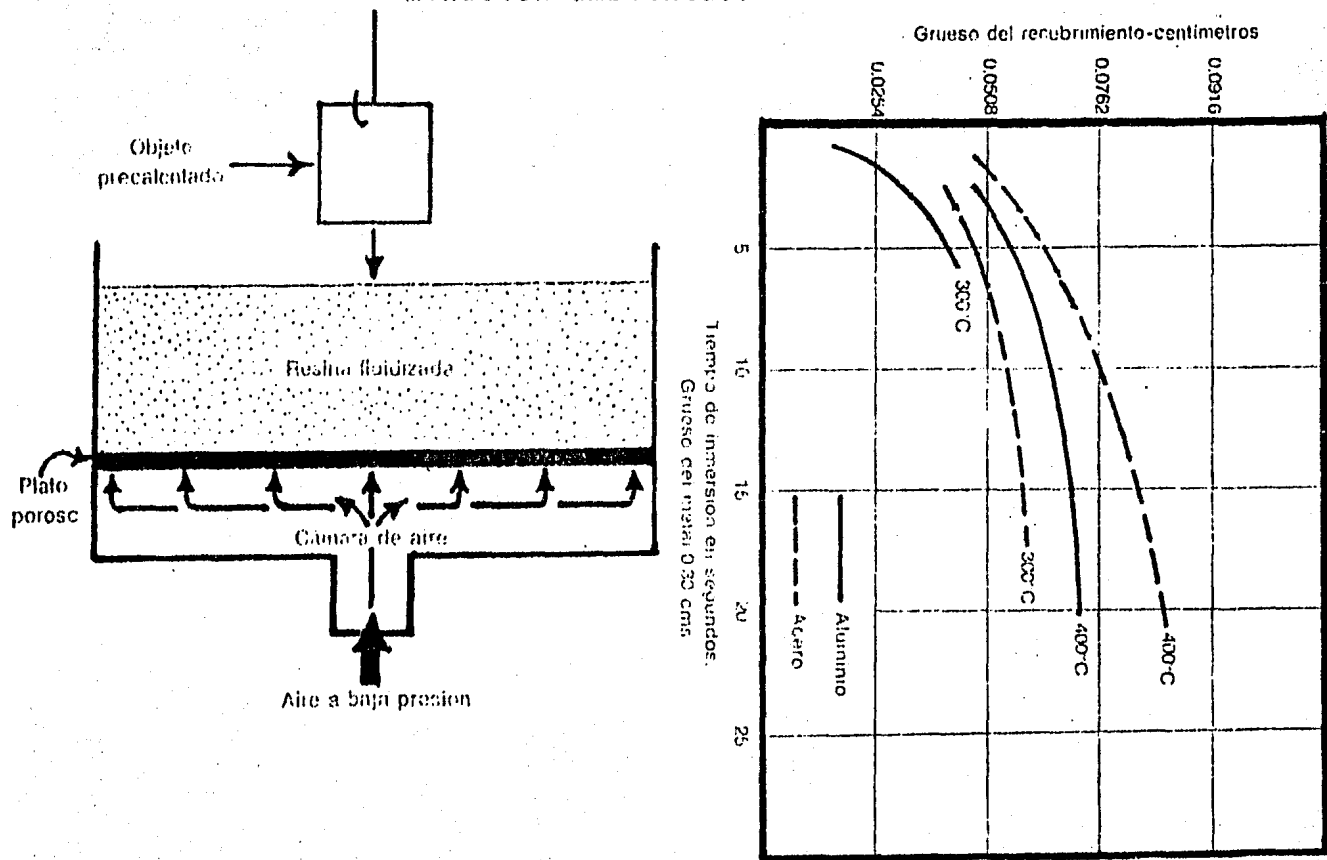
La aplicación de pinturas en polvo por lecho- fluidizado presenta muchas ventajas y limita- ciones entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

Ventajas:

1. Pueden aplicarse películas desde 6.0 a -- 60.0 milésimas sin escurrimientos o go- teos.
- Pueden obtenerse características muy espe- ciales en películas gruesas como son la - textura y el brillo.
- Con la aplicación de grandes espesores de

película se cubren defectos de superficie del substrato.

- El método proporciona buen cubrimiento en todas las partes del artículo que se va a recubrir incluyendo esquinas y filos en donde el espesor de la película depositada es cuando menos la mitad del de las áreas planas.
- El espesor de película puede fijarse, controlando la temperatura de precalentamiento y el tiempo de inmersión como se ilustra en la figura (57).
- El método no presenta problemas de contaminación ambiental.



Por este método el acabado puede ser aplicado sobre el primario sin necesidad de enfriar este último.

- El equipo empleado es simple y puede ser diseñado según el tamaño y la forma del artículo.
- En este método los problemas de limpieza son mínimos.
- El empleo de este método de aplicación ocasiona una inversión total baja, costos de operación bajos, rapidez de instalación y pérdidas mínimas sin problemas de recolección de polvos.

Limitaciones:

- No puede ser recubierto únicamente un lado o parte del artículo.
- Las temperaturas de precalentamiento son generalmente altas para sustratos no metálicos y para partes soldadas.
- El costo de la pintura en polvo es elevado.
- Para la aplicación de recubrimientos en polvo por este método son necesarios dos hornos.
- La aplicación de pinturas en polvo presenta como único riesgo al horno.

V.3.10 Método de pulverización electrostática.

La aplicación de recubrimientos por este método se puede comparar con la de lecho fluidizado, sin embargo, cuando se aplican polvos por pulverización electrostática no es necesario el precalentamiento del artículo, ya que la formación de una capa de polvo continua y uniforme es propiciada por una carga electrostática la cual a su vez la mantiene firmemente unida al sustrato hasta que se hornea para fundir el polvo.

El principio básico de la pulverización electrostática es la "Ley de Coulomb" que se re-

fiere a que "Cargas opuestas se atraen y cargas iguales se repelen". El polvo pasa por un electrodo negativo altamente cargado que se encuentra en la punta de la pistola de aspersión y cuando es atomizado, recoge la carga. Cuando se acerca a la pieza que va a ser recubierta conectada a tierra y cargada positivamente, es atraída la pintura a la superficie del artículo y se adhiere fuertemente. Una vez que se forma la película, el substrato se aísla y el polvo que formó la película repele al polvo que está atomizado, como resultado, éste cae al fondo de la cuba, pudiendo ser nuevamente usado. El resultado es una película muy uniforme que sólo tiene que calentarse para formar la película final. Por este método pueden ser aplicadas películas de 1.5 a 6.0 milésimas e inclusive más gruesas con una sola capa o mano de pintura, dependiendo de la temperatura del artículo, tamaño de partícula del polvo, diferencia de potencial eléctrico y la duración del espray. A menor tamaño de partícula de polvo, menor el espesor de película que se puede aplicar; mayores temperaturas del substrato permiten películas más gruesas.

El equipo necesario para la pulverización electrostática no es tan sencillo como para el método anterior y consiste en:

Pistola.

Es un dispositivo especial. Está provista de manguera para el material y cable de alto voltaje, puede ser ajustada para esprear el material según sea necesario. La figura (58) ilustra un dispositivo de este tipo.

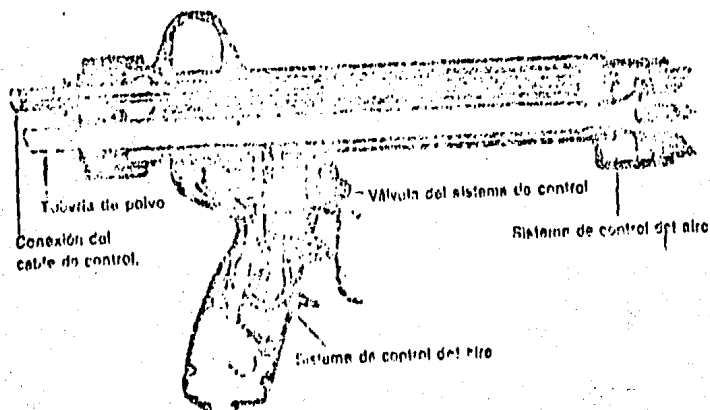


FIG. 15. Pistola manual electrostática para polvos.

Depósito.

Esta parte del equipo puede ser considerado como un pequeño lecho fluidizado; consiste de un recipiente para el polvo con un vibrador y aire para fluidizar el polvo ya que éste debe conservarse fluidizado para que pase por la manguera que va a la pistola.

Cuba.

La cuba empleada para recubrimientos en polvo es muy diferente y más simple que las cubas para pinturas líquidas. Tiene un fondo inclinado para recolectar el polvo sobre-espreado (over-spray) y lo manda al ducto del sistema de recuperación.

Sistema de recuperación.

Consiste en un ciclón recolector con o sin bolsa o tubo filtrante. Con este sistema se recoge prácticamente todo el sobre-espreado, ya que el ciclón recolector recoge usualmente el 90% de las partículas grandes y el filtro recoge las partículas pequeñas. El polvo recolectado es filtrado a través de una malla, mezclado con el material virgen y usado.

Fuente de poder.

Se emplea para convertir la corriente normal a corriente de 50,000 a 100,000 volts de corriente directa y de 100 a 200 miliamperios.

Compresor para suministro de aire.

Como los polvos son sensibles a la humedad, el compresor deberá adaptar un dehumidificador.

Tablero de control.

Para el control de las variables que intervienen en el proceso como son: voltaje, amperaje, presión de aire, volumen de aire al lecho y a la pistola y la frecuencia del vibrador del lecho.

En la siguiente tabla se ilustran brevemente los pasos a seguir durante la aplicación: - - electrostática de pinturas en polvo y líquidas:

TABLA (XXXII)

Pintura en polvo	Pintura líquida
Tratamiento del metal	Tratamiento del metal
Enjuague	Enjuague
Secado	Secado
-----	Esparado del primario
-----	Tiempo de flasheo
-----	Horneado
-----	Enfriado
Esparado del acabado	Esparado del acabado
	Tiempo de flasheo
Horneado	Horneado

La aplicación de pinturas en polvo por este método - presenta una serie de ventajas y limitaciones que - deben ser consideradas y entre las cuales podemos - mencionar las siguientes:

Ventajas:

- Se aplican capas uniformes que cubren perfecta-- mente las esquinas y filos.
- Se puede aumentar el espesor de la película pre- calentando el objeto. Cuando la película se fun- de, se convierte en conductora, lo cual permite- aumentar el espesor.
- Puede ser recubierto un solo lado del artículo.
- No es necesario el precalentamiento.
- No hay escurrimientos ni goteos.
- Se requiere menor volumen de polvos.
- Se pueden aplicar películas delgadas.
- Se utiliza del 90 al 98% de la pintura, lo que -- significa que el método tiene un gran rendimiento.

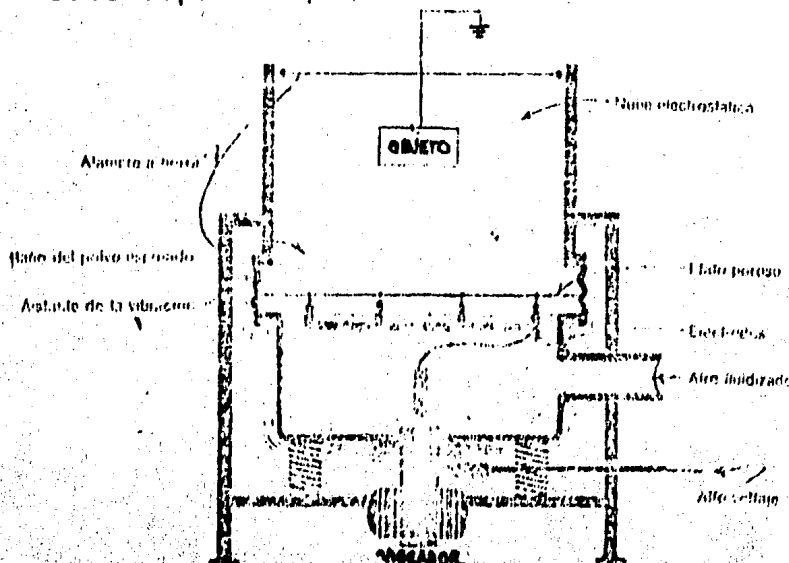
- No se requieren adelgazadores ni operaciones de mezclado.
- El equipo es fácil de limpiar y tiene un bajo costo de mantenimiento.
- La aplicación de pinturas en polvo por aspersion no presenta problemas serios de contaminación, ya que no contiene disolventes. El único problema que representa es un pequeño escape de polvo del 1 al 5% en el área de trabajo.

Limitaciones.

- La película no es tan tersa como la que se obtiene con pinturas líquidas.
- El tamaño de partícula del polvo es muy crítico y afecta la calidad del acabado.
- Existe un alto porcentaje de sobre-espreado -- (aprox. 30% en promedio) y aún cuando se recupera casi todo el material, la calidad del recuperado no es tan uniforme como la del material virgen.
- El cambio de color en el sistema implica mucho tiempo, ya que hay que limpiar todo el equipo.

V.3.11 Método del lecho fluidizado electrostático.

Es una combinación de los dos métodos descritos anteriormente. El método es también llamado "Nube -- Electroestática". Consiste en un lecho fluidizado al que se ha agregado electrodos electrostáticos. En la fig. (59) se ilustra el equipo usado para este tipo de aplicación.



En el lecho, el polvo es aereado y vibrado como en el método de lecho fluidizado convencional; sin embargo, la carga electrostática hace que el polvo sea atraído por cualquier objeto conectado a tierra y que se acerque por la parte superior del lecho, haciendo que el polvo vuele hacia el objeto y se adhiera a él del mismo modo que en la aspersión electrostática. Con este método es posible aplicar películas relativamente delgadas sin problemas de sobre-espreado y a temperatura ambiente.

Ventajas del método:

- El proceso de recubrimiento se lleva a cabo a temperatura ambiente.
- Es un método más rápido que el lecho fluidizado.
- Se pueden recubrir metales delgados e inclusive plásticos.
- La cantidad necesaria de polvo para trabajar satisfactoriamente es de más o menos la décima parte comparada con la del lecho fluidizado.
- Se puede pintar objetos sin necesidad de sumergirlos en el polvo.
- Se puede recubrir un solo lado del objeto.
- Se pueden aplicar películas delgadas a menos de 5 milésimas.

Limitaciones.

- En este método, el polvo no tiene la velocidad que una pistola, por tanto es menos rápido que la aspersión electrostática.
- El lecho es atraído por la fuerza electrostática de ahí que sólo sea efectivo a corta distancia, por ejemplo a 25 - 35 cms.

En la siguiente tabla se hace una comparación de los métodos de aplicación de recubrimientos en polvo a fin de establecer cual de ellos resulta más efectivo o adecuado en un momento dado:

TABLA (XXXIII)

	Lecho Flui dizado.	Lecho Fluidi zado Electro stático.	Pulverización Electrostáti- ca.
Cantidad de material	Mucha	Regular	Poca
Aplicación	Inmersión	Paso sobre el lecho.	Aspersión
Sirve para pintar me tales delgados.	No	Si	Si
Para pintar un solo- lado	No	Si	Si
Desperdicio de mate- rial	No	Regular	Alto
Pre calentamiento del objeto.	Si	No	No
Número de hornos ne- cesarios	1-2	1	1
Sobre-espreado "Over- Spray"	No	No	Si
Espesor de la pelícu- la aplicada en milesi mas.	6-60	1.5-5.0	1.5-5.0

VI.- INSPECCION.

VI.I. GENERALIDADES.

Considerando la gran diversidad de factores y condiciones involucradas en un trabajo de pintura -- desde la preparación de superficies hasta la obtención del sistema de recubrimiento en condiciones de operación es absolutamente indispensable -- el llevar un control estricto y adecuado o supervisión en cada una de las etapas que considera la protección anticorrosiva de instalaciones a través del uso de recubrimientos.

El propósito de la inspección de una operación de pintado es asegurarse que ciertas especificaciones previamente establecidas para todos y cada -- uno de los pasos involucrados en la operación se cumplen satisfactoriamente. El trabajo de inspección es frecuentemente solicitado por el comprador del servicio para asegurarse que no recibe menos de lo que él ha especificado. La necesidad -- general por un trabajo de inspección competente -- en una operación de pintado radica en las muchas variables involucradas cada una de las cuales puede tener un efecto aplastante sobre la calidad de trabajo como un todo. La pintura misma, el mezclado y adelgazamiento de la misma, la preparación de la superficie, las condiciones ambientales y el manejo de las superficies recubiertas -- son unas cuantas de las variables que deben ser cuidadosamente controladas si un recubrimiento duradero va a ser obtenido. Desafortunadamente para el comprador, la apariencia final de un trabajo de pintura pobre puede ser aproximadamente la misma que la del trabajo que fué completado con el máximo de cuidado.

Una inspección adecuada de trabajos de pintura como una práctica general debe ser bienvenida por -- todos los contratistas bien intencionados y tanto éstos últimos como los proveedores de pintura no deben tener argumentos contra mejorar la calidad del trabajo de pintura si el costo de dicho mejoramiento no los afecta debido a variar las prácti

cas de inspección. Esto significa que el comprador no encontrará resistencia si intenta especificar métodos de preparación de superficies y materiales de pintura que interfieren con el curso normal de operaciones del contratista. Al mismo tiempo, el comprador debe darse cuenta que un -- trabajo de alta calidad con requerimientos rígidos resultará en un incremento en precios sobre lo usual en prácticas comunes.

En la actualidad, la necesidad por personal altamente calificado para trabajo de inspección de pintura es obvia si, uno considera la complejidad y multiplicidad de los recubrimientos protectivos modernos y el considerable número de operaciones involucradas en obtener un trabajo de pintura satisfactorio. Los técnicos empleados para probar que las pinturas cumplan con las especificaciones establecidas deben tener experiencia -- considerable en el campo para interpretar los resultados de las pruebas después que ellos son obtenidos. Los inspectores de preparación de superficies y aplicación de pintura, no sólo necesitan experiencia en ello, sino también amplios conocimientos sobre pinturas y materiales de pintura. Las personas encargadas de la inspección de superficies pintadas con vistas hacia hacer recomendaciones para pintado de mantenimiento, deben tener una completa experiencia en todas -- las fases del trabajo de recubrimiento protectorio, incluyendo los costos involucrados en las varias operaciones.

Desgraciadamente, el contraste entre los inspectores deseados y los actuales es tremendo, existen algunos inspeccionando operaciones de pintado a gran escala quienes creen que el "RED LEAD" es una pintura mezclada más que un pigmento el cual puede estar formulado dentro de muchos diferentes tipos de pintura. Es muy común encontrar también inspectores que no conocen los solventes y adelgazadores más comunes y quienes no saben concretamente como llevar a cabo una operación de mezclado y adelgazamiento. En la preparación de superficie donde la experiencia y el buen juicio son particularmente importantes, la competencia de la mayoría de los inspectores es aún más cuestionable.

Esta situación no radica en el hecho de que quienes llevan a cabo la inspección de las operaciones de pintado están particularmente faltos de habilidad. Quizá una razón por la cual los inspectores de operaciones de pintado están tan a menudo tan pobremente calificados para su trabajo es que en el pasado y aún actualmente muy pocas reglas aceptadas generalmente y guías cualitativas aplicables al pintado de superficies están en operación.

Los problemas de los inspectores de operaciones de pintado serán a menudo amplificadas por su incompetencia y falta de conocimiento. Muy rara vez se encuentra uno con personas con conocimientos detallados sobre los materiales que ellos usan. Esto es particularmente cierto en el caso de los productos de pintura más nuevos. En la mayoría de los casos nos encontraremos que las personas encargadas de llevar a cabo la inspección de las operaciones de pintado de superficies no son expertas en tal o cual operación, sino hombres manuales que conocen solamente un poco acerca de los muchos diferentes trabajos que ellos hacen.

Un buen inspector de trabajos de pintura debe estar consciente de que ciertos prejuicios personales de los trabajadores deben ser prevenidos, ya que si ellos sienten que su gran experiencia está siendo ignorada, la calidad del trabajo de pintado está apto para sufrir las consecuencias.

Los buenos procedimientos de inspección son aceptados por todos excepto por aquellos contratistas o proveedores que ponen lentitud o indiferencia en la inspección como una oportunidad para reducir costos o defraudar al comprador.

VI.2 LA INSPECCION DE RECUBRIMIENTOS.

La inspección de cualquier tipo de pintura comprada así como la de materia prima que interviene en su formulación es un factor muy importante y se considera el paso número 1 para la obtención de un sistema de recubrimiento adecuado que cumpla satisfactoriamente todos los requisitos necesarios para desempeñar su función de protección anticorrosiva. Es un paso tan importante, que puede ser considerado como la base de una operación-

para protección anticorrosiva por medio de recubrimientos por aislamiento del medio.

Por regla general, una pintura debe ser comprada sobre una base de especificación y a través de una oferta competitiva. El comprador está en posición de negociar con la mayor oferta o con aquella que le garantice gracias a su reputación y seriedad la máxima calidad en los productos que van a ser adquiridos.

El alcance de las operaciones de inspección de los servicios adquiridos de una empresa, debe ser determinado por el comprador. Su juicio a este respecto estará influenciado por una serie de factores muy importantes, entre los cuales podemos mencionar el volumen de pintura involucrado, el precio de oferta por unidad de pintura suministrada, si en la selección del proveedor intervino la operación de oferta competitiva, si ha existido experiencia anterior con el proveedor en cuestión, las instalaciones de manufactura con que cuenta la empresa, la reputación lograda por dicha empresa durante su tiempo de operación y el tipo de pintura que está siendo suministrada.

La primera de estas consideraciones no necesita mucha explicación y se refiere a la posibilidad económica de checar un sin número de muestras de pintura cuando varios miles de litros de la misma están involucrados. El determinar si el material cumple con las especificaciones puede resultar demasiado caro cuando una cantidad considerable de muestras está involucrada.

La segunda de las consideraciones "Precio de oferta por unidad" debe ser considerada cuidadosamente ya que si el contrato de suministro es obtenido o aparece con cotizaciones a un precio de oferta demasiado bajo, deben tomarse grandes precauciones para asegurar que el material cumple estrictamente con las especificaciones. Aunque, los compradores pueden rechazar esas ofertas que parecen anormalmente bajas...

Similarmente, las instalaciones de manufactura del proveedor y su reputación pueden ser factores importantes para determinar si los materia-

les adquiridos deben ser probados completamente.

También, el tipo de pintura que se adquiere tiene influencia en lo completo del trabajo de prueba, por ejemplo un tipo de pintura de aceite relativamente simple (pintura de aceite de linaza y minio) puede ser adecuadamente probado examinando solamente el producto terminado que es suministrado. Sin embargo, el comprador de un tipo de pintura más sofisticado como un recubrimiento fenólico por ejemplo no puede estar completamente seguro que se cumple con la especificación sin probar separadamente todas y cada una de las materias primas que intervienen en la manufactura de la pintura. Algunas formulaciones para ciertas pinturas requieren inspección en la planta si el comprador quiere estar completamente seguro de recibir el material deseado.

Para decidir lo completo de un trabajo de prueba deben ser tomados en cuidadosa consideración el siguiente grupo adicional de factores: las condiciones de exposición contempladas, el costo para hacer las superficies a ser pintadas accesibles para repintar, el costo de preparación de superficie y el costo de la aplicación de la pintura por tanto, para superficies poco accesibles o muy costoso hacerlas accesibles, superficies cuya preparación fué muy costosa y superficies que van a estar expuestas a condiciones severas de corrosión, deberán usarse materiales cuya confianza y apego con las especificaciones esté más allá de cualquier duda. En el caso de trabajos fácilmente accesibles sujetos a una exposición atmosférica rural, los trabajos de prueba son tan drásticos.

Es necesario hacer notar que en toda especificación existe un cierto margen para que las pinturas suministradas sobre una base competitiva fallen en el cumplimiento de las características requeridas. Esta desviación de los requerimientos de especificación puede ir desde pequeños cambios de color, baja o alta viscosidad o menor densidad.

El área de no conformidad con los requerimientos de inspección involucra los siguientes puntos: - contenido de pigmento, contenido de vehículo no

volátil y contenido de sólidos totales de pinturas mezcladas. Alguna deficiencia en estos aspectos significa que el comprador está recibiendo materia volátil o adelgazador barato en lugar de material no-volátil formador de película. En la compra de varios miles de litros de pintura - con un poco menos del contenido de sólidos totales, puede resultar una pérdida apreciable al comprador. En algunas ocasiones, las irregularidades llegan al extremo de que al probar pinturas sobre especificación se encuentran pinturas de tipo alquidal que no contienen resina alquidal, pinturas pigmentadas con bióxido de titanio que contienen poco o nada de dicho pigmento y muchas otras situaciones parecidas. Algunos proveedores honestos con buenas intenciones se encuentran con ciertos problemas en un lote de producción ya sea por equivocaciones o errores en la carga, molienda, procesamiento del vehículo, etc., lo que provoca que el material quede fuera de especificaciones en algún aspecto. La tentación de vender este material es muy grande, sobre todo si representa una pérdida muy grande al proveedor. Por esta razón, si las circunstancias no permiten llevar a cabo un chequeo completo del material, el comprador deberá tratar con fabricantes de pintura con quienes se haya tenido experiencia previa satisfactoria y/o con los que tienen una reputación excelente por su integridad y habilidad. El comprador deberá deschar los precios más bajos asociados con la oferta competitiva y comprar de un fabricante competente técnicamente quienes creen que un cliente satisfecho es lo mejor o lo más útil a lo largo del camino.

"MUESTREO Y PRUEBA DE PINTURAS Y MATERIALES DE PINTURAS".

Un trabajo de inspección de grandes volúmenes de pintura procurados bajo una especificación envolviendo una formulación detallada y algunos requerimientos de comportamiento puede ser como sigue: el fabricante de pintura debe enviar muestras de la materia prima que él está usando en los productos terminados requeridos para que sean probados y aprobados de acuerdo a las especificaciones de cada una de ellas proporcionadas por el fabricante de las mismas. Las materias primas -

serán probadas a la extensión considerada necesaria en un laboratorio escogido por el comprador. Después que se completa la aprobación de las materias primas un representante del comprador debe inspeccionar todas las operaciones de manufactura y remitir muestras del producto terminado, incluyendo - - muestras de los vehículos procesados o intermedios al laboratorio para que sean checados de acuerdo a las especificaciones. Entre las características básicas que deben ser checadas durante la prueba de un material tenemos: el tiempo de secado (al tacto y duro), contenido de no-volátiles (sólidos), color peso por galón, brillo, aspecto, etc. Si la pintura cumple perfectamente con la especificación deben entonces ser embarcada al comprador, la cual al llegar y antes de ser pagada, puede ser brevemente examinada para determinar si es idéntica a las muestras que fueron enviadas al laboratorio. El muestreo de las pinturas para prueba en laboratorio es responsabilidad del inspector de la planta, el cual debe ser muy cuidadoso en todas las operaciones que realiza. El muestreo debe hacerse preferiblemente durante o después de la operación de envase en los recipientes especificados. En algunos casos, el proveedor deseará obtener los resultados de las pruebas de laboratorio antes del llenado; en tal caso el inspector tendrá que muestrear de tanques de mezclado o almacenamiento para lo cual debe tomar ciertas precauciones en determinar si el material está o no completamente homogéneo antes de muestrear. El inspector también necesitará tomar las precauciones necesarias para estar seguro que el material exactamente como se muestrea, es empacado y enviado a su destino final sin cambio posterior. Una muestra de cada lote de material debe tomarse para pruebas de laboratorio. Si 2 o más lotes se mezclan para formar uno solo, únicamente se requiere una muestra. Esta operación a veces se lleva a cabo para promediar características anormales como viscosidad, sólidos, etc. En el muestreo en tanque de almacenamiento o mezclado se toman muestras de la superficie, punto medio y fondo del recipiente por medio de un tubo de muestreo para hacer positiva una muestra representativa. Las muestras deben tomarse por duplicado o triplicado si el comprador desea retener una muestra para propósitos de records o para usarlas en caso de disputas. La identificación total de las muestras, incluyendo número de lote del material, número de orden del fabricante, fecha de manufactura y embarque, descripción-

del material, destino de la muestra, etc. no debe ser olvidada.

En la inspección de las operaciones de llenado en la planta debe asegurarse que el material -- que fué previamente muestreado no ha sido alterado desde el muestreo, que el material esté -- completamente mezclado y homogéneo y finalmente que el sellado y etiquetado de los envases sea el adecuado de acuerdo a como fue especificado; pero en cualquier caso el etiquetado debe incluir el nombre del material, el número de contrato u orden, color si es aplicable, fecha de manufactura, número de lote del fabricante y -- cualquier instrucción especial para mezclado o uso.

Una vez mostrados los métodos de inspección y muestreo de pinturas y materiales de pintura y partiendo de la base de que un lote de recubrimiento por utilizar se encuentra dentro de especificación, es decir fue certificada su calidad en laboratorio procedemos a discutir las etapas de inspección que son recomendables para poder asegurar que las operaciones de pintado serán un éxito y que el sistema de recubrimiento desempeñará perfectamente su función de protección anticorrosiva por aislamiento del medio.

VI.3 "INSPECCION DE LA PREPARACION DE LA SUPERFICIE".

Ha llegado a ser axiomático en trabajos de recubrimiento protectorio que el comportamiento de las pinturas más cuidadosamente seleccionadas no será mejor que la preparación de la superficie. Un sistema de pintura perfectamente bien elegido y adecuado a una condición de exposición particular se comportará pobremente si la preparación de la superficie no se lleva a cabo de una manera compatible con las condiciones de exposición involucradas y/o las características de la pintura a ser usada. Siendo que la calidad de la preparación de la superficie no puede ser determinada después que la pintura es aplicada, el comprador debe asegurarse por sí mismo (por medio de un representante) que las especificaciones están siendo cumplidas durante las operaciones de limpieza mismas.

"SUGESTIONES PARA LA INSPECCION DE LA PREPARACION DE SUPERFICIES".

Durante la inspección de preparación de superficies ya sea en el taller como en el campo, se observará que los estandars, guías, herramientas de inspección y otras ayudas disponibles a la persona que inspecciona la preparación de las superficies son notables por su ausencia.

Las dificultades asociadas con lo establecido en las especificaciones y lo inspeccionado de la preparación de las superficies surgen desde el primer instante por lo cual el inspector deberá estar capacitado para dar respuesta a preguntas como las siguientes: ¿Qué grado de limpieza es requerido para el adecuado comportamiento de cada uno del gran número de tipos de pintura?, ¿a qué extensión debe el grado de limpieza de la superficie ser determinado por las condiciones de exposición involucradas?, etc. Además, su capacidad deberá permitirle poder interpretar satisfactoriamente los resultados finales deseados y de ninguna manera aceptar un grado de limpieza de superficie menor que el especificado y considerado necesario.

Inspección de limpieza manual y Limpieza con herramientas de fuerza.

Ambos métodos emplean esencialmente herramientas similares (cepillo de alambre, cinceles, herramientas de impacto, rasquetas, etc.) excepto que en un caso la fuerza manual es sustituida por fuerza mecánica. En ambos casos la remoción de aceites y grasas por medio de limpieza con solvente, es necesario antes de remover el herrumbre, escoria y otros contaminantes adheridos a la superficie, ya que la primera herramienta de limpieza usada en ambos métodos son los cepillos de alambre los cuales, redistribuyen estos contaminantes sobre toda la superficie. En estos métodos de limpieza se debe inspeccionar que toda la materia suelta y la no firmemente adherida sean desprendidas. La materia firmemente adherida como herrumbre y escoria de laminación o residuos de pintura en el caso de trabajos de repintado deberán desprenderse hasta donde sea posible.

En el caso de la limpieza manual y con herramientas de fuerza la observación visual es el único método de inspección disponible, por tanto el inspector debe preparar y retener para futura referencia los estándares de preparación de superficies descritos en las especificaciones. Estos estándares son preparados en el lugar mismo donde van a ser llevadas a cabo las operaciones de limpieza y son establecidos de común acuerdo entre el comprador y el contratista o persona que va a llevar a cabo las operaciones de limpieza luego de una exhaustiva demostración. Las superficies limpiadas deben tener la misma apariencia que el área de prueba.

Inspección de limpieza con flama.

En este método de limpieza de superficies la observación visual es la principal técnica de inspección disponible y otras instrucciones particulares al inspector de la operación de limpieza no son consideradas necesarias, excepto por los siguientes comentarios: las superficies limpiadas a la flama y posteriormente cepilladas con cepillo de alambre deben ser pintadas mientras sus temperaturas están todavía por encima de la temperatura atmosférica. Esta diferencia de temperatura debe ser fijada por el inspector pero se considera que si la temperatura de la superficie está cuando menos 20°C arriba de la atmosférica es bastante razonable. El inspector debe vigilar que si una superficie va a ser pintada por ambos lados, primero debe ser limpiada perfectamente y por ningún motivo permitir que sea limpiada por un solo lado e inmediatamente pintada, ya que al estar limpiando el lado posterior la flama puede dañar la película de pintura que ha sido aplicada. Cuando se va a limpiar una superficie de acero que está a baja temperatura se debe tener presente que una película de humedad condensada aparece sobre ella al aplicársele la flama oxiacetilénica. La cantidad de humedad puede ser bastante apreciable por lo que se requerirá una velocidad de la flama lo suficientemente lenta para evaporar completamente esta película de agua y poder aprovechar los beneficios que representa el pintar caliente una superficie.

La superficie final obtenida por este método de-

limpieza debe coincidir con el estándar de preparación de superficie descrito en las especificaciones y previamente preparado en el lugar mismo de común acuerdo entre comprador y contratista.

Inspección de limpieza con solventes.

Esta especificación incluye limpieza en emulsión, limpieza con vapor, limpieza química y en total a los métodos más comunes de remover grasas y aceites.

El aspecto más importante y que siempre debe tenerse en mente es que todos los métodos y materiales usados tienen el propósito de remover de la superficie los aceites, grasas, compuestos y otros contaminantes que manchan y que pueden tener un efecto perjudicial sobre el comportamiento del recubrimiento protector que va a ser aplicado. Por tanto, el objetivo número uno de la inspección debe ser la seguridad de que estos contaminantes sean removidos de la superficie -- junto con los residuos perjudiciales que radican en los materiales usados para la limpieza.

La operación de limpieza con solventes se puede llevar a cabo antes y después de la operación de limpieza por cualquiera de los métodos conocidos. La inspección de las operaciones de limpieza con solventes es simple, pero bastante delicada ya que cualquier residuo de grasa o cualquier otro contaminante sobre la superficie puede ocasionar una falla bastante severa en la película de recubrimiento aplicada. El procedimiento consiste básicamente en restregar la superficie con trapos perfectamente limpios humedecidos con solvente hasta eliminar los contaminantes lo más que sea posible, la operación se repite hasta eliminar completamente los contaminantes y al final la superficie se enjuaga con solventes y trapos muy limpios.

En este tipo de limpieza debe tenerse mucho cuidado ya que aún cuando se use mucho solvente, -- una delgada capa de solvente con grasa o aceite disuelto queda en la superficie la cual debe removerse por restregar con trapos limpios humedecidos con solvente. La cantidad de grasa y aceite dejada sobre la superficie se puede determinar restregando la mano sobre la misma o empleando un pedazo de trapo blanco. Aunque es casi im

posible obtener una superficie completamente lim pia por muy bien que se realice el trabajo, el - inspector puede obtener una idea de la cantidad - de grasa o aceite dejada sobre la superficie - - usando este sencillo método.

La cantidad de grasa y aceite que puede ser tole rada sobre las superficies depende de la pintura a ser aplicada y el inspector de estas operacio- nes deberá tener un conocimiento completo a este respecto para evitar cualquier error que pueda - afectar el comportamiento de un sistema de recu- brimiento. Por ejemplo, una pintura alquidal de aceite de linaza simple generalmente toleran más grasa y aceite sobre la superficie que algunas - de las pinturas consideradas como especiales - - (epoxi, vinílica base solvente, etc.)

Cuando se realiza una operación de limpieza em- pleando agua como solvente, se debe secar perfec- tamente la superficie antes de aplicar la pintu- ra. En toda operación de limpieza con solventes se debe tener cuidado de que la superficie esté - al final de la limpieza lo más neutra posible, - lo cual puede ser verificado checando el p^H del - agua del último enjuague en contacto con la su- perficie usando papel que muestre por cambio de- color el grado de alcalinidad o acidez de la so- lución con la cual el papel es humedecido.

"INSPECCION DE LA LIMPIEZA POR DECAPADO (PICKLING)"

En esta operación el inspector está primordialmen- te relacionado con la condición final de la super- ficie después del decapado (pickling) y NO con el total de la operación, la cual es responsabilidad de la persona encargada de hacer el trabajo. Sin embargo, el inspector debe estar completamente fa- miliarizado con toda la operación para asegurar - que la superficie metálica está adecuadamente tra- tada y que no ha sido sometida a un sobre trata- miento.

Al final de la operación la superficie metálica - debe ser examinada para asegurarse que no está in debidamente áspera o cacarafiada por operaciones - de decapado inadecuadas, lo cual puede ser ocasio

nado por una inmersión bastante prolongada de la superficie en el baño de decapado, concentración inadecuada de la solución de decapado o inadecuada inhibición de la solución de decapado. La superficie debe ser examinada para ver que está -- comparativamente limpia y en condición para recibir pintura.

El inspector debe supervisar que una vez terminado el trabajo la superficie sea adecuadamente enjuagada para remover todos los residuos de cloruros o sulfatos que puedan estar adheridos a la misma y que provienen de la solución empleada para el decapado. Trazas de ácido clorhídrico, -- ácido sulfúrico, o ácido nítrico son particularmente perjudiciales y no deben ser tolerados. Se recomienda que al final de la operación de decapado la superficie sea enjuagada perfectamente -- usando agua lo más caliente posible para asegurar un secado rápido de la superficie antes de ser pintada o sometida a una operación de aplicación de una sustancia inhibidora de la corrosión.

Toda superficie sometida a una operación de decapado (pickling) debe ser pintada lo más pronto -- posible después del secado de la misma, ya que -- tales superficies están muy propensas a un rápido herrumbramiento.

"INSPECCION DE LA LIMPIEZA POR SOPLETEO".

Existe un acuerdo preciso entre comprador y contratista sobre el grado de limpieza que el cliente desea se lleve a cabo sobre sus instalaciones antes de aplicar sobre las mismas un sistema de recubrimiento protectorio contra la corrosión. El mejor acuerdo sería uno basado en una conferencia de pre-oferta en la cual el comprador podría externar sus requerimientos sobre algunas áreas representativas reales que son limitadas a la extensión deseada y sobre las cuales estará basado el trabajo de limpieza del contratista.

En las operaciones de limpieza por sopleteo con abrasivo se incluyen 4 grados de limpieza a saber: Acabado Brush-Off (ráfaga), comercial, metal casi-blanco y metal blanco. En todos y cada uno de los acabados de limpieza deben tenerse -- ciertos cuidados especiales para que el resultado final obtenido sea el establecido en las especificaciones establecidas de común acuerdo en--

tre el comprador y el contratista. Pero, cualquiera que sea el acabado deseado existen algunos puntos que un inspector debe considerar cuidadosamente:

- El grado de limpieza de superficie deseado. Este punto es muy importante ya que en él se define específicamente el alcance de las operaciones de limpieza que van a ser realizadas.
- El perfil del anclaje o grado de rugosidad de la superficie que debe ser obtenido de acuerdo al sistema de recubrimiento que va a ser aplicado.

Considerando que la altura entre cima y valle -- del perfil o patrón de anclaje sobre superficies limpiadas por sopleteo con chorro de abrasivos, -- tiene un importante significado sobre la planeación de los espesores de película de los sistemas de pintura, es necesario que el inspector -- cheque cuidadosamente este punto al final del -- trabajo de limpieza. El patrón de anclaje es -- una función principalmente del tipo de partícula (arena, perdigón, granalla metálica etc.), tamaño de partícula, velocidad de impacto de la partícula (la cual en los sistemas más comunes es -- controlada por la presión del fluido empleado para la operación) y la velocidad con que el operador realiza el trabajo.

El tamaño máximo de la partícula del abrasivo sea arena, perdigones, granalla de fierro, etc., debe ser elegido con mucho cuidado para evitar hacer -- las superficies demasiado rugosas sobre todo para sistemas de recubrimientos delgados, lo cual afectaría adversamente el comportamiento de los sistemas de pintura de capa múltiple. Un sistema de recubrimiento normal debe tener un espesor de película seca de varias milésimas por encima de los picos o cimas más pronunciadas del perfil de anclaje.

Cuando el espesor de película del sistema de recubrimiento no es adecuadamente controlado por el -- inspector de las operaciones de pintado, sino que el espesor de los sistemas de pintura multi-capa y de una sola capa es solamente controlado indirectamente como por ejemplo, por los requerimientos de rendimiento en m²/l, el espesor de película real sobre los picos o cimas del perfil de anclaje de -- una superficie limpiada por sopleteo puede ser --

"Peligrosamente Delgado" y por tanto la cantidad de pintura aplicada sobre la superficie debe ser incrementada o el tamaño de partícula del abrasivo reducido.

- La eficiencia de la operación de sopleteo. Este punto no es una responsabilidad directa del inspector, pero éste último debe vigilar que un patrón de anclaje y un grado de limpieza de superficie satisfactorios sean obtenidos de acuerdo a lo previamente establecido.

Sin embargo, la limpieza por sopleteo en el campo es una operación con la cual muchos contratistas no están completamente familiarizados por lo que, la supervisión de un inspector con mucha experiencia dirigida a mejorar la eficiencia de las operaciones de limpieza puede ser de gran utilidad para reducir la falta de eficiencia en las operaciones de sopleteo. Una operación poco eficiente puede deberse a muchos factores entre los cuales podemos mencionar como los más comunes a los siguientes: Empleo de una fuente insuficiente de aire comprimido, boquillas de tamaño inadecuado, etc.. Estos factores hacen que la eficiencia de una operación de limpieza disminuya hasta en un 75% de la que es conocido a ser posible con el mismo tamaño de cuadrilla empleada con un equipo más eficiente.

- Programación del trabajo de limpieza. Este aspecto es ya una costumbre en las operaciones de limpieza por sopleteo con abrasivos para prevenir todo daño posible a trabajos de pintura completos o parcialmente completos. El daño producido directamente por la corriente de sopleteo es lo suficientemente obvio aún para un observador sin experiencia. Sin embargo, una fuente más probable de daño es el polvo que flota desde la escena del sopleteo y se deposita por sí mismo en superficies recién pintadas y frescas las cuales pueden estar retiradas una cierta distancia. El polvo depositado es casi imposible de remover sin dañar la película de pintura, y si está presente en cantidad considerable puede afectar adversamente la adhesión entre capas y otros aspectos del comportamiento de la pintura.

La forma más adecuada para prevenir esta dificultad es mantener las operaciones de limpieza por sopleteo bastante lejos (en tiempo o espacio) de la operación de pintado de tal forma - que el polvo del ambiente no tenga contacto -- con películas de pintura húmedas. Un secado - de toda una noche de la mayoría de los tipos - de pintura es suficiente para eliminar este -- problema.

- Chequeo del equipo para sopleteo. El inspec-- tor de operaciones de limpieza por sopleteo de -- be checar periódicamente que la fuente de aire comprimido (de capacidad especificada suficien -- te) esté trabajando adecuadamente para propor -- cionar un gasto aproximado de 300 libras/pulg. 2 mfnimo, lo cual puede verificarse con un ma -- nómetro de aguja. Además deberá checar que el aire esté libre de aceite y agua para lo cual -- podrá recomendar el uso de trampas y separado -- res adecuados. Un trozo de trapo blanco lim -- pio hacia el cual se sopla el aire por un pe -- ríodo de tiempo corto puede ayudar a determi -- nar si el aire está transportando una cantidad -- excesiva de contaminantes.

El equipo de luidización, boquillas y manguer -- ras deben encontrarse en condiciones acepta -- bles, sin fugas o desgastes (boquillas) que pu -- diesen afectar la eficiencia de limpieza.

- Inspección del abrasivo a ser usado. Ha sido -- determinado prácticamente que para mejores re -- sultados en una operación de protección antico -- rrosiva por aislamiento del medio con pinturas -- la profundidad del perfil de anclaje deberá -- ser de aproximadamente el 20 - 30% del espesor -- total del sistema de pintura a ser aplicado, -- por lo que deberá verificarse que el abrasivo -- a ser usado sea el adecuado. En la actualidad -- en nuestro medio y considerando los sistemas -- más comunes por su aplicación se ha observado -- que la profundidad del anclaje para "los mejo -- res resultados" deberá encontrarse entre 1.0 - 2.8 milésimas, por lo que deberá verificarse -- que el abrasivo se encuentre clasificado entre 18 y 80 mallas para el caso de arena sílica -- (arena muy fina y mediana respectivamente) y -- entre 40 y 80 mallas para el caso de la grana -- lla de acero; para esta operación se requiere --

de un juego de mallas o cribas que comprenda los tamaños antes mencionados. Estos abrasivos deben estar libres de sales, aceite o grasa.

Para determinar si las superficies limpiadas por sopleteo con abrasivos están libres de películas de aceite o grasa, una inspección visual exhaustiva indicará si existe una contaminación pesada de las superficies pero, este método de inspección no puede ser aplicado para detectar películas delgadas y uniformes de aceite o grasa tal como puede resultar de superficies limpiadas con abrasivos contaminados con aceite o grasa. Una aproximación directa para determinar si las superficies sopleteadas están libres de películas aceitosas es aplicar el sistema de pintura propuesto sobre una pequeña área de la superficie que ha sido sopleteada de acuerdo al procedimiento establecido y checar previo secado la adhesión de la pintura al metal. Un estándar de comparación es preparado en la misma forma excepto que la superficie sopleteada se limpia perfectamente con solventes frescos antes de aplicar la primera capa de pintura. Esto nos permite determinar cualquier deficiencia relativa en adhesión.

Una forma más sencilla de determinar la presencia de películas aceitosas sobre una superficie metálica es demostrando el fenómeno usual de tensión superficial asociado con agua sobre superficies aceitosas. Una superficie metálica libre de aceite puede ser fácilmente humedecida con agua y permite se forme una película continua. Esta superficie está libre de "Water Break" (interferencias de continuidad de la película de agua), por lo que es mantenida una película continua de agua. Entonces, la habilidad de una superficie metálica de proporcionar una película de agua libre de interferencias de continuidad es una indicación positiva de la ausencia de contaminantes aceitosos.

Debe hacerse notar que aún una superficie metálica que ha sido perfectamente limpiada con solventes frescos y limpios por los métodos de campo o taller usualmente especificados, generalmente no aguantará la formación de una película continua de agua, ya que los mismos solventes pueden dejar sobre la superficie suficiente residuo HIDROFÓBICO como para evitar la formación de una -

película de agua libre de interferencias (break-free).

En la práctica, el inspector puede determinar si una superficie está siendo contaminada con grasa o aceite por el abrasivo que está siendo usado - basándose en un examen del mismo. Se coloca una pequeña cantidad del abrasivo dentro de un recipiente de vidrio limpio y se cubre con agua limpia; la presencia de contaminación por aceites - puede ser detectada por una película de aceite - flotando sobre el agua u observando que las partículas del abrasivo no son humectadas por el agua. Si el abrasivo presenta una pesada contaminación, ésta puede ser detectada por observación visual.

VI.4 "INSPECCION DE MEZCLADO Y APLICACION DE RECUBRIMIENTO."

Un manejo adecuado de la pintura entre la fecha en que se recibe del fabricante y su aplicación - no es más importante ahora que lo que pudo haber sido hace 50 años, pero ciertamente es más complicado debido a la gran variedad de recubrimientos que se han venido desarrollando para satisfacer las múltiples necesidades que aparecen día con día debido a problemas de corrosión.

Cuando un material es recibido normalmente se almacena en un lugar bien ordenado en donde se cuenta con equipo adecuado para manejar y uniformizar la pintura.

El almacenaje o depósito de pintura y materiales de pintura es actualmente un aspecto muy importante, ha sido estimado que esta operación de almacenaje representa aproximadamente el 10% del costo de los materiales. Si las cargas por almacenaje y manejo son referidas al precio de venta por unidad (un litro), un estimado razonable sería de aproximadamente el 20%.

En las operaciones de almacenaje la inspección - debe estar encaminada a proveer que los materiales son guardados en un sitio adecuado como lo puede ser un cuarto a temperatura ambiente protegido de las inclemencias del tiempo. El inspec-

tor deberá asegurarse también que los materiales son usados de acuerdo a su fecha de manufactura - (primero los más antiguos) y siguiendo las instrucciones proporcionadas por el fabricante.

Operación de mezclado. Una vez que el inspector está satisfecho de que la pintura a ser usada es aquella que fué especificada deberá observarla -- cuidadosamente para detectar cualquier anomalía - en el envase tal como formación excesiva de natas, gasificación, gelado, asentamiento excesivo, etc. En seguida, debe realizar un chequeo del material para determinar si cumple con las especificaciones y si existe cualquier duda sobre la calidad - del material deberá reportarlo inmediatamente para hacerlo del conocimiento del fabricante.

Cuando el inspector está convencido de que la calidad del material concuerda con lo especificado, - ordenará se proceda a su aplicación inmediata.

Para una aplicación apropiada una pintura debe -- ser una mezcla homogénea como lo fué cuando los procesos de manufactura fueron terminados. En - ese estado, la consistencia de la formulación es uniforme y los pigmentos están igualmente dispersados. Durante un almacenaje prolongado en bodegas o sobre anaqueles de tiendas, los pigmentos tienden a asentarse en el fondo de los recipientes y formar una masa dura mientras que la superficie - de la pintura fluída puede estar cubierta por una capa dura comúnmente conocida como nata.

Es muy importante que una pintura sea cuidadosamente re-mezclada antes de intentar su aplicación.

Todo el pigmento asentado debe ser dispersado y - cualquier nata sobre la superficie removida.

Para obtener los mejores resultados en las operaciones de mezclado el empleo de agitadores mecánicos es absolutamente necesario para pinturas pigmentadas envasadas en recipientes de una capacidad mayor a 20 litros, para envases de menor capacidad el empleo de los medios manuales de agitación resulta adecuado. El inspector debe inspeccionar personalmente los recipientes originales - para ver que todo el material asentado ha sido incorporado dentro de la pintura. En el caso de --

pastas y polvos adicionados a una pintura en el momento de su aplicación, deben ser cuidadosamente medidos y perfectamente pesados dentro de los materiales base. Una vez que la pintura ha sido perfectamente mezclada debe filtrarse para eliminar grumos, residuos pequeños de nata o cualquier material grueso.

El inspector de las operaciones de mezclado debe vigilar constantemente los mecanismos empleados para tales operaciones, ya que cualquier falla que afecte la operación de mezclado puede ocasionar fallas prematuras del sistema de pintura.

Operaciones de adelgazamiento. Al igual que el mezclado las operaciones de adelgazamiento de pinturas deben tener cierta prioridad en la lista de actividades de todo inspector de operaciones de pintura.

En algunas ocasiones es necesario disminuir la viscosidad de una pintura por adición de adelgazadores antes de llevar a cabo las operaciones de aplicación. Este ajuste en la consistencia del material debe hacerse bajo estricta supervisión empleando los adelgazadores especificados para el tipo particular de pintura y en las relaciones específicamente recomendadas.

Es conveniente hacer notar que casi invariablemente los pintores tienden a adelgazar la pintura más de lo necesario con el fin de obtener más fácil brocheo o pulverización más rápida. Este sobre-adelgazamiento tiende a producir películas delgadas de durabilidad disminuida que no deben ser permitidas.

Cuando una pintura se encuentra a temperaturas muy bajas su viscosidad está muy incrementada en relación a la viscosidad real, por lo que debe ser calentada antes de ser adelgazada para evitar el uso de cantidades anormales de adelgazador. En la práctica se ha determinado que usando medio litro de adelgazador por galón de pintura se obtienen buenos resultados. Esta relación varía para algunos materiales como las lacas de nitrocelulosa y vinílicas las cuales son suministradas a consistencias que requieren extensivo adelgazamiento para ser aplicadas.

El uso de adelgazadores equivocados, particularmente con algunos de los nuevos tipos de pinturas los cuales requieren solventes especiales puede tener efectos desastrosos. El inspector debe estar satisfecho y si es necesario checar en el laboratorio que el adelgazador que está siendo usado es de un grado y tipo compatible con la pintura que está siendo usada. Cualquier tendencia de un adelgazador a causar enchinamiento, precipitación u otras evidencias de no-homogeneidad deben conducir a una prohibición inmediata del uso de ese agente adelgazante. Además, la sustitución de los adelgazadores especificados por otros, no debe ser realizada sin consultar con los proveedores.

Los adelgazadores deben ser adicionados lentamente y con agitación constante. Cuando una cantidad grande de adelgazador es adicionada toda a la vez se origina una sobre-dilución local que usualmente resulta en enchinamiento de la pintura o floculación del pigmento. El resultado de este fenómeno es que la porción de la mezcla que se ha enchinado o floculado nunca es restaurada a su condición original.

Para facilitar las operaciones de adelgazamiento es necesario hacer notar que los solventes y adelgazadores tienen un poder solvente mucho mayor cuando la pintura y el agente reductor están calientes.

"INSPECCION DE LAS OPERACIONES DE APLICACION DE PINTURAS."

A fin de obtener resultados correctos, durante la etapa de preparación de materiales deberá verificarse que la homogeneización y acondicionamiento de las muestras se lleve a cabo en la forma adecuada. En el caso de los recubrimientos de 2 componentes éstos deberán mezclarse en la proporción indicada en la especificación correspondiente; para el ajuste de la viscosidad de aplicación deberán utilizarse solamente los adelgazadores recomendados, haciendo uso de una copa FORD No. 4 o bien de una espátula de viscosidad antes de vaciar el material ya preparado a los recipientes de aplicación deberá filtrarse para eliminar grumos, basura o cualquier otro tipo de partículas.

que puedan ocasionar problemas durante la aplicación. Nunca debe permitirse la aplicación de un recubrimiento cuando la temperatura del medio ambiente sea menor de 10°C, cuando la humedad relativa sea muy alta, cuando esté lloviendo, haya mucho polvo o cuando la superficie no se encuentre perfectamente seca.

A continuación se enuncian algunas particularidades que deben observarse para cada uno de los métodos de aplicación más comunes:

APLICACION CON BROCHA O RODILLOS. Para una aplicación adecuada de una pintura por brocha o rodillo debe tenerse como base las características de flujo de la formulación. El recubrimiento no debe fluir excesivamente, pero tampoco su flujo debe ser demasiado pequeño. Si fluye bastante libremente, no puede ser aplicada al metal una película suficientemente gruesa; si el flujo es bastante pesado, el recubrimiento retendrá las marcas de la brocha y no formará una película continua de espesor apropiado.

Si va a ser aplicada más de una capa de pintura, la primera debe ser extendida a nivel en una dirección; y cada capa subsecuente debe ser brochada en una dirección tal que forme un ángulo recto con la capa que le precede. Cada película de un sistema multicapa debe dejarse secar perfectamente al tacto antes de intentar aplicar la otra capa. Si la capa aplicada no está lo suficientemente seca, la brocha o el rodillo la rallará y la aplicación no será uniforme y lisa, en algunos casos la aplicación puede ser levantada o ablandada. Si el tiempo de secado entre capas es muy grande la superficie de la primera capa puede ser muy dura para permitir la adherencia de la capa siguiente; y será necesario adicionar solventes especiales al recubrimiento líquido para ablandar ligeramente la superficie dura. El tiempo correcto de secado entre capas variará con el tipo de vehículo y con la temperatura de la superficie metálica durante el secado; por ejemplo, a una pintura de aceite de linaza crudo puede ser necesario dejarla secar durante 72 horas, mientras que una pintura de cualquier resina sintética puede requerir solamente de 1 a 4 horas de secado antes de ser recubierta. Además, el tiempo de secado apropiado

do para cada tipo de pintura puede ser marcadamente más corto en verano que en invierno.

Para este tipo de aplicación las brochas y rodillos deben ser de la forma y tamaño adecuados al tipo de trabajo de tal forma que una vez aplicado el recubrimiento la superficie deberá estar uniforme, libre de escurrimientos, zurcos o huellas e irregularidades atribuibles a la aplicación.

Una atención particular debe darse a lo completo con que la pintura es trabajada en los ángulos y hendiduras formadas por las uniones de las placas en el ensamble. Similarmente los cordones de soldadura, remaches, tornillos y cualquier elemento de unión deben ser completamente inspeccionados para determinar que un espesor adecuado de pintura fué aplicado.

Según datos recopilados por la S.S.P.C. en los E.E.U.U. sobre pintado estructural en el campo, indican una velocidad de brocheo que va desde los 79 ft²/hr a los 183 ft²/hr. (7.35 a 17.02 m²/hr.) Para trabajos multicapa las velocidades son de 79, 99 y 119 ft²/hr. (9.21 y 11.07 m²/hr) para la primera, segunda y tercera capas respectivamente. Para aplicación en taller, la productividad total va desde 150 a 3000 ft²/hr (13.95 a 279.00 m²/hr).

"La viscosidad de aplicación para brocha y rodillo oscila entre 50 y 70 segundos medidos en copa FORD No. 4 a temperatura normal (25°C)".

APLICACION POR ASPERSION.

Una operación eficiente de aplicación por aspersión de una pintura es una función directa de la experiencia y habilidad del pintor. La persona que opera la pistola de aspersión debe determinar la distancia a la cual debe ser operada la pistola para aplicar una capa de pintura lo suficientemente gruesa y para garantizar la adecuada adhesión de cada capa subsecuente. Si la distancia de la pistola a la superficie es muy grande, una cantidad excesiva del solvente se evaporará antes que la pintura alcance el metal y la capa de pintura obtenida será polvosa y defectuosa en cuanto a la integridad de la película. Si la pistola es colocada bastante cerca a la superficie que está siendo recubierta, la película obtenida estará --

muy húmeda y con escurrimientos. Cuando en una superficie permanecen algunos contaminantes o donde hay un gran número de grietas, cabezas de remaches, cordones de soldadura, etc. la aplicación por aspersión debe ser complementada con la aplicación por brocha.

Un aspecto importante en la inspección de este tipo de operaciones es el de vigilar que el equipo a ser usado esté limpio y en perfectas condiciones de operación, verificando que los reguladores, válvulas y manómetros funcionen correctamente. Se debe verificar que la presión en los recipientes para aplicación sea del orden de 15-18 libras/pulgada² y la presión del aire medida un poco antes de la pistola de aplicación deberá ser del orden de 40 - 60 libras/pulgada². Este último punto debe ser tomado muy en cuenta ya que el empleo de altas presiones puede resultar en excesiva niebla o sobre-aspersión. Dependiendo del ancho del abanico que se desee usar y el gasto de recubrimiento en la pistola, es conveniente verificar que el conjunto BOQUILLA-TOBERA-AGUJA es el adecuado para evitar posibles dificultades durante la operación. cuando una operación de este tipo se lleva a cabo cuidadosamente el recubrimiento depositado sobre la superficie que está siendo recubierta deberá estar libre de escurrimientos, corrugamientos e irregularidades.

Se recomienda que durante la aplicación la pistola sea sostenida perpendicularmente a la superficie y que el flujo de pintura se suspenda al final de cada mano. La distancia entre la boquilla de aspersión y la superficie debe ser de 15 a 25-cm. y el hábito muy común de los pintores por aumentar la distancia de aspersión, no debe ser permitido.

Una serie de datos no publicados sobre velocidades de aplicación indican que existen solamente ligeras diferencias en la velocidad de aplicación de acuerdo a la posición de la superficie a ser recubierta esto es, si está situada en un plano horizontal o en un plano vertical (a una altura determinada); pero que existen grandes diferencias en la velocidad de aplicación de acuerdo al tipo de trabajo: superficies planas, tubería, en rejado, etc.

Según datos de la S.S.P.C. la productividad total de labor para los diferentes tipos de trabajo en las operaciones de aplicación por aspersión van de 300 a 600 pies²/hr. (27.9 a 55.8 m² hr.) en trabajo de taller. Para trabajo de campo la velocidad de rociamiento es de 108 a 183-pies²/hr (10.04 a 17.02 m²/hr) o de 4/15 a 1 -- 1/3 tons/hr. Para trabajos multicapa las velocidades son 108, 135 y 162 pies²/hr. (10.04 -- 12.55 y 15.07 m²/hr) para las capas primera y -- tercera respectivamente.

Una vez que el recubrimiento ha sido aplicado -- independientemente del método usado para dicha -- aplicación, la película de pintura debe ser sometida a un cuidadoso examen para verificar si -- cumple con las características establecidas su -- especificación. Antes de cualquier prueba el -- inspector debe verificar que el espesor de la -- película aplicada concuerda con el recomendado -- para el tipo particular de sistema. El espesor -- recomendado se refiere a película seca, el cual -- puede preverse aproximadamente a partir de una -- ecuación que lo relaciona con el espesor de pe -- lícula húmeda evitando así tener que esperar -- hasta que la película de recubrimiento esté com -- pletamente seca para medir su espesor con el -- instrumento correspondiente. Dicha ecuación es -- la siguiente:

$$\begin{array}{l} \text{Espesor de película} \\ \text{húmeda en milésimas} \\ \text{de pulgada} \end{array} = \begin{array}{l} \text{espesor de película} \\ \text{seca esperado en mi} \\ \text{lésimas de pulgada.} \end{array} \left[\begin{array}{c} - - - - - 100 - - - - - \\ 100 - (\% \text{ M.V.} + \% \\ \text{Dilución}) \end{array} \right]$$

donde: M.V. = Materia volátil.

- 2) El espesor de película húmeda puede ser determinado -- por medio de un instrumento del tipo Nordson como el -- que se muestra en la figura.

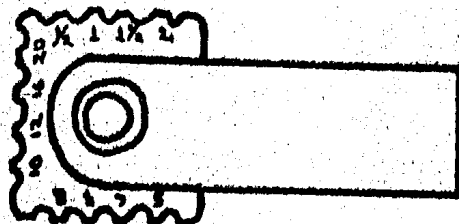


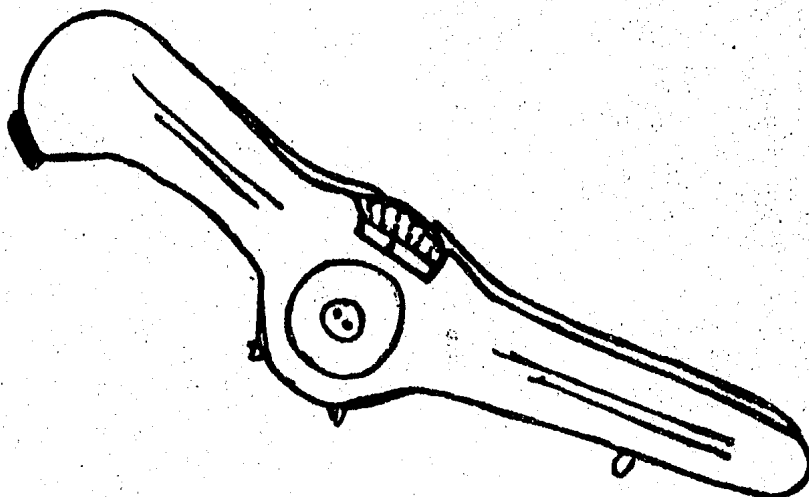
FIGURA (60)

VI.5 INSPECCION FINAL.

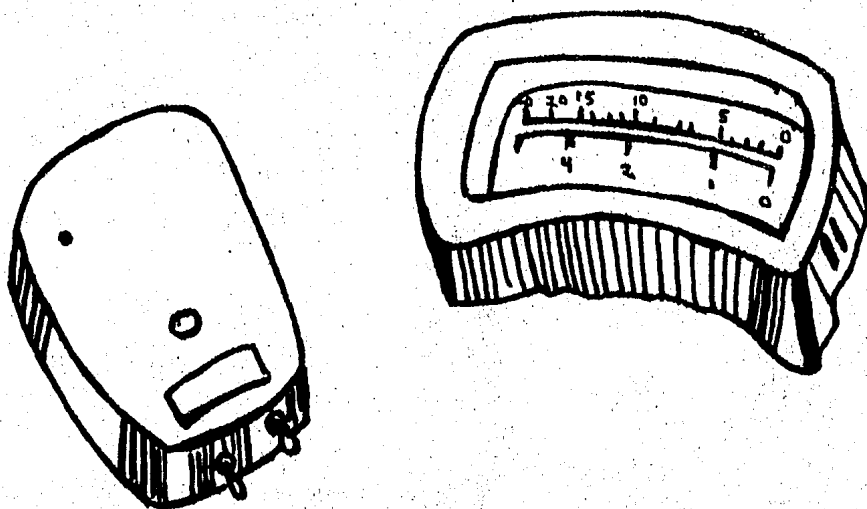
Una vez que el espesor de película seca ha sido verificado por el procedimiento anteriormente descrito se procede a checar las propiedades de la película aplicada. Esta supervisión posterior a la aplicación de un recubrimiento es muy importante y debe considerar las siguientes etapas:

- Tiempo de secado de la película. Una vez transcurrido el tiempo de secado indicado en la especificación correspondiente, la superficie recubierta deberá soportar la máxima presión del dedo pulgar sin presentar deformaciones, huellas, desprendimientos, sin detectarse reblandecimientos u olor a solventes. Para el caso de los inorgánicos de zinc, estos deberán estar curados, situación que podrá detectarse por su aspecto gris metálico uniforme. En sistemas de recubrimiento el tiempo de secado de una capa de pintura es extremadamente importante ya que mientras la película no esté completamente seca no puede ser aplicada la siguiente y esta pérdida de tiempo se traduce en grandes pérdidas económicas para el contratista y también para el cliente.
- Apariencia de la película aplicada. La superficie deberá lucir uniforme, libre de grumos, corrugamientos o deformaciones. La observación visual con o sin la ayuda de instrumentos amplificadores de imagen es el único medio con que se cuenta para esta evaluación.
- Espesor de película seca. El espesor del recubrimiento indicado en la especificación correspondiente debe verificarse una vez que la película ha secado completamente. Dicha verificación puede hacerse con ayuda de medidores de película seca entre los cuales los más comunes son el Mikro-Test y el Elcómetro, los cuales se muestran en la figura.(61).

FIGURA (61)



Mikrotest



Elcómetro

La protección eficiente de una superficie metálica solamente puede ser lograda si la película de pintura puede servir como una barrera entre el metal y el ambiente a que está expuesto el primero. Para hacer esto, la pintura debe cubrir al metal completa y enteramente durante todo el tiempo de la vida de servicio del recubrimiento.

El espesor de la película de pintura a ser aplicada depende de varios factores, entre los cuales podemos mencionar como los más importantes a los siguientes: ambiente de exposición, vida de servicio deseada, rugosidad de la superficie metálica y el costo de reemplazamiento o reparación de la estructura. El espesor óptimo de una pintura para una aplicación dada debe ser determinado mediante exposición de muestras de prueba o por los resultados de experiencia práctica previa. Para condiciones muy ligeramente corrosivas la pintura debe aplicarse a cuando menos 3 milésimas de espesor. Para protección bajo condiciones industriales promedio el espesor mínimo es de 5 milésimas. Para resistir el ambiente extremadamente corrosivo el espesor mínimo de la película de recubrimiento debe excederlas 10 milésimas.

La medida de los espesores de una película de recubrimiento puede ser llevada a cabo rápidamente por medio de cualquiera de los muchos tipos de medidores disponibles comercialmente; por lo que un instrumento para este propósito es una parte esencial del equipo de un capataz o inspector de operaciones de pintura.

Las medidas de los espesores deben tomarse al azar sobre toda la superficie recubierta y por ningún motivo deben aceptarse desviaciones superiores al 5% de los valores mínimos y máximos especificados.

Se debe tener cuidado de nunca permitir espesores demasiado superiores a los indicados para cada mano o capa de recubrimiento ya que se tendrían problemas en la eliminación de los solventes que intervienen en las formulaciones, los cuales tienden a dar superficies porosas con baja eficiencia de protección contra la corrosión.

Cuando se tiene un sistema de recubrimiento totalmente aplicado sobre una superficie y se desea saber el espesor de cada una de las capas que lo constituyen (primario, enlace y acabado) se encuentran disponibles aparatos del tipo Micro-Metrics los cuales miden el espesor de cada una de las capas a partir de una incisión de 45° sobre el recubrimiento.

- Adherencia. Esta característica se refiere a la capacidad que tienen los recubrimientos para adherirse y permanecer sobre las superficies una vez que han sido aplicados. Como ya fue anotado anteriormente la adherencia total de un recubrimiento está constituida por dos partes: una mecánica, la cual está basada en el perfil de anclaje del sustrato y una físico-química representada por las atracciones electrostáticas entre la película de recubrimiento y la superficie.

El procedimiento más común y efectivo para determinar la adherencia de un recubrimiento consiste en cuadricular (reticular) la superficie de recubrimiento en varios puntos al azar del área protegida con la ayuda de un peine de ranuras procurando llegar con las incisiones hasta el sustrato metálico. Posteriormente, con cinta adhesiva del tipo masking-tape se cubre el cuadrículado procurando un íntimo contacto entre la cinta y el recubrimiento, enseguida se desprende súbitamente la cinta y se observa en ésta y en la superficie cuadrículada la cantidad de material removido. Conocida la cantidad de material removido se determina el área que ocupaba en el cuadrículado y si el área removida es mayor del 5% se considera que el material NO pasa la prueba.

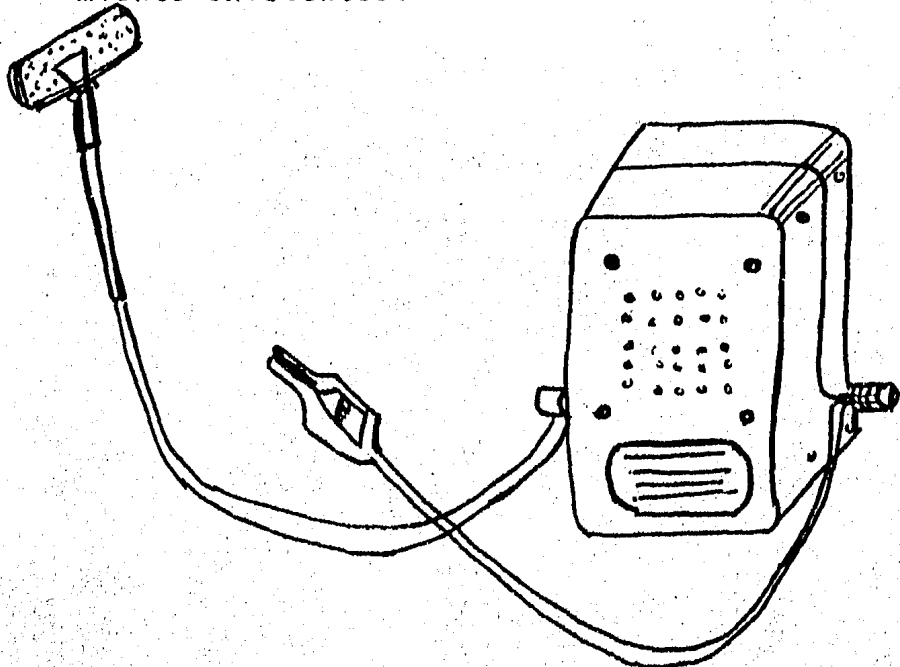
- Continuidad de película. Considerando que una mayor continuidad o ausencia de poros en una película de recubrimiento representa una barrera más eficiente contra los agentes de la corrosión es conveniente verificar esta característica con ayuda de ciertos equipos especiales. Los equipos usuales son del tipo Tinker and Rasar modelo M-1. Esta característica de las películas de recubrimiento se determina aplicando una diferencia de potencial (de volts) entre el sustrato metálico y la superficie de recubrimiento

dado que este último es un material dieléctrico, únicamente pasará corriente cuando existan poros fallas y discontinuidades en el mismo. Si cualquiera de estas fallas es detectada deberá resanarse con más recubrimiento, siguiendo todo el proceso de preparación de superficie y aplicación.

VI.6 INSPECCION A LARGO PLAZO.

Este aspecto de la supervisión es muy importante pero desgraciadamente no es ejercido con mucha frecuencia en nuestro medio, salvo por algunas compañías y contratistas que dan a esta parte de la supervisión la importancia necesaria que nos permite conocer perfectamente el comportamiento de los recubrimientos ante los efectos de los agentes de la corrosión para un período determinado de exposición.

Las operaciones de inspección a largo plazo tienen como finalidad establecer un control estadístico de los sistemas de recubrimiento, para lo cual es conveniente que con una periodicidad de un mes se inspeccionen las áreas recubiertas en lo que se refiere a posibles efectos de corrosión, pérdida de adherencia, ampollamiento, caqueo y comportamiento en general. Esta información será de mucho valor tanto para la selección de sistemas en casos nuevos, como para la modificación y optimización de los sistemas de recubrimiento existentes.



VII. CONCLUSIONES

Después de un análisis severo sobre la problemática en materia de corrosión en México y de lo expuesto en este trabajo se obtuvieron las siguientes: CONCLUSIONES.

- A. La ingeniería de corrosión ha logrado despertar un gran interés en los últimos años, lo que se demuestra con la creación en algunas instituciones educativas como nuestra Universidad Nacional Autónoma de México, de una especialidad donde el estudio de la corrosión es parte medular. También algunas industrias están dedicando parte de su presupuesto a la capacitación de personal en el estudio de los problemas de corrosión. Aunque resulta una verdadera lástima, no contar con un organismo privado o institucional especialmente dedicado a computarizar los avances, problemas y todo lo relacionado con esta área.
- B. Como se mencionó en el inciso anterior, a nivel gubernamental NO EXISTEN regulaciones o normas que indiquen que papel desempeña el gobierno federal para combatir el problema de la corrosión; a diferencia de otros países donde se tienen -- uno o más organismos dedicados en tiempo completo a estudiar todo lo referente a este fenómeno.
- C. La República Mexicana, debido a su descontrolado crecimiento demográfico e industrial y sobre todo a una pésima planeación en sus asentamientos ha originado que existan zonas denominadas críticas en donde se presentan los casos por -- problemas de corrosión más variados. Desgraciadamente y al no contar con una directriz ni institucional ni privada, nadie toma conciencia -- real de lo que el problema de la corrosión representa. Esta falta de conocimiento hace que cada quien trate de resolver sus problemas de -- corrosión como lo cree más conveniente abrazando así prácticas en las que el factor económico es determinante sin considerar si esa práctica es la adecuada.
- D. En la actualidad, existen empresas serias capaces de orientarnos adecuadamente en la práctica de la protección anticorrosiva, pero por la casi nula información a este respecto muy pocas -- veces son consultadas.

- E. En conclusión, NO HAY EDUCACION ANTICORROSIVA - EN MEXICO, y sólo algunas de las grandes compañías se preocupan por proteger sus instalaciones en base a un adecuado programa de mantenimiento pero, desgraciadamente dichas compañías prefieren consultar técnicos extranjeros y no dan oportunidad a los técnicos mexicanos aún -- cuando su nivel de preparación es igual y en -- ocasiones superior al de los extranjeros, gracias a su conocimiento del medio.
- F. Este trabajo se realizó conociendo toda la problemática que en materia de protección anticorrosiva tenemos en México y su finalidad es la de proporcionar una guía que pueda ser usada -- por cualquier gente, ya que se exponen en un -- lenguaje sencillo las diferentes técnicas de -- que el hombre se vale para controlar el fenómeno de la corrosión y se espera despertar interés en quien tenga oportunidad de revisarlo, sobre todo en los compañeros estudiantes y profesionistas.
- G. Este manual-guía es el resultado de una serie -- de investigaciones teórico-prácticas y de experimentos de campo que han permitido obtener datos reales de un gran valor en la aplicación de las diferentes técnicas de protección anticorrosiva y principalmente del uso de barreras o recubrimientos líquidos.
- H. La corrosión debe considerarse como un fenómeno físico-químico complejo y no como un simple fenómeno químico de oxidación. Es un fenómeno -- que no es exclusivo de los metales, sino que todos los materiales sufren sus efectos.
- I. Los métodos actuales para el control de la corrosión forman parte de un todo, ya que se complementan entre ellos para mejorar la eficiencia y nunca uno de ellos puede substituir completamente a otro.
- J. La protección anticorrosiva por medio de recubrimientos líquidos sobresale de entre los otros métodos por su versatilidad y facilidad de aplicación. Es una práctica común ya sea como método único o reforzando a cualesquiera de los otros métodos.
- K. En una operación de protección anticorrosiva --

con recubrimientos líquidos la limpieza y preparación de la superficie resultan la parte más importante. En ellos recae aproximadamente el 80% del éxito de la operación.

- L. El método de preparación de superficie depende del tipo de recubrimiento a ser aplicado, de la agresividad del medio y en forma secundaria de las facilidades que se tengan en el lugar de la operación.
- LL. Todos los métodos de limpieza de superficie son importantes y cada uno tiene una aplicación específica. De entre todos ellos sobresale la limpieza con chorro de abrasivo por su rapidez y mejores acabados.
- M. Una superficie preparada con chorro de abrasivo a cualesquiera de sus acabados (metal blanco, metal casi-blanco y comercial), proporciona una mejor base para los recubrimientos que una superficie preparada por cualesquiera de los otros métodos.
- N. En la preparación de superficie con chorro de abrasivo deben considerarse las siguientes tres variables:
1. El volumen y presión de aire.- Se debe contar con un compresor de tamaño adecuado y en buenas condiciones, capaz de impulsar las partículas de abrasivo a gran velocidad y en buen volumen.
 2. Tipo de abrasivo.- Debe ser cuidadosamente seleccionado en tamaño y composición para obtener un perfil de anclaje adecuado al sistema de recubrimiento en el menor tiempo posible. La composición de la partícula abrasiva nos permite predecir su velocidad de desintegración, la velocidad de limpieza y la calidad del acabado.

3. Dimensiones de la boquilla para el sopleteo

La sección del tamaño de orificio de la boquilla es muy importante para asegurar una óptima presión de salida del abrasivo. El diámetro del orificio es directamente proporcional a la capacidad del compresor.

- O. En superficies con grandes acumulaciones de grasa, una limpieza química con solventes debe anteceder a cualesquiera otro tipo de limpieza -- con el fin de evitar se extienda la contaminación a otras áreas.
- P. La limpieza manual debe estar enfocada y se emplea con buen éxito en áreas pequeñas, áreas poco accesibles y donde otro tipo de limpieza más rápido no pueda ser usado, como es el caso de lugares donde se tienen instrumentos que pueden ser donados fácilmente.
- Q. El método de limpieza química más usual es el de inmersión en soluciones ácidas o alcalinas y sólo se aplica con éxito para superficies pequeñas debido a la necesidad de construir grandes y costosos recipientes.
- R. La aplicación de un recubrimiento líquido debe llevarse a cabo con el método y bajo las condiciones adecuadas. Los métodos que se usan en campo son el de brocha y el de aspersión con y sin aire; todos los otros métodos se usan bajo techo y generalmente para áreas pequeñas.
- S. La aplicación con brocha es muy útil para áreas pequeñas, retoques, en superficies muy delgadas como soleras, ángulos, etc. y en lugares donde los inconvenientes de un sistema de aplicación más rápido y efectivo no permitan su uso.
- T. La aplicación por aspersión con y sin aire se considera un método de alto rendimiento por los grandes avances que se logran en períodos de -- tiempo muy cortos.
- U. Durante la aplicación de un recubrimiento, es necesario vigilar muy estrechamente su mezclado

y adelgazamiento. Evitar el uso de adelgazadores que no hayan sido recomendados por el fabricante del producto a usar, así como un adelgazamiento excesivo que pueda provocar problemas de floculación de los pigmentos y dificultad de aplicación.

- V. Se recomienda cuidar el tiempo de vida útil de los recubrimientos seleccionados, desechando aquellos que no fueron usados dentro de este período y nunca preparar algún producto para su aplicación sin antes asegurarse que el equipo esté listo para ser usado y que la superficie esté debidamente preparada.
- W. Cualesquiera de los métodos de aplicación de recubrimientos líquidos requiere de una adecuada selección de su equipo. Desde el más sencillo que es la aplicación con brocha, obedece ciertas reglas en la selección del tipo y tamaño de la misma. En el caso de la aplicación por aspersión con aire que es el método más común, se debe tener cuidado al seleccionar los tamaños de orificio en boquillas y toberas en base al tipo de recubrimiento a ser aplicado.
- X. Cada método de aplicación posee una técnica definida en base a la cual se obtienen los mejores resultados.
- Y. Para la aplicación de cualesquiera tipo de recubrimiento líquido es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:
1. No aplicar bajo, ni con amenaza de lluvia.
 2. No aplicar bajo condiciones de vientos fuertes y polvaderas.
 3. No aplicar sobre superficies húmedas, sucias o mal preparadas.
 4. No aplicar cuando la temperatura de la superficie esté por debajo de los 9°C o por encima de los 52°C.
 5. No aplicar cuando la temperatura de la superficie no esté cuando menos 2.5°C por encima de la temperatura de rocío (temperatura a la cual la humedad condensa sobre la superficie) y que esta temperatura permanezca durante el curado del recubrimiento. Esto nos permitirá asegurar la ausencia de humedad sobre la superficie debida a condensaciones.

- Z. En toda operación de protección anticorrosiva - con recubrimientos líquidos la inspección juega un papel definitivo. Es necesario que sea constante y que abarque con la mayor amplitud todas las variables involucradas; desde la recepción y almacenamiento de los materiales hasta los chequeos periódicos al producto ya aplicado.
- A'. De todas las variables que se involucran en las operaciones de inspección sobresale el cuidado que debe tenerse en la preparación y limpieza de las superficies.
- B'. Todo recubrimiento debe ser checado ampliamente antes, durante y después de su aplicación y se debe estar seguro que cumple con las características especificadas para cada una de las etapas.
- C'. La inspección a largo plazo es una técnica que nos permite conocer el comportamiento de un sistema de recubrimiento frente a un medio corrosivo determinado. En base a ella se puede obtener información muy valiosa que nos ayuda a mejorar los mecanismos defensivos de los recubrimientos. La inspección a largo plazo es sin lugar a dudas el punto de partida para la investigación en la actual ciencia de los recubrimientos líquidos.
- D'. La elaboración de este trabajo no hubiera sido posible sin la valiosa colaboración de los Señores Ingenieros Manuel Felipe Guerrero, y Ernesto Pérez Santana y de mis hermanos Francisco y Margarita a quienes agradezco sinceramente su amistad y afecto.

VIII.- BIBLIOGRAFIA

1. Herbert H. Uhlig
"Corrosion and corrosion control"
2a. Edición
John Wiley and Sons inc. U.S.A. 1971.
2. D. Stewart, D.S. Tulloch
"Principles of corrosion and protection"
Mc. Millan, 1968.
3. Scully, J.C.
"The Fundamentals of Corrosion"
Mc Millan, 1976.
4. A.W. Peabody
"Control of pipeline corrosion"
National Association of Corrosion Engineers
Houston, Texas 1967.
5. I.L. Rozenfeld
"Corrosion Inhibitors"
Mc Graw-Hill Inc. 1981.
6. Ing. Enrique Villareal Domínguez
"Elementos de Electroquímica Formativa"
México, 1970.
7. Copon Corrosion Control Coatings
Reliance Universal Inc.
Houston Texas, 1983.
8. Marine Engineered Coatings Systems Manual
Mobil Chem., Edison N.Y. 1977.
9. Introducción a la Protección Anticorrosiva de -
Equipos e Instalaciones a base de Recubrimientos
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO.
10. Mobil Chemical Protective Coatings Manual
Edison N.Y., 1978.
11. Manual For the Engineer, Corrosion Resistant- -
Carboline Protective Coatings St. Louis Mo. 1973.

12. Requisitos de Calidad de Recubrimientos para-Protección Anticorrosiva PETRÓLEOS MEXICANOS.
13. Especificaciones Generales de Recubrimientos-Anticorrosivos
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD
México, D.F., Junio 1982.
14. Manual de Aplicación de Recubrimientos Anticorrosivos por Aspersión
The Devilbiss Company, Toledo Ohio, 1981.
15. Raymond E. Kirk and Donald F. Othmer
"Encyclopedia of Chemical Technology"
Vol. 4, 7, 11
The Interscience Encyclopedia Inc., N.Y.
16. Payne W.
"Organic Coatings Technology"
Vol. 1 y 2
John Wiley and Sons Inc.
17. Gaynes, I. Norman
"Formulation of Organic Coatings"
Mc. Graw-Hill Inc.
18. Weaver. E. Paul
"Industrial Maintenance Painting"
John Wiley and Sons Inc. 1976.
19. Materns, Charles
"Technology of Paints, Varnishes and Lacquers"
John Wiley and Sons Inc.
20. Miller, P. Emery - Taft, D. David
"Fundamentals of Powder Coatings"
General Electric Co. 1972.
21. Federation Series on Coatings Technology
Federation of Societies for Paint Technology
Philadelphia, Penn. 1969.

22. Alberto Blanco Matas y Luis Yves Villegas
"Tecnología de Pinturas y Recubrimientos Orgánicos"
Vol. 1 y 2, 1a. Edición
Editorial Química S.A., México D.F.
23. Temple C. Patton
"Pigment Handbook"
Vol. 2
John Wiley and Sons Inc. 1973.
24. Manfred Hess
"Paint film defects their causes and cure"
Chapman and Hall LTD, London.
25. Plastics Engineering Handbook of the Society
of the Plastics Industry Inc.
3a. Edición.