

24/11



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO

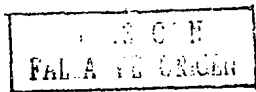
FACULTAD DE QUIMICA

TRABAJO ESCRITO

EL FOSFATADO COMO
PROTECCION ANTICORROSIVA
EN MATERIALES METALICOS

SALVADOR LOPEZ LOPEZ

INGENIERO QUIMICO METALURGICO



MEXICO. D. F.

1989



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.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I	
EL FENOMENO DE LA CORROSION	5
CAPITULO II	
CONSIDERACIONES ACERCA DE LA PROTECCION EN MATERIALES- METALICOS	11
CAPITULO III	
ASPECTOS GENERALES DE LA CORROSION Y LA PROTECCION AN- TICORROSIVA	17
III.1 Corrosión. La Corrosión como una Reacción Qui- mica en la Interfase Metal-Medio Ambiente	17
III.2 La Protección Anticorrosiva	29
CAPITULO IV	
FOSFATADO	50
IV.1 Tratamientos de Conversión Química	50
IV.2 Capas de Fosfato	52
IV.3 Mecanismo de Formación de la Capa de Fosfato ..	56
IV.4 Aceleradores de Procesos	62
IV.5 Parámetros de Operación	66
IV.6 Usos	72

	Pág.
IV.7 Procesos Comerciales	77
CAPITULO V	
CONCLUSIONES	82
CAPITULO VI	
BIBLIOGRAFIA	85

INTRODUCCION

Por más de un siglo, los progresos en la ingeniería han sido controlados ampliamente por el desarrollo de los materiales en general.

El apremio tanto de la escasez de materiales, como de la escalada de los costos, ha marcado un aumento determinante en la preocupación entre diseñadores, especialistas en materiales e ingenieros por la investigación de métodos efectivos para controlar su uso, y asimismo el fenómeno de la corrosión metálica.

Debido a esto la tecnología moderna ha puesto a disposición una amplia gama de materiales de construcción (metales y aleaciones, plásticos, caucho, cerámicas, madera, compuestos, etc.) y la selección del material apropiado para el uso en particular para el que se diseñó, es la responsabilidad más importante de los profesionales ligados a esta área. No existen reglas generales que gobiernen la elección de un material en especial para una finalidad específica, y una decisión lógica y correcta, deberá considerar las propiedades más relevantes (facilidad de fabricación, disponibilidad de materiales, bajo costo relativo, etc.) de una gran variedad de mate-

riales; frecuentemente la última decisión se determina en función de los factores de disponibilidad y económicos, así como por sus propiedades mecánicas. Idealmente, la selección del material deberá ser la más económica posible y además, que contenga las propiedades adecuadas para cubrir la función especificada. Ver figura 1.

Cuando los metales son utilizados en los productos o materiales de proceso, las propiedades mecánicas, físicas y químicas de los mismos, deberán de tenerse muy en cuenta; asimismo no debe considerarse que mientras las propiedades mecánicas y físicas pueden ser expresadas en términos de constantes, las propiedades químicas de un material determinado son dependientes enteramente de las condiciones precisas del medio ambiente que prevalece durante el servicio. La importancia relativa de las propiedades mecánicas, físicas y químicas dependerá en cualquier caso dado, de la aplicación del material metálico.

Así, la interacción de un metal o aleación (o un material no metálico) con su medio ambiente será de gran importancia en el desempeño de materiales de construcción, proceso, etc.

El estado metálico no es común en la naturaleza. Muchos metales al ser expuestos al medio ambiente reaccionan con éste formando productos de oxidación, típicos de los minerales-

de los cuales, originalmente éstos fueron extraídos.

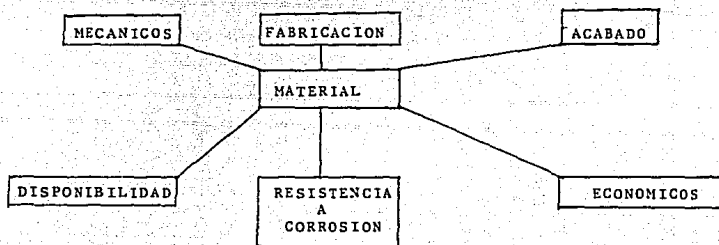
Así, desde la revolución industrial, y particularmente en décadas recientes, el avance de la tecnología ha requerido el uso de grandes cantidades de hierro y de otros metales y aleaciones, en condiciones de trabajo bastante severas y medios ambientes muy agresivos. Debido a lo anterior surge la necesidad de controlar la corrosión para asegurar la mayor eficiencia en el uso de recursos metálicos.

Por otra parte, los tratamientos de conversión son aplicados en general, para prevenir las reacciones con el medio ambiente y el metal y por lo regular para proporcionar una alta resistencia contra la corrosión. El problema principal con aberturas o grietas en la capa, es que la corrosión tiende a producirse bajo la película formada, la cual podría verse levantada si el producto de corrosión es voluminoso. Una amplia variedad de capas inorgánicas se encuentra disponible, desde la capa de óxido anodizado hasta el método más popular para proporcionar protección temporal y económica para el acero, por medio de la aplicación de capas de fosfato, de soluciones basadas en ácido fosfórico y fosfatos de metales como el hierro, el zinc y el manganeso.

Por último, mencionaremos que los tratamientos de acero basados en soluciones de cromatos aparentemente combinan la formación de una capa bastante gruesa de óxidos crómicos con-

la ventaja de que la solución de cromato absorbida en la capa puede actuar como un pasivador en cualquiera de las áreas expuestas del acero.

Figura 1. Factores que afectan la Selección de Materiales



(I) EL FENOMENO DE LA CORROSION

La corrosión metálica es considerada como el desgaste su superficial que se presenta cuando los metales son expuestos a un medio reactivo. Los compuestos químicos que constituyen los productos de tal desgaste están íntimamente ligados con los de rocas de minerales del metal en cuestión, que encontramos en la corteza terrestre. En otras palabras, las reacciones de corrosión provocan que los metales se reviertan a sus minerales originales, como se mencionó anteriormente.

La tendencia a presentarse de este fenómeno se mide termodinámicamente por el incremento de energía libre que se desprende o libera durante la reacción. La termodinámica, sin embargo, no nos dice nada acerca de la velocidad de este fenómeno. Así, el estudio de la corrosión deberá realizarse considerando que las reacciones entre un metal y su medio son -- termodinámicamente posibles y, considerando además, los factores que pudieran influenciar en la velocidad de la reacción (velocidad de corrosión).

La corrosión se presenta cuando el metal reacciona químicamente o electroquímicamente con el medio en que se encuentra. Los compuestos químicos que se forman, los cuales son llamados productos de corrosión, pueden ser óxidos o sales; la natura-

leza de estos productos presenta siempre una influencia considerable en el curso de la reacción, y además determinan si una protección suplementaria es o no requerida.

El hierro es uno de los metales más utilizados por el hombre, desafortunadamente cuando éste reacciona con el medio ambiente, forma una capa de óxido la cual es a menudo poco protectora. Debido a esto, surge la necesidad de recurrir a los métodos de protección, tales como protección anódica, protección catódica, recubrimientos orgánicos, recubrimientos inorgánicos, etc.

La corrosión metálica representa enormes pérdidas anuales. Ha sido estimado que tan sólo en los Estados Unidos Americanos el costo directo de corrosión es de varios billones de dólares. Este dato incluye los costos de medidas preventivas, tales como el costo de materiales, aplicación de pinturas o recubrimientos, y el costo adicional de materiales resistentes a la corrosión, tales como el costo de reemplazo de equipo corroído. En adición a los costos directos tendremos los cargos indirectos relacionados a las pérdidas de producción, debida a la contaminación por productos de corrosión o bien, durante los paros para reparación, y asimismo por las pérdidas por daños en las tuberías subterráneas de gas, agua y aceite. Los costos de corrosión no son confinados únicamente a la industria. Los costos domésticos incluyen el reemplazo de miles de calentadores de agua corroídos anualmente, ade

más de la corrosión prematura de carrocerías de automóviles - en ambientes marinos, etc.

En adición a los incentivos económicos y funcionales para el control de la corrosión, se tiene la responsabilidad para con la sociedad por el uso eficiente de los recursos naturales mundiales. A pesar de las medidas tomadas para el control de la corrosión, una gran proporción de metales (especialmente el hierro) producidos en el presente siglo han sido revertidos, por procesos de corrosión, a los compuestos típicos de los cuales el metal es obtenido por metalurgia extractiva. Esta irreparable disipación de recursos naturales por medio de la corrosión es debida a ignorancia, falta de cuidado o a la carencia de voluntad para asumir el costo de prevención de la corrosión.

Es relevante observar que los detalles del mecanismo de corrosión deben de involucrar una consideración muy importante relacionada con la estructura atómica de los metales y - - aleaciones. A continuación se mencionan algunas heterogeneidades asociadas a un metal:

a) Heterogeneidad atómicas:

- Defectos puntuales en capa superficial (vacancias, átomos absorbidos, etc.
- "Sitios" en orillas o capas parcialmente completas.

- Átomos desordenados en los puntos de salida de dislocaciones en la superficie del metal.

b) Heterogeneidades microscópicas:

- Bordes de grano (usualmente más reactivos que el interior del grano).
- Fases metálicas (metales puros, soluciones sólidas, -- componentes intermetálicos, metales compuestos, impurezas, etc.).

c) Heterogeneidades macroscópicas:

- Bordes de grano.
- Discontinuidad en la superficie metálica. (Orillas recortadas, rayaduras, discontinuidad en películas de óxido u otras películas químicas o en capas metálicas o no metálicas aplicadas).
- Pares bimetálicos de metales no similares.
- Factores geométricos (diseños generales, grietas, contacto con materiales no-metálicos, etc.).

Además de los puntos mencionados anteriormente, debemos recordar que la composición, el estado físico y las condiciones de la superficie del metal, así como los componentes químicos del medio circundante (sus fases y concentración) determinan la naturaleza de las reacciones de corrosión. Otras variables importantes que determinan los procesos de corrosión-

son la temperatura, movimiento o circulación del medio en contacto con la superficie metálica y, como se mencionó anteriormente, la naturaleza de los productos de corrosión.

Existen muchas y muy variadas definiciones acerca de la corrosión, a continuación mencionaremos algunas de las más generales.

En el caso de los materiales no-metálicos, el término "corrosión" invariablemente se refiere a su deterioración por causas químicas, pero un concepto similar no es necesariamente aplicable a los metales. Muchas autoridades en la materia consideran que el término "corrosión metálica" comprende todas las interacciones de un metal o aleación con su medio ambiente sin considerar si éstas son deliberadas y benéficas o son no esperadas y perjudiciales. De esta manera, la definición de corrosión mencionada anteriormente, es por conveniencia referida como una transformación. Como por ejemplo, la deliberada disolución anódica de zinc en la protección catódica.

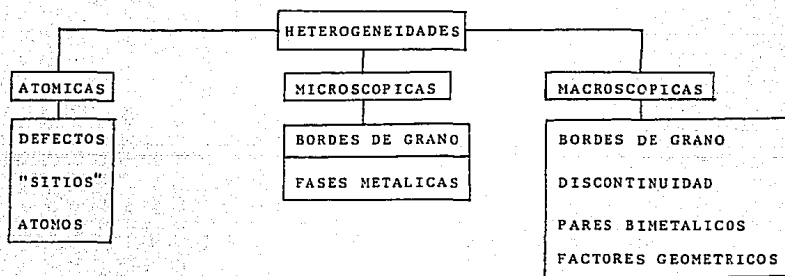
Por otro lado, la corrosión puede ser definida como la "deterioración no deseable" de un metal o aleación. Por ejemplo, una interacción de metal con su medio ambiente que afecta adversamente las propiedades del material metálico. Esta definición (la cual podría ser referida como una definición de deterioración) es también aplicable a materiales no-metálicos.

cos tales como: vidrios, concretos, etc., y expresa el concepto de que la corrosión es siempre perjudicial.

Estas consideraciones nos llevan a la conclusión de que son probablemente necesarias dos definiciones de corrosión, - las cuales dependen de la aproximación adoptada:

- 1.) Definición del término "corrosión" en el contexto - de ciencia de corrosión: La reacción de un sólido - con su medio ambiente.
- 2.) Definición del término "corrosión" en el contexto - de ingeniería de corrosión: La reacción de un material metálico de ingeniería con su medio, con una - consecuente deterioración en sus propiedades.

Figura 2. Heterogeneidades Asociadas con los Metales



(II) CONSIDERACIONES ACERCA DE LA PROTECCION EN MATERIALES METALICOS

El control de la corrosión se basa en la prevención de la reacción entre una superficie metálica y su medio ambiente. La aproximación general para lograr este objetivo se lleva a cabo a través del control del medio, de la naturaleza del metal y/o de la superficie entre los dos.

Cuando el control del medio es factible, puede ser posible eliminar o minimizar uno o más de los factores de corrosión tales como: el oxígeno, humedad, polvo, gases sulfurosos, etc. Algunos ejemplos comunes son la deaireación del agua para calentadores y sistemas cerrados de agua, la reducción de la contaminación atmosférica por medio de aparatos acondicionadores de aire, etc. Las medidas de este tipo son altamente benéficas en la extensión de la vida útil de uso en materiales y productos metálicos.

Regularmente, el riesgo de corrosión en equipos industriales puede reducirse con un diseño cuidadoso. Por ejemplo, evitando la formación de pares galvánicos, los cuales tienden a incrementar la velocidad de corrosión. Otros importantes diseños que mejoran el control de la corrosión son las selecciones cuidadosas de los tipos y composiciones de aleacio-

nes que optimizen la economía del proyecto y la resistencia a la corrosión.

Los métodos adicionales para el control de la corrosión buscan la interposición de una capa o película protectora entre el metal y su medio circundante. Estas capas protectoras pueden ser formadas de una manera natural o sintéticamente, o por ambos métodos.

Las capas protectoras naturales son, en realidad, productos de corrosión iniciales que en primera instancia son altamente insolubles y en segundo término son formadas en íntimo contacto con el metal, obteniéndose con esto una extensión continua del mismo sobre la superficie metálica.

La pasividad que exhiben ciertos metales, por ejemplo: cromo, níquel y aceros inoxidables bajo condiciones satisfactorias, es debida a una película protectora en su superficie, por lo regular de espesores monomoleculares. Estas circunstancias se utilizan como un medio de control de corrosión a través de uso de aleaciones que contengan constituyentes capaces de conferir pasividad enteramente a la superficie. Así, el cromo y el níquel en el acero inoxidable son capaces de mantener al acero inoxidable en un estado pasivo en variados medios corrosivos.

La pasividad por lo regular, puede ser inducida por la adición de un agente pasivante al medio. Otros medios de con

control del ambiente involucran el uso de inhibidores no-pasivantes (normalmente orgánicos en su naturaleza) que funcionan -- usualmente por la formación de una película protectora adsorbida sobre la superficie metálica.

En contraste con las capas formadas de manera natural, -- estas últimas pueden formarse artificialmente. Los recubrimientos protectores sintéticos tienen una amplia variedad de naturaleza y aplicaciones. Las dos clases más comunes son: -- Capas metálicas, empleando casi cualquier metal no ferroso, -- excepto los metales alcalinos y los metales alcalinotérreos, -- y las capas orgánicas las cuales pueden consistir en pinturas, lacas, esmaltes, aceites, ceras, betún, etc. Las capas sustancias inorgánicas no-metálicas, tales como esmaltes vitreos, cementos, concretos y productos de arcilla, llegan a encontrarse dentro de los amplios usos para condiciones en particular de servicio.

El objetivo primario del control de la corrosión es la -- selección del medio protector capaz de cumplir el deseo de la fabricación con el mínimo costo anual. Para asegurar que el material de servicio fabricado no se vea dañado por aplicación a un medio para el cual no fue diseñado o que el costo -- necesario para la protección del mismo no se exceda debido a un sobrediseño del medio protector, la selección debe basarse en el conocimiento de la naturaleza del fenómeno de corrosión y de los factores a través de los cuales el control puede ser ejercido.

El equipo deberá ser protegido con los métodos que se -- tengan disponibles. En la aplicación de inhibidores para mejorar el eficiente intercambio de calor y reducir también la corrosión, los medios de fase líquida son utilizados.

En medios y condiciones apropiadas, los métodos electroquímicos (protección anódica o catódica) son aplicados normalmente con grandes beneficios tanto técnicos, como económicos. Se realizan estudios acerca de los beneficios que proporcionan las aleaciones de metales, lo cual significa la reducción en la velocidad de ataque por adiciones de pequeños porcentajes de elementos aleantes. Además, se aprovecha la aplicación de los tratamientos térmicos, los cuales reducen la probabilidad de agrietamientos por corrosión bajo tensión o la aceleración de ataques locales. Los cambios de diseño y la aplicación de capas protectoras se encuentran también como -- una buena posibilidad dentro de los métodos más frecuentes para reducir la corrosión.

Por otro lado, prácticamente todos los medios son corrosivos en algún grado. Algunos ejemplos son: Aire y humedad; -- aguas minerales, destiladas y saladas; atmósferas rurales, urbanas e industriales; vapor y gases tales como cloro, sulfuro de hidrógeno, dióxido de azufre y gases combustibles; ácidos minerales tales como clorhídrico, sulfúrico y nítrico; ácidos

orgánicos tales como acético y fórmico; alcalis; aceites vegetales y petróleo; solventes y una amplia variedad de productos comestibles. En general, los materiales inorgánicos son más corrosivos que los orgánicos. Por ejemplo: la corrosión en la industria del petróleo es debida mayormente al cloruro de sodio, ácido sulfúrico y ácido clorhídrico y al agua de mar que al aceite o gasolina.

La tendencia de los procesos químicos industriales hacia las altas temperaturas y presiones ha hecho posibles nuevos avances en los mismos y el mejoramiento de los procesos anteriores. Por ejemplo: mejoría en las producciones en general, mayores velocidades y/o menor costo de producción, etc. Las altas temperaturas y presiones usualmente involucran condiciones más severas de corrosión. Muchas de las operaciones que se realizan hoy en día no serían posibles técnica y económicamente sin el uso de métodos anticorrosivos de protección metálica.

A continuación se describen algunos de los efectos perjudiciales de la corrosión y los métodos más comunes de protección para cada caso en particular.

Sobre la apariencia; los automóviles son pintados debido a que la herrumbre provocado por la corrosión en la superficie, no es recomendable para su apariencia. Equipo corroido en alguna planta causaran una pobre impresión en el observa

dor, etc. En muchos medios, ya sean rurales o urbanos, podemos considerar en que resultaría más económico el recubrimiento del metal y mantener asimismo, esta capa protectora, que a sufrir los efectos negativos de la corrosión.

En la contaminación de productos; en muchos casos, el valor en el mercado de un producto está directamente relacionado con su pureza y calidad. Así, el encontrarse libres de contaminación es un factor vital en la manufactura y manejo de plásticos transparentes, pigmentos, alimentos, etc.

Sin embargo, la corrosión es deseable en algunos casos. Por ejemplo: "El maquinado químico", usado ampliamente en la fabricación de aeronaves y otros usos. En este caso el material a tratar presentará algunas áreas sin cubrir, las cuales quedan expuestas a la acción del ácido y así, el exceso de metal quedará disuelto. Este proceso es adoptado cuando las partes son duras y difíciles de maquinar por métodos convencionales. Por otro lado, el anodizado de aluminio es otro proceso benéfico de la corrosión, usado para obtener una mejor y más uniforme apariencia en adición a un producto protector de corrosión en la superficie (capa de óxido formada).

(III) ASPECTOS GENERALES DE LA CORROSION Y LA PROTECCION ANTICORROSIVA

III.1) CORROSION. LA CORROSION COMO UNA REACCION QUIMICA EN LA INTERFASE METAL-MEDIO AMBIENTE

Como una primera aproximación a los principios que gobiernan el comportamiento de los metales en medios específicos es preferible, por simplicidad, hacer caso omiso de la estructura detallada del metal y considerar la corrosión como una reacción química heterogénea, la cual ocurre en la interfase metal - medio y que involucra al metal mismo como uno de los reactantes. La corrosión puede ser expresada, por lo tanto, como una reacción simple:



donde A es el reactante metálico y B el reactante no metálico, y C y D los productos de la reacción. El reactante no metálico es frecuentemente referido al medio, aunque podrá observarse que en un medio complejo el constituyente en mayor proporción podría jugar un papel secundario en la reacción. Así, en la corrosión atmosférica del acero, aunque el nitrógeno constituye aproximadamente el 78% de la atmósfera, su efecto comparado con el de la mezcla (oxígeno, dióxido de azufre, partí

culas sólidas, etc.) puede ser ignorado.

Uno de los productos de la reacción, digamos C, es una forma oxidada del metal y D será una forma reducida del no-metal. En esta forma simple, la reacción (1) se convierte en:



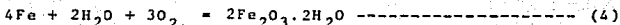
debido a que C es usualmente referido como el producto de corrosión global, aunque el término D podría igualmente aplicarse.

Ejemplo:



donde el producto de corrosión puede ser considerado como ambas formas, o sea, como una forma oxidada de metal o como la forma reducida del no metal. Las reacciones de este tipo que no involucran agua o soluciones acuosas son referidas como reacciones de "corrosión seca".

La correspondiente reacción en solución acuosa es referida como una reacción de "corrosión húmeda" y la reacción global o de conjunto puede ser expresada como:



Así, en todas las reacciones de corrosión uno (o más) de los productos de reacción serán una forma oxidada del metal;-

cationes acuosos (por ejemplo: Fe^{2+} (Aq), Fe^{3+} (Aq), aniones acuosos (por ejemplo: HFeO_2^- (Aq), FeO_4^{2-} (Aq)), o compuestos sólidos (por ejemplo: $\text{Fe}(\text{OH})_2$, Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), mientras el otro producto de reacción (o productos) será la forma reducida del no metal. La corrosión puede ser considerada, por lo tanto, como una reacción redox heterogénea en una interfase metal-no metal en la cual el metal es oxidado y el no metal es reducido. En la interacción de un metal con un no metal específico (o no metales) bajo condiciones del medio ambiente determinadas, la naturaleza química del no metal, las propiedades físicas y químicas de los productos de la reacción y las condiciones del medio (temperatura, presión, velocidad, viscosidad, etc.) serán muy importantes en la determinación de la forma, dirección y rapidez de la reacción.

Se presentan algunos ejemplos del comportamiento de metales reactivos y no reactivos en soluciones químicas simples para ilustrar el hecho de que la corrosión es dependiente de la naturaleza del medio:

- El oro es estable en los ácidos débiles, en tanto que el hierro se corroe rápidamente en los mismos, aunque a final de cuentas el oro será disuelto en soluciones de cianuro oxigenadas, las cuales podrán contenerse en tanques de acero.

- Una mezcla de sosa caústica y nitrato de sodio pueden-

ser fundida en un crisol de hierro o acero, en tanto que esta fusión podría tener un efecto desastroso en un crisol de platino.

A
— El cobre es relativamente resistente al ácido sulfúrico diluido pero se corroerá si el oxígeno o agentes oxidantes se encuentran presentes en el ácido, mientras que los aceros-inoxidables austeníticos son estables en este ácido siempre y cuando el oxígeno o algún otro elemento oxidante se encuentre presente.

— El hierro se corroe extremadamente rápido en agua oxigenada, pero muy lentamente si todo el oxígeno es removido; si, sin embargo, el oxígeno es conducido rápida y simultáneamente a todas las partes de la superficie metálica la velocidad llega a ser muy lenta, a causa de la formación de una película protectora de oxígeno.

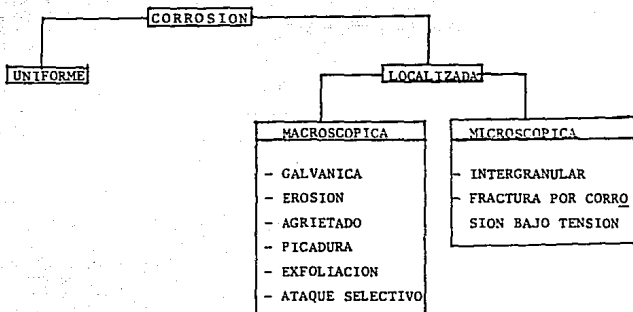
— El plomo se disuelve rápidamente en ácido nítrico, más lentamente en ácido clorhídrico y muy lentamente en ácido sulfúrico.

Estos ejemplos muestran que el comportamiento de la corrosión no puede estar disociado de las condiciones del medio que prevalecen, las cuales determinarán la rapidez y la forma del proceso de corrosión.

La corrosión puede afectar a los metales en una amplia variedad de formas, las cuales dependen de la naturaleza del-

material y las condiciones precisas que prevalezcan en el medio, como habíamos mencionado anteriormente, por lo cual existe una clasificación extensa de éstas variadas formas de corrosión, de las cuales, la tabla siguiente considera las de mayor frecuencia o importancia:

FIGURA 3. CLASIFICACION DE LA CORROSION



1). Corrosión Uniforme. En la cual todas las áreas del metal son corroidas a la misma velocidad. El ataque uniforme sobre grandes áreas de una superficie metálica es la forma -- más común de la corrosión y puede ser húmeda o seca, electroquímica o química, siendo necesario seleccionar los materia-- les de construcción y los métodos de protección para contro-- larla. Tendríamos varios ejemplos, como la oxidación y des-- lustres, la disolución activa en ácidos, oxidación anódica y pasivación, pulido químico y electroquímico, etc.

Por otra parte, la corrosión uniforme es la más fácil de detectar, por lo que las fallas inesperadas pueden ser evitadas simplemente por inspección regular.

2). Corrosión localizada. Es un ejemplo de corrosión no uniforme motivada por la falta de homogeneidad del metal, la cual puede ser debida a inclusiones, segregaciones, zonas distorsionadas, diferentes componentes, etc.

La distinción entre corrosión localizada macroscópica y localizada microscópica es que en esta última la cantidad de metal disuelto es mínima y un daño considerable puede ocurrir antes de que el problema de corrosión sea notado visualmente, en cambio en la macroscópica si es posible notarlo, además de que aquí la cantidad de metal disuelto es mayor.

2.1) Corrosión localizada macroscópica.

a) Corrosión Galvánica.

Se presenta cuando dos metales diferentes en naturaleza son puestos en contacto o conectados por medio de un conductor eléctrico, y son expuestos a una solución conductora (electrolito). En este caso, existe una diferencia en potencial eléctrico entre los metales diferentes que sirven como fuerza directriz para el paso de la corriente eléctrica a través del agente corrosivo, de tal forma, que el flujo de corriente corroe a uno de los metales del par formado. El metal que se corroe recibe el nombre de metal activo, mientras-

que el que no sufre daño se le denomina metal noble.

b) Corrosión por erosión.

Es provocada por el movimiento del medio corrosivo sobre la superficie metálica, que incrementará la velocidad de ataque debido a desgaste mecánico. La importancia relativa --- del desgaste mecánico y la corrosión, es a menudo difícil de establecer y varía grandemente de una situación a otra, y el mecanismo de la erosión generalmente se atribuye a remoción de película superficiales protectoras, por ejemplo: películas de óxido formadas por el aire, o bien, productos adherentes - de la corrosión.

La corrosión por erosión generalmente tiene la apariencia de picaduras poco profundas, y el ataque puede presentar también una distribución direccional debido al camino seguido por el agente corrosivo cuando se mueve sobre la superficie - del metal.

c) Corrosión por Agrietamiento.

Las condiciones ambientales en una grieta, pueden con el tiempo volverse muy diferentes a las existentes en una superficie limpia y abierta, por lo que un medio ambiente muy agresivo puede desarrollar y causar corrosión en las grietas.

Las grietas o hendiduras generalmente se encuentran en - empaques, tornillos, remaches, etc., y también puede formarse

por depósitos de suciedad, productos de la corrosión de raspa-
duras en las películas de recubrimiento.

La corrosión por agrietamiento generalmente se atribuye-
a los siguientes factores:

- Cambios de acidez en la grieta o hendidura.
- Escasez de oxígeno en la grieta.
- Desarrollo de iones diferentes en la abertura.
- Agotamiento de inhibidor en la grieta.

d) Corrosión por Picaduras.

En este caso se presenta un ataque altamente localizado-
en áreas específicas, resultando en pequeñas picaduras que al
penetrar al interior del metal pueden conducir a la perfora-
ción del mismo, como por ejemplo en el picado de metales pasi-
vados tales como los aceros inoxidable, aleaciones de alumi-
nio, etc., en presencia de iones específicos, como los iones-
Cl⁻. Para reducir la corrosión por picaduras se necesita una -
superficie limpia y homogénea: un metal puro con una superfi-
cie bien pulida deberá ser generalmente mucho más resistente-
que una superficie que tenga incrustaciones, defectos, tensio-
nes o rugosidad.

La corrosión por picaduras se considera como una de las-
formas más insidiosas de corrosión, debido a que en ésta frecuente-
mente se alcanza la perforación del material, con la conse-

cuenta falla debida a corrosión como resultado. En otros casos, el picado puede resultar en una apariencia de menor calidad, lo cual es de gran importancia cuando el metal es utilizado con propósitos arquitectónicos.

e) Corrosión por exfoliación.

Es una corrosión subsuperficial que comienza sobre una superficie limpia, pero que se esparce debajo de ella; difiere de la corrosión por picadura en que el ataque tiene una apariencia laminar. Capas completas de material son corroídas y el ataque es generalmente reconocido por el aspecto escamoso y en ocasiones ampollado de la superficie.

Este mecanismo es bien conocido en las aleaciones de aluminio y se combate utilizando aleaciones y tratamientos térmicos.

f) Corrosión por Disolución Selectiva.

Esta es una forma de corrosión en donde uno de los componentes de una aleación (usualmente el más activo) es eliminado selectivamente, tal y como sucede en la eliminación del zinc en aleaciones cobre-zinc, conocido con el nombre de des-zincificación.

Este fenómeno corrosivo produce un metal poroso que tiene propiedades mecánicas muy pobres y obviamente el remedio a este caso es el empleo de aleaciones que no sean susceptibles a este proceso.

2). Corrosión Localizada Microscópica.

a) Corrosión Integranular.

Los límites de grano son a veces atacados preferencialmente por un agente corrosivo y el ataque se relaciona con la segregación de elementos específicos o por la formación de un compuesto en el límite mismo. La corrosión generalmente ocurre, porque el agente corrosivo ataca preferencialmente el límite de grano o una zona adyacente a él, que ha perdido un -- elemento necesario para tener una resistencia a la corrosión adecuada.

En un caso severo de corrosión integranular, granos enteros se desprendan debido a la deterioración completa de sus -- límites, en cuyo caso, la superficie aparecera rugosa y ademas se sentirá rasposa debido a la pérdida de los granos.

El fenómeno de límite de grano que causa la corrosión intergranular, es sensible al calor por lo que la corrosión de este tipo, es un subproducto de un tratamiento térmico, así -- como la soldadura o el relevado de esfuerzos y puede ser corregido por otro tipo de tratamiento térmico o por el uso de una aleación modificada.

b) Fractura por Corrosión Bajo Tensión.

Esta es debida a la acción combinada de un esfuerzo mecánico y la corrosión. Ejemplos de lo anterior son los siguien

tes: Corrosión por erosión, corrosión por desgaste, daños -- causados por cavitación, agrietamiento debido a la corrosión por tensión, corrosión por fatiga, etc.

Para combatir la corrosión de fracturas por tensión, es necesario realizar el relevado de esfuerzos o seleccionar un material más resistente.

Idealmente la selección del metal o del sistema protector que se aplica al metal, podría ser tal que no permita la corrosión completa, pero esto es poco factible técnica y/o -- económicamente.

Las implicaciones de los términos 'predecible' a 'impredicable' utilizados en el contexto de corrosión requieren de otra consideración, ya que éstos son claramente dependientes del conocimiento y experiencia del personal de diseño contra corrosión, quienes toman las decisiones acerca de qué metales (metales o aleaciones) serán utilizados o, por otro lado, los procesos o procedimientos que se llevarán a cabo para controlar la corrosión en situaciones y medio ambientes determinados. Sobre estas bases, una falla por corrosión (falla del metal en sus funciones debida a la corrosión dentro de un período que es significativamente menor que la vida activa esperada del material) puede ser el resultado de uno o más de las siguientes posibilidades:

1. "Predecibles". (a) El conocimiento y la tecnología

se encuentran disponibles pero no pueden ser utilizados por el diseñador; esta categoría incluye una amplia variedad de elementos de diseño tales como la deficiente selección de materiales, introducción de grietas y contactos bimetálicos, etc., y es la causa más frecuente de falla por corrosión.

(b) El conocimiento y tecnología son disponibles pero no pueden ser aplicados por razones económicas; por ejemplo el pretratamiento inadecuado del acero previo a la aplicación de pintura y el uso de acero dulce no protegido para silenciadores y sistemas de exhaustión en automóviles.

2. 'No predecibles'. (a) El diseño basado en las condiciones específicas del medio, las cuales son subsecuentemente cambiadas durante la operación del proceso; en este contexto podría notarse que un pequeño cambio en la naturaleza química del medio, en temperatura, presión y velocidad puede llegar a significar cambios en la rapidez y forma de la corrosión: La oxidación y la falla catastrófica de pernos, cerrojos o tornillos de acero en reactores nucleares resulta de un incremento en la temperatura del CO_2 , éste es un ejemplo de falla no predecible debida a un cambio en las condiciones del medio.

(b) En este caso será insuficiente el conocimiento o experiencia acerca del metal, aleación o medio para predecir si la falla no ocurrirá; ejemplos de nuevas aleaciones pueden ser citados que son sujetas a una serie extensiva de pruebas planeadas cuidadosamente para la corrosión, pero éstas algunas veces fallarán en servicio.

La clasificación dada en párrafos anteriores está basada en las diferentes formas que la corrosión puede tomar, pero - la terminología utilizada en la descripción del fenómeno de - corrosión frecuentemente toma énfasis en los medios o causas - de ataque, mejor que en la forma de ataque. Así la clasifica - ción general de las reacciones de corrosión en húmedas o se - cas ahora es aceptada de manera general, y la naturaleza de - los procesos es frecuentemente hecha más específica por el -- uso de un adjetivo que indica el tipo o medio presente, por - ejemplo: corrosión por grietas, corrosión bimetalica, corro - sión atmosférica, corrosión a alta temperatura, corrosión por agua de mar, etc. Alternativamente, el fenómeno es descrito - en término de los productos de corrosión, tales como: el mis - mo deslustre, herrumbre, etc.

IV.2) Protección Anticorrosiva.

Existen diferentes formas de protección anticorrosiva, - las más comunes son: el control del medio, la protección cató - dica, el empleo de inhibidores de la corrosión, el empleo - de aleaciones y la aplicación de recubrimientos antico - rrosivos. Todas se fundamentan en el hecho de que la - corrosión se debe a la interacción del metal con su medio - circulante, por lo que deberán de minimizar o en el mejor de - los casos, impedir esta interacción; cada método tiene aplica - ciones específicas y puede afirmarse que ningunas puede em -

plearse en todas las situaciones en que se requiera proteger componentes metálicos de la acción de la corrosión. Así, por sus características, el uso de inhibidores de la corrosión se prefiere en donde existen medios fluidos en circulación, y la protección catódica en componentes metálicos que se ven afectados en forma constante por el mismo medio corrosivo, etc.

A continuación mencionaremos de una forma más detallada los métodos más generales de protección anticorrosiva, estos métodos son los siguientes:

- 1) Selección de materiales de construcción.
- 2) Alteración del medio corrosivo.
- 3) Diseño anticorrosivo.
- 4) Protección catódica y anódica.
- 5) Recubrimientos anticorrosivos.

1) Selección de Materiales de Construcción.

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 para evitar posibles errores en la selección de materiales.

—Metales y Aleaciones.

Los aceros inoxidables (1.5 - 3.0% Cr y 0-22% Ni) se usan mucho en condiciones corrosivas, pero su resistencia no-

es adecuada en cualquier medio, por ejemplo en medios conteniendo cloruros y estructuras bajo tensión, en las cuales los aceros inoxidable son menos resistentes que el acero ordinario de construcción. Además, los aceros inoxidable son más susceptibles a una corrosión local, como la corrosión intragranular, por picaduras y corrosión bajo tensión.

Una serie de combinaciones metal-medio corrosivo, las cuales representan la mayor resistencia a la corrosión, son las siguientes:

Acero inoxidable en ácido nítrico.

Níquel y aleaciones en soluciones cáusticas.

Monel en ácido fluorhídrico.

Plomo en ácido sulfúrico diluido.

Aluminio en exposición atmosférica no agresiva.

Hastelloy en ácido clorhídrico caliente.

Titanio en soluciones oxidantes concentradas y calientes.
y Acero en ácido sulfúrico concentrado.

Estas son algunas de las combinaciones recomendables además de que como sabemos, para condiciones oxidantes, se utilizan aleaciones conteniendo cromo, y si las condiciones oxidantes son extremas, el titanio y sus aleaciones tienen la mayor resistencia. Para medios reductores se utilizan mucho el níquel, el cobre y sus aleaciones.

— Materiales no Metálicos.

Generalmente los hules y los plásticos comparados con -- los metales y las aleaciones, son mucho más débiles y suaves -- aunque mas resistentes a los iones cloruro y al ácido clorhídrico, pero asimismo, menos resistentes a los disolventes, -- además de sus limitaciones por temperatura ($\approx 95^{\circ}\text{C}$).

Por otro lado, los materiales cerámicos tienen excelente resistencia a la corrosión y a altas temperaturas (con excepción de los cáusticos), pero tienen la desventaja de ser frágiles y tener una baja resistencia mecánica a la tensión.

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.

Por último, diremos que las maderas no poseen resistencia a los medios corrosivos agresivos. Las mejores maderas para uso en corrosión son: ciprés, pino, roble y pino de california. Generalmente, se limita el uso de maderas para aguas y productos químicos a baja concentración. Además, les puede -- ocurrir un ataque de tipo biológico.

2) 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. La temperatura aumenta - la velocidad de casi todas las reacciones químicas; usualmente, una reducción de la temperatura disminuye mucho la velocidad de corrosión. Sin embargo, bajo algunas circunstancias, - las variaciones de temperatura casi no afectan esta velocidad de corrosión y en otros casos, una mayor temperatura reduce - el ataque por corrosión. Por ejemplo, el agua marina a temperatura de ebullición es menos corrosivas que estando a una -- temperatura más o menos caliente, debido a que la solubilidad del 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 que se pueden pasivar, 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 la de evitar siempre flujos con velocidades muy altas, ya que podrían causar daño por corrosión-erosión.

— Modificación de la concentración y/o composición. El-

efecto de la concentración de un medio corrosivo sobre la velocidad de corrosión es muy variado y dependerá en gran parte del tipo de metal que está en exposición, pero de manera general podemos asumir que una disminución de la concentración -- del agente corrosivo reducirá la corrosión. Sin embargo, 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. Por otro lado, la eliminación de un tipo determinado de reactivo, reduce considerablemente la velocidad de corrosión. Por ejemplo, la corrosividad del agua de enfriamiento de reactores nucleares se reduce eliminando - los iones cloruro (Cl^-).

- 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: Inhibidores de tipo absorción, scavengers (eliminadores de oxidantes), oxidantes e inhibidores en fase vapor.

Es muy importante recordar que los inhibidores son pro--

ductos específicos dependiendo del metal, medio corrosión, -- temperatura y rango de concentración y sólo hay que usarlos - en las condiciones descritas por los proveedores en sus boletines técnicos. También es importante usar una cantidad suficiente de inhibidor, ya que varios agentes inhibidores pueden acelerar la corrosión, sobre todo la corrosión local por pica duras, si están presentes en muy baja concentración; pequeñas cantidades de inhibidor son peor que no adicionar inhibidor. - Para evitar esta posibilidad, conviene utilizar siempre un exceso del producto y checar con frecuencia la concentración -- del inhibidor presente.

Aunque los inhibidores tienen muchas ventajas existen algunas restricciones en su uso: En algunas ocasiones el inhibidor representa una contaminación del medio corrosivo; muchos inhibidores son productos tóxicos y no se pueden usar en la industria de alimentos o medicamentos; los inhibidores - - pierden rápidamente su efectividad cuando la temperatura y la concentración del medio corrosivo aumentan; los inhibidores - se usan sobre todo en circuitos cerrados en los cuales el medio corrosivo no se recircula durante mucho tiempo, y no son prácticos para casos de flujo continuamente renovado.

3) 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 observadas cuidadosamente en el diseño anticorrosivo.

— Como la corrosión es una acción penetrante, hay que aplicar esta información en el diseño de tuberías, tanques y otros componentes industriales y estructurales. Es usual utilizar un espesor equivalente al doble de lo necesario para lograr la vida útil programada o planeada. Desde luego, el espesor de la pared debe satisfacer otras condiciones como resistencia mecánica, a la presión, peso, etc.

— 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.

— Diseñar tanques y recipientes para poder drenar y limpiar fácilmente. Esto es muy importante ya que los residuos de un corrosivo en determinadas ocasiones puede causar un fuerte ataque al sustrato.

— Realizar el diseño de los sistemas de tal manera que las partes que fallaran primero sean fácilmente reemplazables.

— Evitar tensiones mecánicas excesivas y concentraciones de esfuerzo en componentes expuestos a medios corrosivos, ya que los esfuerzos mecánicos o residuales son los responsables

de que ocurra un agrietamiento por corrosión bajo tensión.

— Evitar el contacto eléctrico entre metales con una diferencia en su potencial estándar de electrodo muy grande para prevenir la corrosión galvánica.

— 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 el plomo, el cobre y sus aleaciones.

— Evitar puntos calientes durante operaciones de transferencia de calor, diseñando intercambiadores de calor con gradientes de temperatura uniformes.

— Diseñar cuidadosamente la forma para excluir el aire, ya que la reducción química del oxígeno es una de las reacciones catódicas más comunes durante procesos de corrosión.

— La regla más general para el diseño es la de evitar la heterogeneidad. Materiales metálicos diferentes, espacios de vapor, distribuciones desiguales de calor, y de esfuerzos y de otras diferencias entre puntos de un sistema llevan a daños por corrosión.

4) Protección Catódica y Anódica.

La protección catódica es quizá el más importante de to-

dos los métodos para el control de la corrosión. Por medio de una corriente eléctrica aplicada externamente, la corrosión es reducida virtualmente a cero, 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 de las zonas catódicas de una estructura usando una corriente externa de tal manera que ambas zonas, anódicas y catódicas estén a un mismo potencial y por lo tanto la corrosión no pueda tener lugar. 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.

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 se mantenga). 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 aplicarse 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 picaduras puede ser prevenida en metales que tienden a pasivarse como los aceros inoxidable o el aluminio. Esta propiedad puede ser usada efectivamente para eliminar el "Cracking" por corrosión debido a esfuerzo en bronce, aceros aleados, aceros inoxidables, magnesio y aluminio. La fatiga por corrosión de la mayoría de los metales (pero no la fatiga mecánica), la corrosión intergranular del duraluminio, acero inoxidable 18-8, etc. o la decincificación 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.

La protección anódica. Este tipo de protección es relativamente nueva; se considera que apareció por primera vez en 1954 y fué desarrollado a partir de los principios de la ciné

tica electrónica. 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 ha observado que la aplicación de una corriente anódica aumentaría la disolución del metal, provocando una mayor corrosión y reduciendo el desprendimiento de hidrógeno. Efectivamente, esto es lo que pasa con la mayoría de los metales a excepción de aquellos que presentan una transición activo-pasivo, como el níquel, hierro, cromo, titanio y sus aleaciones. Si a cualquiera de estos metales 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 "potenciostato".

El empleo de la protección anódica puede reducir considerablemente la corrosión, aunque nunca la reduce a cero, con--
trariamente a la protección catódica del acero.

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, magnesio, cadmio, plata, cobre o aleaciones de cobre; a pesar de lo anterior, 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.

5) Recubrimientos Anticorrosivos.

En términos generales un recubrimiento anticorrosivo pue de 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 perfectamente seca la película resultante representa una barrera flexible, adherente y con máxima eficiencia de protección contra la corrosión.

Normalmente un recubrimiento considera, como componentes básicos: al pigmento (pigmentos inhibidores, pigmentos colorantes y cargas o inertes) y al vehículo (resinas o formadores de películas, aditivos y solventes).

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.

Existen diversidad de recubrimientos, una clasificación muy general es presentada a continuación:

a) Por el tipo de función que va a desarrollar el recubrimiento.

- Recubrimientos anticorrosivos (proteger un sustrato de un medio corrosivo).
- Pinturas arquitectónicas (con fines decorativos para embellecer y proteger superficies interiores).

b) Por el procedimiento que requiere el recubrimiento para alcanzar sus propiedades o características de operación o comportamiento.

- Recubrimientos de un solo componente de secado al aire. (ejemplos de este tipo son los recubrimientos alquídicos, vinílicos y acrílicos).
- Recubrimientos de dos componentes de secado al aire.-

(Los recubrimientos epóxicos y poliuretanos secan y curan en esta forma).

- Recubrimientos cuyos curados son a altas temperaturas. (en este tipo es necesario exponer los recubrimientos 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 alquidáticos.

(Estos recubrimientos tienen buena retención de brillo, buena resistencia a medio ambiente secos o humedad 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).

Los recubrimientos en general poseen una permeabilidad natural en menor o mayor grado que permite el paso de suficiente cantidad de agua y oxígeno, ocasionando la corrosión ininterrumpida de la superficie; por tal motivo 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 adecuada y un porcentaje determinado de pigmentos - inhibidores, pero tomando en cuenta factores de tipo económico, se ha dado lugar a la proposición 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 poseen buena adhesión al sustrato para evitar que la humedad y el oxígeno que penetran la película desplacen a las moléculas del recubrimiento provocando la formación de herrumbre en la interfase.

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

a) Sistema convencional. Emplea recubrimientos convencionales, buenas pinturas aplicadas en su medio correcto. - - constituye las aplicaciones más frecuentes. Por ejemplo: alquidáticas y anticorrosivas.

b) Sistema de alto rendimiento. Emplea recubrimientos-

de buena calidad denominados de alto rendimiento como son los hules clorados, epóxicos, vinílicos, etc.

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 observación de todos ellos nos permitirá obtener sistemas de recubrimiento óptimos.

Primarios.

Las características básicas de todo recubrimiento para mantenimiento 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 in temperismo. Como es perfectamente conocido, los primarios -- son recubrimientos que se aplican como primera mano sobre la superficie a ser recubierta. Son recubrimientos cuya formula ción está encaminada fundamentalmente en base a la prepara-

ción de la superficie, tipo de recubrimiento a ser aplicado sobre él, medio de exposición a que va a ser 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.
- Buena adherencia y uniforme.
- Buena impermeabilidad y resistencia al agua y al oxígeno.
- Buena resistencia a la humedad y la intemperie.
- Resistencia general a los agentes químicos.

Intermedios o Enlaces.

El término recubrimiento intermedio se refiere a los 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 entre el primario y el acabado.

Normalmente, los enlaces contienen una mezcla de resinas.

parte de las cuales promueven 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 fué aplicado defectuosamente y quedan sobre la superficie rayones, poros o cráteres. Es indispensable también 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.

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 sospechan posibles problemas de incompatibilidad o de adherencia.

Acabado o Capas Finales.

Estos productos representan la capa exterior en contacto con el medio ambiente y se formulan para proveer protección 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 que dan tono y el contenido de pigmentos inhibidores es inferior al de un primario.

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 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 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, se han establecido 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.
- Densidad.
- Viscosidad.
- Color.
- Finura.
- Apariencia y aplicación.
- Poder cubriente.

- Prueba de cámara salina.
- 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.

(IV) FOSFATADO

(IV.1) TRATAMIENTO DE CONVERSION QUIMICA.

Las capas obtenidas por conversi3n qu3mica proveen una barrera de aislamiento de muy baja solubilidad en su medio ambiente a trav3s de la conversi3n de la superficie met3lica -- contribuyendo as3 a la resistencia a la corrosi3n. La conversi3n es una modificaci3n qu3mica o electroqu3mica de la superficie met3lica, as3 que la capa formada es una parte integral del metal original. Este mecanismo est3 en contraste con el de las pinturas y muchas capas met3licas, las cuales no requieren de una combinaci3n qu3mica con el metal base. Muchas de estas capas permiten la impregnaci3n con pinturas, esmaltes o lacas y entonces, este proceso es como un pretratamiento para recibir la capa org3nica, encontrando en esto una amplia aplicaci3n. En otras aplicaciones solamente depender3 del color natural y de la eficiencia de protecci3n de capa. Las capas son normalmente absorbidas, lo cual provee una base ideal para aceites y ceras protectoras. Las pel3culas transparentes son usadas para preservar las propiedades 3pticas -- del brillo de superficies met3licas; pel3culas relativamente delgadas son efectivas en proporcionar resistencia al uso y -- adem3s, como un auxiliar en operaciones de formado en fr3o.

Los tratamientos de conversión de superficies comprenden la conversión química, obtenida por inmersión, rociado o pintado con brocha, sin el uso de corriente externa y la conversión anódica. Las capas formadas por estos métodos son principalmente fosfatos, cromatos, óxidos, o combinaciones de éstos, o sea los productos de corrosión formados bajo condiciones cuidadosamente controladas. A través de las variaciones sobre las condiciones de formación de la capa (sobre todo la composición del baño de tratamiento) puede obtenerse una amplia variedad en las propiedades de la misma.

Los metales para los cuales el tratamiento de conversión química superficial tiene marcado interés comercial son el hierro y el acero, además de aleaciones de aluminio, zinc y magnesio; en menor extensión cadmio, estaño, cobre, plata y aceros inoxidable son terminados de esta manera.

El método más popular para proporcionar protección temporal a bajo costo para acero y otros materiales metálicos es la aplicación de capas de fosfato de soluciones basadas en ácido fosfórico y varios fosfatos metálicos.

Así, capas no metálicas o tratamientos de superficie son frecuentemente utilizados, particularmente como una base para el pintado posterior.

(IV.2) CAPAS DE FOSFATO

El uso de capas de fosfato para la protección superficial del acero y materiales metálicos se conoce desde hace -- unos 80 años a la fecha y durante este período su utilización comercial se ha incrementado hasta el día de hoy, en que una gran parte de la producción mundial de bicicletas, motores, -- refrigeradores, máquinas de lavado, muebles de oficina, etc. -- son tratados de esta manera. Por mucho, el mayor uso de capas de fosfato es como una base para pintura, aunque otras importantes aplicaciones están en conjunción con aceite, grasa, cera y tintes para proveer un acabado resistente a la corrosión, con jabones para auxiliar en el embutido del acero y -- con aceites lubricantes para reducir el desgaste de partes -- deslizables tales como anillos de pistón, varillas para levantamiento y engranajes.

El fosfatado es el tratamiento de superficies metálicas para proveerles una capa de cristales de fosfato metálico insolubles los cuales se adhieren fuertemente al material base. Tales capas influyen sobre la apariencia, dureza superficial y propiedades eléctricas del metal. La capa puede proporcionar resistencia a la corrosión, pero no es suficiente-- mente protectora para ser usada como único recubrimiento en -- muchas atmósferas corrosivas. Sin embargo las capas son absorbidas un poco y así, proveen una base excelente para la impregnación con aceites, lacas y terminados en pintura. El --

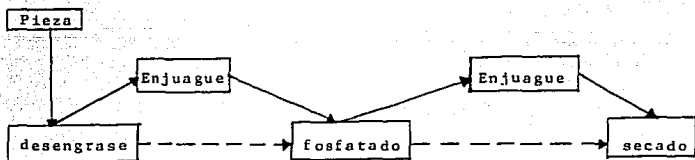
fosfatado es de gran importancia industrial en la producción de capas en superficies de hierro y acero, por ejemplo en accesorios y automotores industriales. El fosfatado también -- puede ser utilizado para la protección de zinc, aluminio, cad mio y magnesio como metales base.

La tecnología moderna del fosfatado inicia en Inglaterra a principios del siglo veinte con el uso de una solución de ácido fosfórico para producir una película de fosfato sobre acero. Una reacción menos violenta y una mejor capa resultan cuando se utiliza una solución de ácido fosfórico y bifosfato ferroso, $\text{Fe}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$. Más tarde, los estudios, investigaciones y desarrollos incluyen el uso de soluciones de bifosfato de zinc (II) $\text{Zn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ y bifosfato de manganeso (II) $\text{Mn}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ para depositar cristales de fosfato de zinc y manganeso, respectivamente.

Las soluciones para fosfatado actuales contienen uno o -- más de los fosfatos de hierro, manganeso o zinc en ácido fosfórico diluido. Estas también pueden contener los fosfatos de los metales alcalinos y metales alcalinotérreos y una variedad de aceleradores. Los tiempos típicos de proceso van de menos de un minuto hasta varios minutos. El mayor desarrollo de los trabajos de fosfatado es llevado a cabo por compañías especializadas en la preparación de soluciones patentadas para fosfatado.

Los tratamientos de fosfatos pueden adecuarse a los requerimientos de producción para artículos de todos los tamaños y para números grandes o pequeños de piezas. Un proceso económico puede ser llevado a cabo, por ejemplo a treinta carrocerías de automóvil por hora con un rociador transportable o en una planta de inmersión, o por tratamiento de inmersión a piezas pequeñas como sujeta papeles y llaves. Las láminas de acero suave son el material más frecuentemente sometido al tratamiento de fosfatado, pero una gran variedad de otras superficies ferrosas también son procesadas. Algunos ejemplos incluyen placas de hierro fundido y anillos para pistón, herramientas de corte de acero al alto carbono, engranes de acero aleado, etc. Los tratamientos de fosfato diseñados para el acero también pueden utilizarse para el tratamiento simultáneo de artículos como dados colados de zinc, inmersión en caliente de zinc y chapeados de zinc y cadmio.

Figura 4. Método Usual para la Aplicación de Capas de Fosfato



El método usual para la aplicación de capas de fosfato -

es por inmersión, utilizando una secuencia de tanques los cuales incluyen etapas de desengrasado y fosfatado, con sus respectivos enjuagues.

El intervalo para el tiempo de tratamiento va desde los 3 a los 5 minutos para capas delgadas de fosfato de zinc, hasta 30 a 60 minutos para capas gruesas de fosfatos de zinc, -- hierro o manganeso.

Los procesos acelerados de fosfatos de zinc permiten la aplicación por medio de un rociador y el tiempo de proceso -- puede entonces reducirse a un minuto o menos. La aplicación por medio de rociador es particularmente ventajosa para artículos de producción en masa, tales como refrigeradores y motores para automóviles, éstos pueden ser transportados a través de un túnel con rociador, el cual incorpora estaciones de desengrase, enjuague, fosfatado, enjuague y secado.

Las capas de fosfato, además, son aplicadas a aceros de alta dureza previas a la pintura. Se sabe que durante estos procesos el hidrógeno se introduce en el acero. Con el uso de un baño de fosfatado conteniendo una cantidad limitada de ácido libre y ciertos agentes oxidantes, la cantidad de hidrógeno absorbido puede verse reducida. El agente oxidante debe ser capaz de oxidar al hidrógeno y así prevenir la formación de la película del mismo en la superficie metálica durante el tratamiento y acelerar asimismo la formación de la capa.

Como se mencionó anteriormente, las capas de fosfato sobre los metales son el resultado de la reacción química del ácido fosfórico con la superficie metálica para formar una capa no metálica, como contraste con las capas metálicas o de pintura las cuales generalmente no requieren de combinación química con el metal base.

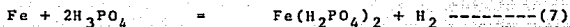
Las características físicas de la capa tales como espesor, estructura cristalina y penetración sobre la base metálica puede controlarse por: Limpieza previa al tratamiento, por la forma en que la solución se aplica, por el tiempo de tratamiento y por modificación de la composición de la solución. La ventaja de estos factores se utiliza en dos procesos comerciales llamados Parkerizado y Bonderizado. El primero de estos produce en un tratamiento de 30 a 60 minutos, una gruesa capa de fosfato de alta resistencia a la corrosión sobre artículos metálicos, y el segundo una delgada y densa capa cristalina de fosfato en un tratamiento de 1 a 5 minutos, adaptado para incrementar la adhesión y durabilidad de pintura aplicada en el acabado o terminado.

(IV.3) MECANISMO DE FORMACION DE LA CAPA DE FOSFATO

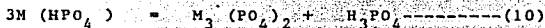
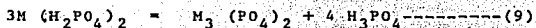
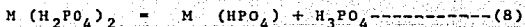
El fosfatado comercial de productos es complejo y patentado, por lo tanto, normalmente es difícil clasificar precisamente las reacciones que tienen lugar durante la deposición de la capa de fosfato. Sin, embargo, ecuaciones simplifica--

das pueden ser usadas para ilustrar la química básica del proceso.

Todos los procesos convencionales para la formación de una capa de fosfato se basan en soluciones de ácido fosfórico de fosfatos primarios de hierro, manganeso y zinc, cada uno por separado o en combinación. El ácido fosfórico libre en estas soluciones reacciona con la superficie de hierro :



Así se produce el fosfato soluble de hierro primario y se libera hidrógeno. La reducción del ácido fosfórico ocurre en la interfase metal/solución. Como los fosfatos primarios de hierro, manganeso y zinc se disocian (hidrolizan) rápidamente en soluciones acuosas, se producen los fosfatos metálicos secundario y terciario menos solubles, de acuerdo a las siguientes reacciones:



donde M puede ser zinc, manganeso o hierro.

El ácido fosfórico que se produce en estas reacciones se

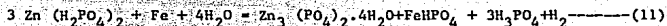
consume por el hierro disuelto de la parte tratada. La neutralización del ácido fosfórico libre altera la posición de equilibrio en las reacciones, de izquierda a derecha, permitiendo con esto la depositación sobre la superficie del metal del fosfato secundario y moderadamente soluble y del fosfato terciario insoluble.

El ácido fosfórico se consume principalmente en la superficie del metal, donde la perturbación que acompaña al equilibrio ocurre. El fosfato insoluble del metal precipita de la solución sobre la superficie del hierro para formar una capa cristalina hermética, adherente y altamente entrelazada.

Como la reacción de formación del fosfato de hierro primario se lleva a cabo siempre y cuando la solución de fosfatado contenga fosfatos de zinc o manganeso con un poco o ningún hierro disuelto, es evidente que el tratamiento simple o "no-acelerado" de fosfato nos proporciona capas las cuales siempre contienen fosfato ferroso derivado de las partes de acero que son procesadas. Después de un uso prolongado, un baño de fosfato de manganeso normalmente contiene más hierro en solución que manganeso y produce capas con un contenido de hierro dos o tres veces mayor que el de manganeso.

Cuando el acero es procesado, el hierro entra en la solución como fosfato ferroso primario, así inevitablemente, el fosfato ferroso precipita sobre las piezas trabajadas con los fosfatos de zinc o manganeso.

Una reacción que representa la formación de una capa de fosfato de zinc sobre una superficie de hierro puede expresarse como sigue:



La relación entre el contenido de ácido fosfórico libre y el contenido total de fosfato en un baño de proceso es muy importante; esta relación es generalmente conocida como el ra di o á c i d o. Un exceso de ácido libre retarda la disociación de los fosfatos primario y secundario y entorpece además, la depositación de la capa del fosfato terciario; algunas veces se presentan pérdidas excesivas del metal y la capa obtenida es poco firme y no compacta. Cuando el contenido en ácido li bre es demasiado pequeño, la disociación de fosfatos (Ecs. 8, 9, 10 anteriores) tiene lugar en la solución al igual que en la interfase metal/solución y permite la precipitación de fosfato insolubles y lodo (sedimentos). El contenido de ácido libre se determina usualmente por titulación con hidróxido de sodio y anaranjado de metilo y el fosfato total por titulación con hidróxido de sodio y fenoftaleina. Usando esta prueba, los procesos no acelerados operados cerca del punto de ebullición, generalmente trabajan mejor con una concentración de ácido libre titulado entre 12.5% y 15% del ácido total titulado.

Una solución de fosfato de zinc tiende a producir capas-

más rápidamente que las soluciones de fosfatos de hierro-manganeso, y la disociación del fosfato primario de zinc procede rápidamente de la reacción (8) a la (9) o directamente al fosfato terciario de zinc vía la reacción (10). Así que, un tiempo de proceso de 30 minutos es usual con la solución cerca del punto de ebullición.

Otro factor que influye en el inicio de la reacción para la formación de la capa de fosfato, es la presencia del fosfato terciario en la solución de proceso como una suspensión coloidal o como finas partículas. Este efecto se presenta con mayor frecuencia en soluciones de fosfato de zinc, las cuales producen buenas capas sólo cuando son densas. Las partículas de fosfato terciario de zinc pueden presentarse en gran medida en soluciones de procesado en frío y actuar como núcleos para favorecer el crecimiento de muchos cristales pequeños sobre la superficie metálica, promoviendo la formación de capas tersas (lisas).

Similarmente, el lodo de fosfato férrico que se forma durante el procesado del acero en una solución de fosfato de zinc puede jugar un papel importante en la formación de la capa. La solubilidad del fosfato férrico es mayor a temperatura ambiente que a temperaturas elevadas, y se incrementa por la presencia de aceleradores de nitrato. Para alcanzar la saturación a todas las temperaturas es conveniente retener siempre algo de lodo en el baño de proceso. Las capas con δp

tima resistencia a la corrosión se producen cuando la temperatura del baño es elevada, ocasionando así, la supersaturación del fosfato férrico.

Con baños de fosfatos de hierro y zinc el contenido de hierro de la capa proviene principalmente de la solución de proceso y muy poca cantidad de la superficie tratada. Esto disminuye en gran medida el ataque sobre la superficie del metal en procesos que utilizan baños con aceleradores, los cuales tienen una gran desventaja en la práctica debido a que la herrumbre no puede ser removida, en tanto que la reacción vigorosa de los procesos no acelerados remueve altos depósitos de ésta.

La disolución de hierro representada en la ecuación (7) se lleva a cabo en los ánodos locales del acero en tratamiento, mientras la descarga de iones hidrógeno con disociación y depositación simultáneas de fosfato tiene lugar en los cátodos locales. Así, favoreciendo el proceso catódico se acelera la formación de la capa y contrariamente, el proceso anódico (disolución del hierro) entorpece el proceso. Un agente oxidante actúa como acelerador por depolarización de los cátodos, elevando la densidad de corriente local, así la rápida pasivación anódica del hierro activo tiene lugar en los poros superficiales. Esta pasivación de los ánodos locales favorece la progresión del proceso catódico.

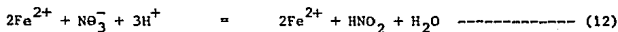
Componentes orgánicos nitrogenados tales como la anilina, quinolina, toluidina, etc. actúan como inhibidores a la reacción anódica entre el metal y el ácido, y por lo tanto favorecen la reacción catódica y aceleran el proceso.

(IV.4) ACELERADORES DEL PROCESO

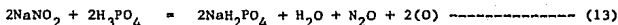
Tan lenta como la reacción catódica es la evolución de hidrógeno o la reducción del oxígeno, por lo cual es de esperarse que la formación de la capa de fosfato sea igualmente lenta. Sin embargo, el proceso puede acelerarse por la adición de una sustancia aceleradora en la solución. Esta sustancia aceleradora afecta directamente a las reacciones catódicas, así llega a ser posible obtener una adecuada capa en un corto tiempo de inmersión o por rociado, en lugar de inmersiones prolongadas y temperaturas elevadas, que serían necesarias en un proceso con baño "no acelerado". Debido a lo anterior, los aceleradores son incorporados en los procesos usados para producir capas uniformes y de calidad superior con menores costos. Con tiempos de procesado rápidos y con abastecimiento químico apropiado la prolongación de la vida efectiva del baño será duradera. Por esto, la mayoría de pro

cesos de fosfatado utilizados actualmente son acelerados para obtener tiempos de tratamiento cortos y bajas temperaturas de proceso. El método más común para lograr la aceleración es - por la adición de agentes oxidantes tales como nitrato, nitrito, clorato y peróxido de hidrógeno. Utilizando éstos, puede obtenerse un tiempo de proceso de 1 a 5 minutos a temperaturas entre 43 y 71°C. Las capas resultantes son más lisas y delgadas que las obtenidas por un proceso no acelerado, y - - mientras la resistencia a la corrosión es aceptable, estas -- causan menos reducción del brillo de pintura y es más conveniente para requerimientos de producción en masa.

La presencia de nitrato como acelerador tiene un efecto pronunciado en la cantidad de gas involucrado en el fosfatado (tabla II). Puede observarse que la evolución de hidrógeno disminuye a muy bajos porcentajes en baños de zinc/nitrato. - La formación de nitrito originado por la descomposición del - nitrato por reacción con fosfato ferroso primario para formar fosfato férrico tiene lugar de acuerdo a la siguiente reacción:



En una solución ácida el nitrito de sodio actúa como un agente oxidante fuerte de acuerdo a la siguiente reacción:



Un ligero grado de aceleración puede obtenerse por la in

roducción de trazas de metales los cuales son más nobles que el hierro, por ejemplo níquel, cobre, cobalto, plata y mercurio. Estos metales son depositados electrofíticamente sobre la superficie del hierro bajo tratamiento, proveyendo más centros de actividad catódica y promoviendo la depositación del fosfato. Estos métodos de aceleración tiene la desventaja de mantener restos de partículas diminutos del metal noble en la capa, y, en el caso del cobre, este puede inhibir seriamente el secado de algún tipo de capas de pintura. El cobre también forma celdas locales con el hierro, lo cual reduce la resistencia a la corrosión.

La aceleración por la adición de agentes reductores, como puestos orgánicos o por aplicación de una corriente catódica o alterna, no es una manera muy utilizada.

TABLA II. CANTIDAD Y COMPOSICION DE LOS GASES INVOLUCRADOS EN EL FOSFATADO DE 1M² DE UNA LAMINA METALICA PARA ESTIRADO PROFUNDO

SOLUCION DE FOSFATO	PUNTAJE*	TIEMPO (MIN)	CANT. DE GAS (cm ³ /m ²)	H ₂ N ₂		O ₂ N ₂ O+NO	
				%	%	%	%
FOSFATO DE MANGANESO	30	60	7 000	87.5	11.4	1.1	--
FOSFATO DE ZINC	40	30	2 540	92.7	6.4	0.9	--
FOSFATO DE MANGANESO (ACELERADO CON NITRATO)	30	15	3 500	84.6	9.1	1.3	5.0
FOSFATO DE ZINC (ACELERADO CON NITRATO)	70	5	78	16.7	75.3	8.0	--
FOSFATO DE ZINC CONTENIENDO 1.5-2 g/l HIERRO (ACELERADO CON NITRATO)	70	5	85	32.1	57.0	1.6	9.3

*Una medida de la acidez total en una solución de fosfato, como indicativo del número de ml de hidróxido de sodio (4.0 g/l) 0.1 N necesarios para neutralizar 10 ml de la solución fosfatante utilizando fenofaleína como indicador.

*Posiblemente de los nitratos presentes en la hoja (lámina).

Así, se citan procesos como: 30-45 min a 93-98°C para baños de zinc no acelerados, y 60 minutos para baños de manganeso; los aceleradores pueden reducir estos tiempos de 3-19 minutos, y se estima que el 90% de las industrias en Alemania en el año 1950, ya utilizaron baños acelerados, los cuales preservaron mejor la composición, fueron más duraderos y proporcionaron una protección superior. Existieron fuertes opiniones contra los baños acelerados en algunas zonas industriales, probablemente debido a que alguno de los aceleradores utilizados en las primeras aplicaciones causaron efectos perjudiciales; las sales de cobre indudablemente pueden producir aceleración, pero su presencia es indeseable en baños que se utilizan para proveer protección. Muchos de los baños citados contenían agentes oxidantes tales como nitratos, nitritos y cloratos; el nitrato y el clorato son normalmente usados en combinación y dan menos problemas que el nitrito, el cual requiere de reabastecimiento a intervalos. Es interesante observar los nitro-compuestos orgánicos — los cuales son objeto de muchas aplicaciones de patente; la nitroguanidina es descrita como uno de los más fuertes aceleradores y además es efectivo a concentraciones bajas (0.3%) — los cuales sugieren más bien, que pueden ser usados como catalizadores, estimulando la reacción catódica sin obstruir en el proceso. Es una pequeña sorpresa encontrar que algunos agentes reductores también producen aceleración, notablemente el bisulfito de sodio; su acción no está completamente entendida, sugiriéndose-

que estas sustancias convierten las regiones anódicas a regiones catódicas, pero ha llegado a ser ampliamente adoptado como un acelerador, a pesar de que promueve la acumulación de hierro en el baño, manteniendo condición de fosfato ferroso (soluble) y previene la eliminación del hierro como fosfato férrico (insoluble).

Pruebas llevadas a cabo han demostrado que un proceso de fosfato de manganeso acelerado da buenos resultados como el baño no acelerado; en baños basados en fosfato de zinc, la aceleración ha sido desventajosa.

(IV.5) PARAMETROS DE OPERACION

El ciclo completo de los procesos para fosfatado, como se llevan a cabo a escala comercial, generalmente consisten de los siguientes pasos o etapas: preparación de la superficie para ser procesada, por ejemplo limpieza y enjuague para remover los agentes limpiadores, y tratamientos especiales; aplicación del proceso de capa de fosfato; enjuague de la superficie fosfatada, por ejemplo agua y enjuague de posttratamientos; y secado. Las características de la capa dependerán grandemente de las condiciones de la superficie presentes antes de la aplicación del depósito. Un requerimiento básico es una superficie limpia, la cual debe estar libre de contaminantes dañinos y ser además buena receptora de los tratamientos subsecuentes. Así, deben ser removidas escamas o capas -

de óxido por medio de un baño ácido o chorreado de arena. Ordinariamente, el metal se limpia con álcalis. Algunas veces se utilizan procedimientos especiales, por ejemplo, la limpieza al vapor o vapor desengrasante. Generalmente, el material de trabajo se enjuaga con agua antes y después de cada etapa en el proceso.

El pretratamiento también influye en el tamaño de los cristales de fosfato, por ejemplo, residuos alcalinos o polvo en la superficie producirán incrementos en el tamaño de los cristales, y baños ácidos o pretratamientos ácidos también producen cristales grandes. Sin embargo, el cepillado o la limpieza mecánica del metal tiende a producir la formación de cristales finos.

Generalmente, la limpieza mecánica favorece la formación de cristales pequeños, disminución de la porosidad y proporcionan resistencia a la corrosión, pero para producir este efecto por medios químicos se necesitaría un esfuerzo mayor. Pueden ser usadas con éxito preinmersión en soluciones de ácido oxálico, soluciones de nitrito de sodio, mezclas de solventes y soluciones conteniendo metales pesados (como el cobre y níquel).

Efectos de la Solución de Fosfato.

Proporcionar la nucleación, por medio de la misma solución de fosfato, producirá capas lisas sin la necesidad de

recurrir a tratamientos químicos preliminares. Esto se lleva a cabo mediante la adición de metales alcalinoterreos o fosfatos condensados (hexametáfosfato de sodio o tripoly-fosfato de sodio) dentro del baño de proceso. Tales modificaciones producen capas más lisas que las obtenidas en baños ortodoxos y además, son mucho menos sensitivas a los procesos de limpieza.

Capas muy delgadas de fosfato de hierro pueden producirse por tratamiento con soluciones de fosfatos de metales alcalinos. Estas soluciones pueden ser utilizadas para el tratamiento de muebles de oficina, juguetes, etc., donde no se requiere un alto grado de protección y también puede utilizarse como una base para barnices fenólicos o barnices de resina, requiriéndose hornos o temperaturas por encima de los 204°C. La capa es de naturaleza heterogéna y contiene menos del 35% de fosfato de hierro ($\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) con δ Fe_2O_3 como remanente probablemente.

Capas delgadas solamente de fosfato podrán también obtenerse por aplicación de soluciones de ácido fosfórico, por ejemplo: para una superficie de acero tratada en una solución que no contenga ninguno de los fosfatos metálicos, permitirá con el tiempo suficiente que se lleva a cabo la reacción completa de formación de película o capa; de esta manera, una película delgada de fosfato de hierro se formará. En la práctica es difícil obtener una conversión completa y las trazas -

remanentes de ácido fosfórico podrían causar ampollamiento de la capa de pintura.

Naturaleza química de las distintas capas. La capa simple de fosfato, que se forma de soluciones conteniendo sólo - fosfato ferroso y ácido fosfórico, consiste de cristales verdes oscuros a cristales negros ambos de fosfato ferroso terciario, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, y fosfato ferroso secundario, FeHPO_4 , con una pequeña proporción de fosfato férrico terciario, FePO_4 . Las capas formadas de soluciones de fosfato de manganeso consisten de fosfato terciario de manganeso, y las de soluciones de fosfato de zinc consisten de fosfato terciario de zinc. Con ambos tipos de capa podrán presentarse en la solución sólida: manganeso y zinc, fosfatos de hierro secundarios y terciarios insolubles, derivados del hierro presente en el baño. El hierro de la superficie tratada puede también estar presente en la capa, particularmente en la interfase metal/fosfato. El PO_4^{3-} contenido en la capa puede variar de 33 a 50%, en tanto que el contenido teórico de PO_4^{3-} es menor a 41% en $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ y mayor a 63% en FePO_4 .

Se ha observado, que al ser calentadas las capas de fosfato de manganeso en ausencia de aire pierden su resistencia a la corrosión entre 200 y 218°C, y las capas de fosfato de zinc pierden su resistencia a la corrosión entre 150 y 163°C. A estas temperaturas entre 75 y 80% del agua de hidratación - se pierde y se asume que esto da como resultado una disminu--

ción del volumen, y por lo tanto la formación de huecos, lo cual conduce a una disminución en la resistencia a la corrosión.

El uso más importante de las capas de fosfato es el de vinculación y sello con aceites o pinturas, y por lo tanto, el estudio de valores de absorción será de vital interés. La tabla siguiente compara la absorción de alcohol diacetona en capas con amplias diferencias de espesores y composición.

TABLA II. PRUEBA ANALITICA DE CAPAS INDUSTRIALES DE FOSFATO

PROCESADO(*)	P	S	T	Q	V	R
CATION PRINCIPAL EN EL BAÑO	Fe	Mn	Zn	Zn	Zn	Zn
Método de aplicación	Inmersión	Inmersión	Rociado	Inmersión	Inmersión	Inmersión
Duración de tratamiento (Min)	15	30	15	4	5	12
Peso de capa (g/m^2)	14.2	21.2	4.46	5.43	3.48	12.28
PO_4^{3-} (g/m^2)	7.0	8.9	1.96	2.07	1.20	4.46
PO_4^{3-} contenido en la capa (%)	49.0	42.0	44.0	38.0	34.0	36.0
Humedad contenido en capa (%)	0.6	0.4	3.4	6.9	5.0	6.4
Higroscopicidad de capa (%)	0.3	0.2	1.2	1.3	1.0	1.5
Valor de absorción (g/m^2) (Alcohol Diacetona)	11.4	10.9	10.9	13.04	10.87	11.96

(*) Las letras usadas para la designación indican procesos patentados.

Enjuague

Después del fosfatado es necesario un enjuague con agua para remover las sales solubles, las cuales de otra manera -- tenderían a promover el ampollamiento bajo la película de pintura. Cuidando, claro está, de que el agua utilizada no contenga estas sales nocivas para el tratamiento. La experiencia ha demostrado que el agua utilizada es potencialmente dañina si excede cualquiera de los tres siguientes límites:

1. 70 ppm de cloruros y sulfatos totales (calculados como $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$)
2. 200 ppm de alcalinidad total (calculada como CaCO_3).
3. Máximo de 225 ppm de (1) y (2) juntos.

Se puede obtener una mayor resistencia a la corrosión y reducir la tendencia a la formación de ampollas por medio de un enjuague final con ácido crómico o preferentemente con una combinación de ácidos fosfórico y crómico. Altas concentraciones de ácido crómico en el enjuague incrementan la resistencia a la corrosión, particularmente por pasivación de algún metal sin protección o poros en las capas de fosfato, pero -- principalmente por absorción dentro de la capa.

La resistencia a la corrosión se eleva constantemente -- con incrementos de ácido crómico (normalmente se utiliza un -

contenido total de ácido con 0.05%, pero por arriba del 0.2% de éste la capa de fosfato se disuelve.

En años recientes se ha visto un gran incremento en el uso de agua desmineralizada para el enjuague, especialmente antes de la aplicación de la pintura electroforética.

El agua desmineralizada se aplica generalmente por chorros al final de todos los otros estados de tratamiento y permite observar un flujo obscuro dentro del último tanque de enjuague.

(IV.6) USOS

Además, de que a través de todo este capítulo se han mencionado varios de los usos de los procesos de fosfatado, es conveniente realizar un resumen con las aplicaciones más importantes a nivel industrial de estos recubrimientos.

La mayor utilización para los recubrimientos de fosfatos es como base para unir o enlazar pinturas al metal. La fosfatación de hierro y acero, y de zinc, cadmio, aluminio y las aleaciones de éstos es común. La selección de un proceso particular del uso específico de la capa y las facilidades disponibles de producción. Los fosfatos de hierro, zinc y fosfatos microcristalinos de zinc-calcio son usados muy comúnmente como base pintura para acero. Los fosfatos de hierro generalmente son aplicados de 0.30 - 1.10 g/m² para estampados en muebles y gabinetes metálicos. Los fosfatos de zinc y fosfa-

tos microcristalinos de zinc-calcio que forman capas pesadas de 1.1 - 6.5 g/m² usualmente son recomendados para cuerpos de automóvil, refrigeradores y dispositivos mecánicos. Fosfatos pesados de zinc y fosfatos de manganeso con capas en el rango de 11 - 43 g/m² son utilizadas en dispositivos para computadoras, tuercas, armas, sujetas papeles, etc. Este tipo de capa normalmente se utiliza en conjunto con aceites y ceras protectores.

Las capas de fosfato, también utilizadas ampliamente son en el estirado y formado en frío de metales. Los fosfatos de manganeso y fosfatos de zinc tiene una amplia utilización para estos propósitos, el uso de oxalatos complejos se recomiendan para ser aplicados a aceros inoxidables y aceros de alta aleación. Jabones, disulfuro de molibdeno y otros lubricantes se utilizan por lo regular conjuntamente con las capas para reducir la fricción entre el metal y el dado, eliminando atoramientos y desgaste de los mismos y así permitir un trabajo más rápido.

También, las capas de fosfatado son aplicadas en rodillos de empuje y partes de movimiento para reducir la escoriación y la fricción. En la industria automotriz una variedad de partes como anillos de pistón, line cilindros, tappets válvulas, cam shafts, gears, etc. se protegen con fosfato de manganeso. Estas capas son aplicadas cerca de 11-43 gramos/metro² y actúan como depósitos de aceites además son benefi-

cas durante los periodos de "break-in". El cadmio y el zinc -- son fosfatados para proveer la adhesión necesaria a la pintura.

Las soluciones fosfatantes que son usadas para cubrir materiales de aluminio generalmente contienen fluoruro, y algunos procesos utilizan cromato tal como el fosfato. Las capas de fosfato cromato son amorfas y presentan un coloreado de azul-verdoso a verde oscuro. El peso de las capas verdosas es aproximadamente de 2.2-2.7 g/m². Estas son eléctricamente no conductoras y atractivas, además son usadas extensamente en la forma sin pintura para propósitos decorativos. -- Los productos típicos de aplicación incluyen componentes aeronáuticos, vías de ferrocarril, materiales para techos, material para cercas, eslabones para cadenas, etc.

Un proceso de fosfatado alcalino se utiliza para producir una capa protectora sobre materiales de estaño. El proceso se utiliza para prevenir el ennegrecimiento del sulfuro del interior del estaño y para retardar la oxidación del exterior y entonces así podrá almacenarse en un ambiente húmedo.

La protección a la corrosión provista por las capas de fosfato sin un tratamiento de sellado es de bajo orden; sus valores cuando es sellada se incrementan considerablemente. -- Una prueba de corrosión sobre una capa no sellada será por lo tanto, de poco valor, exceptuando quizás para estudios de po-

rosidad o eficiencia de capas destinadas a ser selladas solamente con aceite.

La mención que ha sido hecha de la necesidad de controlar el radio ácido de los baños de fosfatado, particularmente los de hierro, zinc y manganeso que operan cerca del punto de ebullición, es para la producción de capas pesadas. A un punaje de 30 en estas soluciones el ácido libre se mantiene entre 12.5 y 15%; por arriba de éste figuran las capas que progresivamente disminuyen la resistencia a corrosión obtenida.

Capas gruesas de fosfato no son necesariamente más resistentes a la corrosión que las capas delgadas. De acuerdo con un proceso sencillo, por ejemplo zinc/hierro/fosfato/nitrato, se ha encontrado una relación entre la resistencia a la corrosión y los pesos de capa o metal disueltos,

Los procesos de fosfato conteniendo poco o ninguna cantidad de agentes oxidantes y basados en manganeso o zinc tienden a acumular hierro en la solución de trabajo. Con un contenido de manganeso de 0.2% a 0.5% es mejor para controlar al hierro en 0.2 a 0.4%; un mayor contenido de hierro reducirá la resistencia a la corrosión y permitirá la formación de capas delgadas quebradizas, mientras un menor contenido del mismo nos dará capas suaves.

Similarmente, los procesos operarán mejor con un porcentaje de zinc de 0.15 a 0.5% y de hierro de 0.4 - 0.5%. Nueva

mente, mayores porcentajes de hierro crearán falla para la resistencia a la corrosión y porcentajes menores producirán capas suaves.

TABLA IV. PROCESOS TIPICOS DE CAPAS DE FOSFATO

SOLUCION DE CAPA DE FOSFATO	ACELERADOR	TIEMPO DE INMERSION (MINUTOS)	TIPO DE CAPA	PESO DE CAPA (g/m ²)
HIERRO	NINGUNO	30	GRUESA	10.87 - 32.61
HIERRO /MANGANESO	NINGUNO	30	GRUESA	10.87 - 32.61
MANGANESO	NITRATO	15	GRUESA	8.70 - 32.61
ZINC	NITRATO	15	MEDIA	3.26 - 32.61
ZINC	NITRATO/NITRITO O CLORATO	3	DELGADA	1.09 - 6.52
SODIO/AMONIO	NINGUNO	1-2 Spray	MUY DELGADA	0.22 - 0.65

Los procesos de fosfato pueden ser clasificados de acuerdo al radical metálico principal de la solución de proceso y el tipo de acelerador utilizado; procesos típicos se dan en la tabla IV. La selección de procesos y de peso de capa depende principalmente del uso final del artículo procesado; -- los requerimientos generales para la protección a la corrosión y prevención del desgaste en uso están dadas en la tabla siguiente.

TABLA V. USOS TÍPICOS DE CAPAS DE FOSFATO EN ACERO

PESO DE CAPA (g/m ²)	PARA RESISTIR A LA CORROSION	PARA PREVENCIÓN DE DESGASTE Y FORMADO DE METAL
21.74 - 32.6	Equipo militar	Extrusión crítica en frío
10.87 - 21.74	Equipo militar, etc. requiriendo acabado en aceite o grasa	Extrusión en frío normal
5.43 - 10.87	Sujeta papeles, pijas, tornillos	Estirado.
2.17 - 2.72	Carros, refrigeradores, lavadoras	Prensado de hojas de acero.
1.63 - 2.17	Bicicletas, maquinaria de oficina	Prensado metales ligeros
0.22 - 0.65	Juguetes, muebles de oficina, etc.	

(IV.7) PROCESOS COMERCIALES

Existen actualmente numerosos procesos patentados que - llevan nombres tales como: Parkerizado, Bonderizado, Walterizado, tales procesos son utilizados principalmente en la protección metálica. Por otro lado, el Granodine 33 es un proceso para asegurar la adhesión de pintura para aceros protegidos por capas de zinc.

En el fosfatado comercial se utiliza una solución diferente dependiendo de los usos que se le darán al material y recubrimiento, ya sea para permitir una base para pintura o para cubrirse simplemente con aceite. En ambos casos, la ventaja puede ser doble, ya que se proporciona protección y además la

pintura o el aceite permanecerán en su lugar.

Los procesos de fosfatado descritos a lo largo de este capítulo son aplicables a superficies en las cuales han sido removidos previamente escamas, herrumbre y otros contaminantes. Sin embargo, existen también procesos utilizados para el tratamiento de superficies que involucran herrumbre, el objetivo en este caso será transformar es la transformación de la tosca capa de herrumbre en un inofensivo fosfato de hierro. Estos se aplican al tratamiento de pequeños artículos metálicos sin la necesidad de la utilización de una serie complicada de tanques. Se conoce que las preparaciones que son utilizadas para este propósito contienen ácido fosfórico, un agente oxidante y algunas veces un desoxidante contenedor. En algunos casos el fabricante recomienda un lavado con agua después del tratamiento, para remover el exceso de ácido; en otros casos, tal lavado no es necesario pero se recomienda tener cuidado - en no aplicar demasiado líquido, ya que la acumulación de ácidos residuales en grietas puede tener efectos desfavorables.

Capas para Hierro y Acero.

La primera aplicación comercial importante de capas de fosfato siguiendo las proporciones de Coslett, se realizó en 1908 para tratar partes de hierro y acero en una solución de ácido fosfórico y sulfato ferroso. En 1918, se encontró por la compañía Parker que el carácter de las capas era proporció

nado por el uso de una solución de fosfato primario de manganeso. En este proceso, más tarde conocido como "Parkerizado", el dióxido de manganeso es adicionado al baño, esto para demandar que la oxidación completa del fosfato para la formación de fosfato férrico es esencial. El tiempo requerido para el tratamiento es usualmente de 3-4 hrs. Mientras el proceso coslett, "Cosletizado", es ampliamente usado en Inglaterra para fosfatar partes de acero en bicicletas y otros artículos; tampoco el proceso original de Parkerizado fué apropiado para las necesidades de la expansión rápida de la industria del acabado. El incremento en el uso de capas de fosfato como una base para pintura fué conocido con el nombre de "Bonderizado", el nombre se dió por el proceso que proporciona el tratamiento. Más tarde se desarrolló el mejoramiento de los procesos reduciendo los tiempos de tratamiento y aplicación por rociado. Formulaciones especiales se encuentran disponibles en las cuales superficies de acero, zinc y aluminio de partes ensambladas pueden ser fosfatadas simultáneamente. Los tipos de capas de fosfatos usados para diferentes propósitos sobre hierro y acero son resumidos en la figura 6.

Consideraciones de Energía.

Debido a los recientes intereses industriales sobre el costo y la disponibilidad de combustible, los usuarios industriales se encuentran ansiosos de reducir los requerimientos de energía de todos los procesos procedentes. Muchas compa--

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

ñas y organizaciones han desarrollado procesos alternativos o equivalentes que podrían ser menos demandantes de combustible que los procesos tradicionales. Como regla general, muchos de los procesos comunes de conversión química o electroquímica pueden ser llevados a cabo a bajas temperaturas a condición de que las concentraciones de reactantes o tiempos de tratamiento sean incrementados. Muchos procesos químicos -- aproximadamente duplican la rapidez por cada 10°C de temperatura incrementados. Esta regla empírica sin embargo, admite muchas variaciones y excepciones, ya no podría ser incorporada en ningún proceso industrial sin la adecuada experimentación y prueba. Otra importante consideración es el hecho de que, a altas concentraciones, se presentan reacciones laterales que pueden asumir aumentos importantes con variados efectos sobre el proceso o el producto. Casi invariablemente, -- las altas concentraciones químicas son acompañadas con incrementos en los tiempos de reacción. Los efectos que causarían esta situación sobre la rapidez de producción no podría ser pasada por alto, por ejemplo las líneas de producción deberían de ser más lentas o disponer de espacio adicional. Los calentadores y hornos de baja temperatura deberán estar disponibles para quemar gas o aceite.

En esta dirección, sin duda alguna, continúan desarrollos y se aceleran constantemente, y así ha sido posible que la disponibilidad y costo de combustible lleguen a ser más y más accesibles.

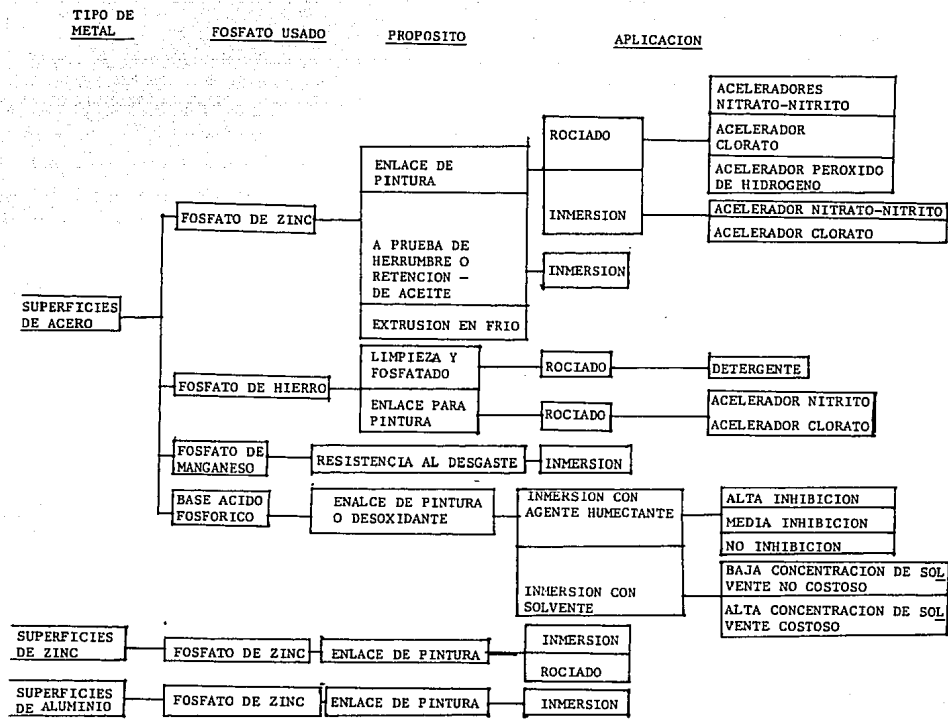


FIG. 6 RESUMEN DE TIPOS Y USOS DE CAPAS DE FOSFATO

(V) CONCLUSIONES

Conociendo la naturaleza de las reacciones de corrosión y los factores que influyen en la rapidez e intensidad del ataque, es posible hacer ciertas generalizaciones. Primero, todos los metales tienden a oxidarse en la atmósfera. Esta reacción primaria puede ser detenida así misma en algunos metales o puede continuarse a un punto en el cual las propiedades de ingeniería del material se pierden. Generalmente hablando, la rapidez de oxidación se incrementa al aumentar la temperatura.

En segundo lugar, cuando un metal se expone de tal manera que se encuentra directamente en contacto con el líquido, los iones metálicos tenderán a pasar a la solución. La tendencia a un ataque inicial es gobernada ampliamente por la naturaleza de la película que se ha formado naturalmente, sobre la superficie del metal.

Finalmente, tendremos factores los cuales localizan el ataque acelerando fallas de la estructura metálica por intensificación en la rapidez de la reacción, por formación de picaduras u otras características no benéficas. Entre los más importantes de estos factores tenemos el carácter del contac-

to entre metales con diferencias de potencial (E°) bastante - marcadas (metales disimilares); los constituyentes del metal- que proporcionan la penetración intergranular; la naturaleza- de las celdas de concentración; la forma del esfuerzo presen- te (estático o cíclico); y el flujo característico de fluidos en contacto con el metal (de choque, cavitación, etc.).

Con estos factores en mente, nosotros podríamos selec- - cionar el método practicable de control a la corrosión para - cada caso en particular.

Por otro lado, considerando que el método de protección- seleccionado sea el fosfatado, se puede concluir lo siguiente:

Existen varios procesos individuales para producir pelí- culas de fosfatos de hierro delgadas, cristalinas y adheren- tes en la superficie de artículos de acero, éstos normalmente constarán de una mezcla de fosfatos de zinc y manganeso. Es- tas películas absorben rápidamente y la capa aceitada confie- re una considerable medida de protección a la corrosión a ba- jo costo sobre hierro y acero, siempre y cuando la apariencia no sea muy importante. Las capas de fosfato son también un - excelente pretratamiento para aplicación de pintura o esmalte horneado sobre acero, asegurando una buena adhesión y desalen- tando la corrosión bajo la película de pintura, etc.

Los procesos de fosfatado son ampliamente usados en la -

industria, básicamente para tres distintos propósitos:

1. Prevenir la corrosión, con la aplicación de un recubrimiento simple y económico en máquinas y partes metálicas de acero. La capa formada de fosfato es de color mate o verde oscuro, ésta no es muy atractiva en su apariencia, pero proporciona altas propiedades protectoras. La capa formada es tratada, entonces, con una solución acuosa de un tinte negro y después del secado, tratada con aceite caliente, obteniéndose así, un mejor aspecto en las piezas recubiertas.

2. Las capas gruesas de fosfato, algunas veces impregnadas de aceite, son más comúnmente utilizadas para proporcionar un excepcional lubricante en los procesos de: prensado, estirado, formado y extrusión de aceros. Además, estas capas son aplicadas a engranes y otras partes deslizables para reducir la fricción. La capa, en este caso, no sólo mantendrá el aceite, sino que asimismo evita el contacto metal-metal, el cual es la causa de formación de escamas y atascamientos cuando se trabaja metal a metal.

3. La aplicación más extensa de las capas de fosfato es como una base para la aplicación industrial de pinturas, lacas y esmaltes. Las capas de fosfato incrementan ampliamente la adhesión de la capa orgánica a la base y también previene fuertemente la extensión lateral de la corrosión en los inevitables puntos de daño, los cuales podrían de otra forma causar ampollamiento de la película adyacente de pintura.

(VI) BIBLIOGRAFIA

1. Greathouse, G. and Wessel, C.J. Deterioration of Materials. The Electrochemical Society, Inc. U.S.A., 1954.
2. West, J.M. Basic Corrosion and Oxidation. Jhon Wiley and Sons, Inc. U.S.A. 1980.
3. Shreir, L.L. Corrosión, Metal/Evironmet Reaction. Vol.1 George Newngs Ltd. U.S.A. 1963.
4. Shreir, L.L. Corrosión, Corrosión Control. Vol. 2. - George Newnes Ltd. U.S.A. 1963.
5. Uhlig, H.H. Corrosion Handbook. Jhon Wiley and Sons, Inc. U.S.A. 1948.
6. Evans, U.R. The Corrosión and Oxidation of Metals, Practical Applications. Edward Arnodl Ltd. London 1979.
7. Sully, J.C. The Fundamentals of Corrosion. Pergamon Press Ltd. U.S.A. 1967.
8. Burns, R.M./Bradley, W.W. Protective Coatings for Metals. American Chemical Society. U.S.A. 1967.
9. Ashworth, V. Corrosión Industrial Problems. Treatment and Control Techniques. Pergamon Press Ltd. Kuwait 1987.

10. Fontana, M.G./Green, L.G. Corrosion Engineering. Plenum Press. U.S.A. 1972.
11. Natesan, K. Corrosion-Erosion Behavior of Materials. - The Metallurgical Society of AIME. U.S.A. 1980.
12. Evans, U.R. An Introduction to Metallic Corrosion. - - Edward Arnold Ltd. London 1973.
13. Stewart, Principles of Corrosion and Protection. Wiley U.S.A. 1972.
14. Avila, Javier/Genescá, Joan. Más allá de la Herrumbre. - Ed. FCE. La Ciencia Desde México. México, 1986.
15. Kirk-Othmer. Encyclopedia of Chemical Technology. Vol. - 15. American Chemical Society. U.S.A. 1980.
16. Longman, J./De Bussy, J.H. Materials and Technology. - Vol. III. The Metallurgical Society of AIME. London - - 1970.
17. Riggs, M./Locke, E. Anodic Protection. Plenum Press, - U.S.A. 1981.
18. Craig, H.L. (JR) Stress Corrosion - New Approaches. - Wiley. U.S.A. 1981.
19. Godard, Jerson, Bothwell and Kane. The Corrosion of - - Light Metals. The metallurgical society of AIME. - - U.S.A. 1967.