



01149

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN INGENIERÍA

MAESTRIA EN INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

INVESTIGACIÓN DE TECNOLOGÍAS AVANZADAS PARA  
RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS APLICADOS SOBRE ACERO DE  
ESTRUCTURAS, TUBERÍAS Y EQUIPOS EN LAS NUEVAS  
CONSTRUCCIONES DE LAS REFINERÍAS DE PETROLEO.

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA

ING. ELIZABETH VERASTEGUI BARRANCO

DIRIGE

M en C. LETICIA LOZANO RÍOS

Cd. Universitaria, Marzo 2005

m341552



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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 esta 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.

---

**JURADO ASIGNADO**

**PRESIDENTE: M. EN C. ALEJANDRO ANAYA DURAND**

**VOCAL: DR. CARLOS ESCOBAR TOLEDO**

**SECRETARIO: M. EN A. FERNANDO BAÉZ RAMOS**

**SUPLENTE: DR. JULIO LANDGRAVE ROMERO**

**SUPLENTE: M. EN C. JORGE LUIS AGUILAR**

**SUSTENTANTE: ING. ELIZABETH VERASTEGUI BARRANCO**

**TUTOR: M. EN C. LETICIA LOZANO RÍOS**

---

## AGRADECIMIENTOS

Con todo mi amor a mi hija, el motor que me impulsa a luchar por mis ideales. Este éxito también es tuyo.

A mi madre, la mujer que abandono sus sueños por hacer realidad los de los demás. Gracias por ayudarme a hacer realidad uno más.

Con toda la admiración a mi padre, quién siempre me enseñó el sentido de la responsabilidad y disciplina. Aquí se refleja tu obra.

A mis hermanas y sobrinos, por enseñarme el valor de la familia, por toda su comprensión y sobre todo su cariño incondicional. Gracias por tantas tardes inolvidables.

A la maestra Leticia Lozano, quién con su paciencia y amor a la docencia me mostró un panorama de oportunidades y retos como profesionista pero más que nada como ser humano. Gracias por ser esa llama que aunque se comparte nunca se consume.

Al Ing. Manuel Guevara, por guiarme con su experiencia en darle forma a esta investigación, muchas gracias por todo el apoyo y los comentarios.

A mi universidad y profesores, porque la educación es uno de los factores decisivos del desarrollo y el bienestar de una comunidad. Los pueblos no van más lejos de lo que su gente es capaz de pensar y de imaginar, y ese talento se pule en las universidades con la ayuda invaluable de su personal académico.

Al Centro de Investigación en Polímeros, en especial a Martha Carmona, por su cooperación en la recopilación de la información que sustenta esta investigación.

Elizabeth Verastegui

---

---

## CONTENIDO

▪ CAPÍTULO 1. HIPÓTESIS Y OBJETIVO.....	1-2
▪ CAPÍTULO 2. RESUMEN.....	3-4
▪ CAPÍTULO 3. INTRODUCCIÓN.....	5-20
▪ CAPÍTULO 4. MÉTODOS DE CONTROL DE CORROSIÓN.....	21-26
▪ CAPÍTULO 5. TECNOLOGÍAS AVANZADAS.....	27-49
▪ CAPÍTULO 6. GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE UN RECUBRIMIENTO APLICADO SOBRE ACERO EN UNA REFINERÍA DE PETRÓLEO.....	50-62
▪ CAPÍTULO 7. VALIDACIÓN DEL ESTUDIO (CASO PRÁCTICO)...	63-69
▪ CONCLUSIONES.....	70-72
▪ ANEXO 1. ENCUESTA.....	73-74
▪ BIBLIOGRAFÍA.....	75-76

## **CAPÍTULO 1. HIPÓTESIS Y OBJETIVO**

### **HIPÓTESIS**

La selección de los recubrimientos anticorrosivos la mayoría de las veces se hace basándose sólo en el costo y el servicio del equipo a proteger. Sin embargo es fundamental considerar las nuevas opciones tecnológicas avanzadas además de una serie de factores interrelacionados con el fin de hacer una selección efectiva; algunos de ellos son: la duración de los recubrimientos, el tiempo y la facilidad de aplicación. Deben además, tomarse en cuenta la emisión de solventes y compuestos dañinos a la atmósfera que repercuten en la salud del personal y del ecosistema, así como el ambiente al que estarán expuestas las instalaciones con el fin de conseguir el mayor desempeño en cuanto a durabilidad y protección con el costo más competitivo y amigable al ambiente.

### **OBJETIVO**

Realizar una investigación de las tecnologías avanzadas de los recubrimientos anticorrosivos aplicados sobre sustrato de acero de estructuras, tuberías y equipos empleados en las nuevas construcciones de las refinerías de petróleo, que facilite la selección del recubrimiento más acorde a las condiciones atmosféricas y de operación, de fácil aplicación, alto desempeño y con efectos mínimos al ambiente y a costo mínimo.

### **ALCANCE**

Se abarcó una investigación técnica y económica de las tecnologías avanzadas de pintura anticorrosiva para sustratos de acero utilizado en estructuras, tuberías y equipos en las nuevas instalaciones de las refinerías de petróleo. A partir de ella se presentó una guía que permitirá la selección del recubrimiento más acorde según el servicio destinado a proporcionar, pero solamente se consideraron a nivel atmosférico, es decir no se evaluaron estructuras del subsuelo o en el lecho marino, tampoco recubrimientos internos.

### **METODOLOGÍA**

Se realizó una investigación de las nuevas tecnologías de pinturas anticorrosivas que generalmente se aplican sobre acero que se emplean en las refinerías de petróleo. Para el

aspecto económico se tomaron los datos de los proveedores de pintura anticorrosiva y a partir de ellos se evaluaron los beneficios económicos de las tecnologías.

Posteriormente se planteó una guía que facilita la selección más adecuada del recubrimiento anticorrosivo.

El estudio realizado se avaló con una encuesta con fabricantes y usuarios de los recubrimientos. Este estudio sirvió para conocer la forma en que se hace la selección de un recubrimiento y detectar de este modo la necesidad de contar con una guía que auxilie en su selección.

## **JUSTIFICACIÓN**

En México los recubrimientos anticorrosivos en las refinerías de petróleo, generalmente, se seleccionan tomando como referencia la norma 2.132.01 de Petróleos Mexicanos, publicada en su tercera edición en 1974. Dicho documento no considera el análisis de nuevas tecnologías existentes en el mercado. Muchas veces los ingenieros de proyecto toman una decisión rápida en el momento de seleccionar un recubrimiento, pues los retrasos pueden generar pérdidas económicas significativas. De aquí que su selección se haga en base a la experiencia o bien bajo las recomendaciones de los proveedores de pintura, sin embargo los proveedores de recubrimientos sólo hablan de las bondades de sus productos y no presentan una alternativa que considere todos los aspectos mencionados en esta tesis

Por otro lado el cliente en muchas ocasiones no participa en la selección del recubrimiento, otras tantas ni siquiera queda establecido en los contratos de ingeniería. Estas consideraciones deben quedar plasmadas desde el inicio del proyecto pues si el recubrimiento no se selecciona y aplica adecuadamente los equipos pueden corroerse en un tiempo menor al garantizado ocasionando problemas a las firmas de ingeniería

## CAPÍTULO 2. RESUMEN

La corrosión se define como un proceso debido al desgaste de un metal debido a la acción química, o más comúnmente, como el ataque destructivo de este material por la reacción química del mismo con el ambiente.

Se ha dicho que las pérdidas económicas<sup>1</sup> debido a la corrosión de los metales, es del orden de billones de dólares alcanzando de un 2 a un 3 % de producto interno bruto en Estados Unidos.

La corrosión puede ser peligrosa, pues puede causar problemas de operación, tales como cambios de presión cuando se tapan las tuberías, o acelerar la degradación metalúrgica, ya sea provocando o apresurando la ruptura del material

Todos los métodos que existen para lograr controlar la corrosión de los materiales metálicos, son intentos para interferir con el mecanismo de corrosión, de tal manera que se pueda hacer que éste sea lo más ineficiente posible.

En la práctica, existen tres maneras para disminuir la corrosión:

- 1) Aislamiento del metal, el cual puede lograrse mediante el empleo de recubrimientos de un espesor suficiente para el aislamiento del metal con el ambiente.
- 2) Cambiando el sentido de la corriente en la pila de corrosión, lo que se conoce como protección catódica.
- 3) Inhibición del oxígeno disuelto adicionando ciertas sustancias inhibidoras, las cuales pueden llegar a polarizar uno de los electrodos de la pila de corrosión y por lo tanto, llegar a disminuir sus efectos.

El uso de recubrimientos anticorrosivos es uno de los métodos que mejor ha ayudado a reducir este problema. En este trabajo únicamente se consideraran las pinturas anticorrosivas y para los fines que aquí mencionados aquí, se les llamaran también recubrimientos.

El campo de los recubrimientos anticorrosivos han presentado un alto desarrollo en los últimos años, por ejemplo las primeras pinturas de este tipo eran a base de aceite, hule clorado, asfaltos o resinas fenólicas, las cuales presentaban un buen desempeño en zonas alejadas de las zonas industriales y del mar pero con el crecimiento de la industria estos materiales, fueron volviéndose obsoletos. Algunas de las razones por lo que ello sucedió



fueron: su lento secado, pues llegaban a ser hasta de 24 horas por cada capa de pintura aplicada y hay que considerar que por lo menos se aplicaban 3 capas, por otro lado estos materiales tenían una baja resistencia a los compuestos químicos, pues solían disolverse fácilmente. Todos estos aspectos se han ido superando a través de los años.

La aplicación de los recubrimientos en las nuevas construcciones de acero inoxidable plantean una serie de retos para que sean exitosas, pues es necesario que se acoplen a los cortos tiempos de aplicación, además de la dificultad de los puntos mencionados anteriormente.

Muchos recubrimientos pueden satisfacer las demandas del cliente en cuanto a protección y precio, siempre y cuando el recubrimiento sea perfectamente aplicado, de lo contrario hasta el recubrimiento técnicamente mejor fallará.

En esta tesis se trataron únicamente el aspecto de los recubrimientos anticorrosivos empleados en las refinerías de petróleo ubicadas en las zonas costeras.

El propósito de este trabajo es proporcionar una evaluación general de las tendencias en las tecnologías anticorrosivas para sustratos de acero, principalmente al carbón, inoxidable y galvanizado, que facilite la selección del recubrimiento más acorde, selección que considere los aspectos inherentes al ecosistema, así como la competitividad, costos y la calidad.

## CAPÍTULO 3. INTRODUCCIÓN

Todos los materiales de construcción en uso se deterioran, debido a la naturaleza química del proceso. A esto técnicamente se le conoce como corrosión, la cual es un factor que determina la diferencia entre la operación libre de problemas y aquella con tiempos muertos sumamente costosos. Puesto que prácticamente es imposible eliminar dicha deterioración, los esfuerzos científicos han ido encaminados más que prevenirla a controlarla, ya que los problemas de corrosión aparecen una vez construidas las instalaciones y puestas en operación.

Todos los metales y sus aleaciones son susceptibles a la corrosión así, por ejemplo, el oro, conocido por su excelente resistencia en la atmósfera terrestre, se corroe si se expone al mercurio a temperatura ambiente; por otra parte, el fierro no se corroe en el mercurio, pero se enmohece con facilidad en la Tierra

Qué es la corrosión

Para los fines de este trabajo se considerará a la corrosión como el deterioro que ocurre cuando un material, generalmente un metal, reacciona con su ambiente.<sup>2</sup>

La presencia de la corrosión puede tener consecuencias directamente indirectas, tales como:

- El reemplazamiento del equipo corroído
- El sobrediseño, a fin de permitirle que proceda lentamente
- El mantenimiento preventivo
- Los tiempos muertos
- La contaminación de los productos
- La pérdida de la eficiencia
- La pérdida de productos valiosos
- El daño del equipo adyacente donde ha ocurrido la falla, etc.

Además de estos resultados que produce pérdidas económicas, existen otros que se refieren a daños a la sociedad, entre los que se cuentan:

- Seguridad: Una falla repentina puede producir fuego o explosiones con desprendimiento de productos tóxicos, colapso, etc.

- Salud: Esta se afecta por la contaminación atmosférica, debido a los productos que escapan del equipo corroído o los productos de la corrosión misma.
- Agotamiento de los recursos naturales: Para producir una tonelada de acero se requieren cuatro toneladas de carbón asimismo se requieren cantidades de otros metales aleantes.
- Apariencia: Del equipo severamente dañado produce una impresión desagradable a la vista de cualquier persona.

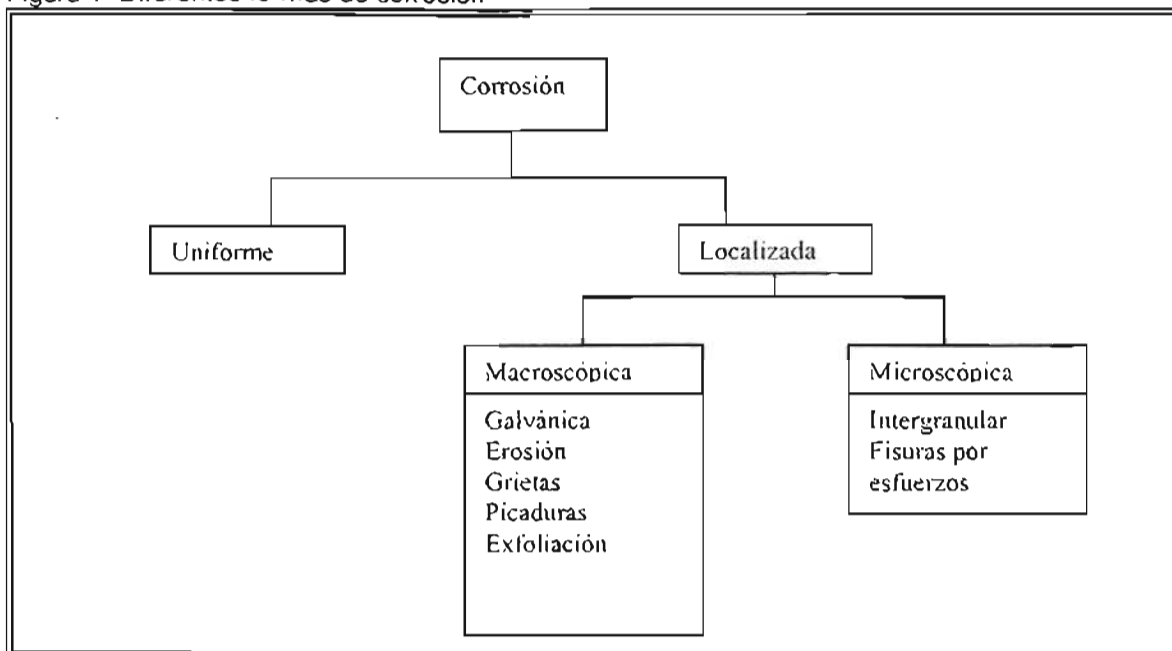
#### Clasificación de la corrosión

La corrosión se presenta en muy diferentes formas y su clasificación se basa normalmente, en cualquiera de estos tres factores:<sup>3</sup>

1. La naturaleza del agente corrosivo. De acuerdo a este factor puede clasificarse en "húmeda" y "seca". Para la primera siempre se requiere la presencia de humedad; un ejemplo de ésta sería la corrosión del acero por el agua. La corrosión seca, a temperaturas ordinarias, generalmente no se toma en cuenta; pero en algunas veces basta la presencia de la humedad o del agua para que el panorama cambie completamente. Por ejemplo, el cloro seco a temperatura ambiente, prácticamente no corroe al acero; sin embargo el cloro húmedo es extremadamente corrosivo.
2. El mecanismo de la corrosión. Este factor incluye tanto a las reacciones químicas como electroquímicas.
3. La apariencia del metal corroído. Este punto se refiere a que la corrosión puede ser "uniforme", cuando el metal se deteriora sobre toda su superficies a una velocidad constante, o bien, puede ser "localizada", en este caso sólo se ven afectadas pequeñas áreas del material, sin embargo, es el tipo de corrosión a la que se debe dar atención especial porque produce fallas no predecibles.

Se puede hacer una distinción posterior entre la corrosión macroscópicamente localizada o el ataque microscópico local, Fig. 1. este último tipo de corrosión rara vez se extiende más allá de la debilidad estructural que produce y la cantidad de metal disuelto disminuirá, pero puede ocurrir un daño de consideración antes que el problema sea visible. Esta forma de corrosión se presenta en los líquidos electrolíticos conductores de la electricidad.

Figura 1- Diferentes formas de corrosión



Para la formación de una celda de corrosión se requiere de cuatro elementos básicos: a) un ánodo, que es por donde el metal entra al seno de la solución; b) un cátodo, que es por donde entra la corriente eléctrica que proviene de la solución y protege al metal; c) un electrólito que facilite la transferencia de la corriente; y d) un conductor metálico que generalmente es proporcionado por el mismo metal. Los ánodos u los cátodos pueden estar muy cerca unos de otros o, bien muy separados. La corriente puede ser autoinducida o bien proporcionada al sistema a partir de una fuente externa.

La corrosión atmosférica es difícil de comprender en su totalidad debido a la complejidad de las variables que determinan la cinética de las reacciones de corrosión. Las atmósferas varían considerablemente con respecto a la humedad, temperaturas y a los contaminantes; de aquí que las velocidades de corrosión varíen marcadamente en cualquier lugar del mundo.

La composición de la atmósfera es prácticamente constante para cualquier parte del mundo, pero el contenido de vapor de agua varía de acuerdo a la región climatológica, la estación del año, la hora del día, y los contaminantes atmosféricos. A medida que uno se aproxima a la costa, el aire se carga con cantidades de impurezas que aumentan el contenido de las sales marinas, en particular el cloruro de sodio, NaCl. En las zonas industriales, se

encuentran cantidades apreciables de  $\text{SO}_2$ , el cual se convierte a ácido sulfúrico, y pequeñas cantidades de  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{NO}_2$  y de varias sales suspendidas.

El efecto de los ácidos, las bases y las sales oxidantes sobre los metales se demuestra en las siguientes reacciones:

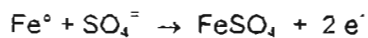
Ácidos inorgánicos como el sulfúrico, clorhídrico, etc.

Reacción general:  $2 \text{M}^0 + 2 \text{H}^+ \rightarrow 2 \text{M}^+ + \text{H}_2$ ; donde M es un metal

Alcalis o bases, como los hidróxidos de sodio, calcio y amonio.

Reacción general:  $\text{M}^{++} + 2 \text{OH}^- \rightarrow \text{M}(\text{OH})_2$  donde M es un metal

Sales oxidantes como los cloruros y sulfatos.



En los ambientes industriales se deben especificar recubrimientos de larga vida. El uso correcto de estos materiales demandan una preparación de superficie rigurosa y una mano de obra calificada para la aplicación e inspección, para el éxito de los recubrimientos anticorrosivos.

### Costos de la corrosión

La NACE Corporation realizó un estudio para conocer el costo de la corrosión en los Estados Unidos entre los años 1999 y 2001. Los sectores donde se realizó el estudio fueron:

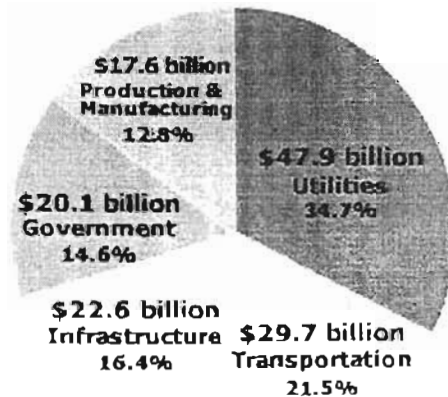
En dicho estudio el costo de la corrosión consistió en un análisis de:

1. Costo del diseño, manufactura y construcción:
  - Selección de materiales: tales como el reemplazo del acero al carbón por acero inoxidable.
  - Costo de un sobrediseño.
  - Costo de materiales para mitigar la corrosión como son: los recubrimientos, inhibidores de corrosión, protección catódica y

- Costos de aplicación, mantenimiento y equipo.
2. Costos administrativos y otros
- Inspección,
  - Mantenimiento,
  - Reparación de fallas

Los costos que resultaron de este estudio se presentan en el gráfico 1.

Gráfica 1. Costo de la corrosión en los Estados Unidos en 1998-2001



Disponible en: <http://www.cortesi.com/cost/corr/corrusl000001s.html> /Fecha de consulta: Marzo 14 2004

Las refineras se contemplaron en el sector de producción y sólo para éstas el costo de la corrosión se estimó en \$3.7 billones de dólares, y el costo destinado a mantenimiento fue de \$1.8 billones de dólares.

La suma de los costos de la corrosión arrojó US \$ 121 mil millones equivalentes al 1.38 % del PIB de los Estados Unidos en el 2001.

### Aceros inoxidables

Los aceros inoxidables son los materiales pasivos más importantes, esta pasividad se debe a la composición de la película de la superficie así como su estructura química. Estos materiales son aleaciones ferro-cromo con un mínimo de 11% de cromo, lo que equivale a un promedio de 2 nm de óxido de cromo microcristalino.<sup>4</sup>

El agregado de otros elementos a la aleación permite formar un amplio conjunto de materiales, conocidos como la familia de los aceros inoxidable. Entre los elementos de aleación, dos se destacan: el **romo**, elemento presente en todos los aceros inoxidable por su papel en la resistencia a la corrosión y el **níquel** por la memoria en las propiedades mecánicas.

La siguiente es una visión panorámica de la familia de los aceros inoxidable, sus principales características y aplicaciones.

*Algunas aplicaciones de los aceros inoxidable*

<http://www.inoxidable.com/introduccion.htm>

Tipo de acero inoxidable	Aplicación
Austenítico (resistente a la corrosión)	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ equipos para industria química y petroquímica</li> <li>→ equipos para industria alimenticia y farmacéutica</li> <li>→ construcción civil</li> </ul>
Ferrítico (resistente a la corrosión, más barato)	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ electrodomésticos (cocinas, heladeras, etc.)</li> <li>→ monedas</li> <li>→ industria automovilística</li> </ul>
Martensítico (dureza elevada)	<ul style="list-style-type: none"> <li>→ cubiertos</li> <li>→ instrumentos quirúrgicos como bisturi y pinzas</li> <li>→ discos de freno</li> </ul>

**Aceros inoxidable austeníticos**

Los aceros inoxidable austeníticos **no son magnéticos** y no pueden ser endurecidos por tratamiento térmico. Son muy dúctiles y presentan excelente soldabilidad.

El inoxidable austenítico más popular es el **Tipo 304**, que contiene básicamente 18% de cromo y 8% de níquel, con un tenor de carbono limitado a un máximo de 0,08%. Tiene gran aplicación en las industrias químicas, farmacéuticas, de alcohol, aeronáutica, naval, uso en arquitectura, alimenticia, y de transporte. Es también utilizado en cubiertos, vajillas, piletas, revestimientos de ascensores y en un sin número de aplicaciones.

En determinados medios, especialmente en aquellos que contienen iones cloruro, el inoxidable 304 muestra propensión a una forma de corrosión llamada **corrosión por picadura y hendedura**

El **molibdeno** es introducido como elemento de aleación en los aceros inoxidables precisamente para disminuir la susceptibilidad a estas formas de corrosión. La presencia de molibdeno permite la formación de una **capa pasiva** más resistente y en casos en que el inoxidable 304 no resiste a la acción de determinados medios, corroyendo por picado o por rendijas, los **inoxidables 316 y 317** constituyen una excelente solución. Son aceros con gran utilización en las industrias químicas, de alcohol, petroquímicas, de papel y celulosa, en la industria petrolífera, industrias textil y farmacéutica.

Cuando están sometidos por algún tiempo a las temperaturas entre 450 y 850 °C, los aceros inoxidables austeníticos están sujetos a la precipitación de carburos de cromo en sus contornos de granos, lo que los torna **sensibilizados**. Esta precipitación abundante de carburos, la sensibilización, resulta en la disminución del tenor de cromo en las regiones vecinas a los bordes, regiones que tienen así su resistencia a la corrosión drásticamente comprometida, tomando el material susceptible a la **corrosión intergranular** en ciertos medios. Las zonas térmicamente afectadas por operaciones de soldado son particularmente sensibles a esta forma de corrosión, ya que durante el ciclo térmico de soldado parte del material es mantenido en la faja crítica de temperaturas. La consideración de este fenómeno llevó al desarrollo de los inoxidables austeníticos extra bajo carbono, **304L, 316L y 317L**, en los cuales el contenido de carbono es controlado en un máximo de 0,03%, quedando así extremadamente reducida la posibilidad de sensibilización.

La utilización de **estabilizadores** tiene también la finalidad de evitar el problema de la sensibilización. El **titanio**, adicionado como elemento de aleación, inhibe la formación de carburo de cromo debido al hecho de tener una afinidad mayor por el carbono que aquella que tiene el cromo. Así, se precipita **carburo de titanio** y el cromo permanece en solución sólida. Con la misma finalidad puede ser utilizado el **niobio**.

Tanto el titanio como el niobio son estabilizadores del carbono y los aceros inoxidables así obtenidos, el **321** y el **347** son conocidos como **aceros inoxidables estabilizados**. El inoxidable **316 Ti** es la versión estabilizada del **tipo 316**. Para aplicaciones en equipos que operan entre 400 y 900 °C, los aceros inoxidables estabilizados son los más recomendados, ya que conservan mejores propiedades mecánicas en esas temperaturas que los aceros de extra bajo carbono.



En el inoxidable 904 L (20Cr-25Ni-4,5Mo-1,5Cu), la adición de elementos de aleación busca mejorar no sólo la **resistencia al picado** sino también la resistencia a la **corrosión en medios ácidos**.

En los casos en que se pretende una buena **resistencia mecánica** y no existe gran preocupación por la **corrosión intergranular**, los aceros inoxidables **304H** y **316H**, con tenores de carbono en el rango de 0,04/0,10%, son recomendados. La precipitación de una fina red de carburos de cromo, tan perjudicial bajo el punto de vista de la corrosión, se torna benéfica cuando lo que interesa son las propiedades mecánicas.

Aumentos considerables en los tenores de cromo y níquel permiten elevar la temperatura de formación de cascarilla (escamado) de los aceros inoxidables austeníticos. El inoxidable 304 es recomendado para trabajo al aire libre, a temperaturas inferiores a 925 °C en servicios continuos. En las mismas condiciones, el **inoxidable 310**, con cromo 24/26% y níquel 19/22%, resiste temperaturas de hasta 1150 °C. Es un material clasificado como **acero inoxidable refractario**.

Grandes aumentos de níquel, llevan a las **aleaciones Ni-Cr-Fe**, donde el elemento con mayor presencia en el material ya no es el hierro sino el níquel, Estos materiales no son conocidos como aceros inoxidables sino como aleaciones a base de níquel y presentan excelente resistencia a la corrosión en diversos medios a altas temperaturas. El elevado tenor de níquel da también garantía de una buena resistencia a la corrosión bajo tensión.

El inoxidable 304 es un material con excelente ductilidad. Para casos de estampado extra profundo, un aumento en el tenor de níquel permite mejorar todavía más la ductilidad. Con esta finalidad fue desarrollado el **Tipo 305**.

Ligeras reducciones en el tenor de níquel disminuyen la estabilidad de la austenita, permitiendo la aparición de martensita inducida por deformación en frío, consiguiéndose así excelentes propiedades para aplicaciones estructurales. Es el **Tipo 301**, disponible en las versiones **1/4, 1/2, 3/4**.

El **Tipo 303** resulta del aumento del tenor de **azufre** en el 304 con la finalidad de mejorar la maquinabilidad. La ductilidad y la resistencia a la corrosión quedan comprometidas por este aumento en la cantidad de azufre.

Los aceros de la **serie 200**, resultan de una sustitución parcial de níquel por **manganeso**. Son utilizados en aplicaciones estructurales, presentando resistencia a la corrosión inferior al 301.

Normalmente la superficie del acero posee una delgada capa de óxido, la cual se forma inmediatamente, el espesor llega a ser de 10 nanómetros en 2 minutos a 18 °C. Si la corrosión atmosférica no tomará lugar, esta capa siempre estaría entre 10 y 20 nanómetros. Desafortunadamente esta capa de óxido genera pequeñas zonas (celdas corrosivas) donde se forma un ambiente corrosivo.<sup>5</sup>

Los tipos de óxidos que se forman son la magnetita,  $Fe_3O_4$ , la hematita,  $Fe_2O_3$  y la wöstonita,  $FeO$ .<sup>6</sup>

Estos óxidos son inestables en presencia de agua, por ejemplo en condiciones ácidas la corrosión es más rápida en comparación con pH entre 10 y 13. Debido a esto los recubrimientos empleados sobre materiales de acero deben ser impermeables al oxígeno y la humedad, además de tener alta resistencia a la corrosión. Deben contar con una alta adherencia al sustrato, alta dureza y resistencia a la abrasión.

### **Condiciones Ambientales De Las Refinerías De Petróleo**

#### **Suelo**

El terreno o suelo por su contenido variable de humedad sales y materia orgánica en descomposición es el electrólito más complejo de todos los que se pueden encontrar.<sup>7</sup>

El suelo generalmente es un medio heterogéneo en donde se dan muchas variaciones en la velocidad de corrosión del acero. Un suelo natural contiene los siguientes elementos: arena, arcilla, cal y humus. Estos componentes pueden estar mezclados en el suelo en diferentes proporciones que darán lugar a distintos grados de agresividad.

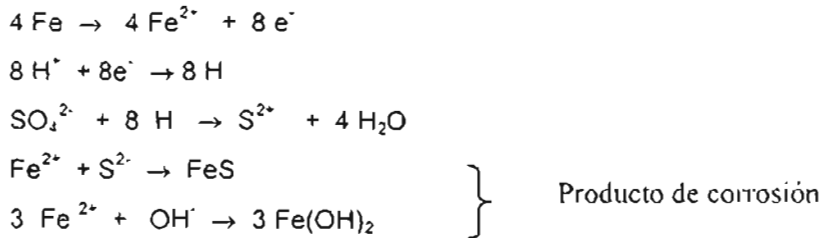
Por lo general, los suelos arenosos, margo-arenosos, margo-calcáreos y calcáreos no son agresivos; los suelos arcillosos en algunas condiciones son agresivos. Los que son agresivos de por sí son las turbas, los humus libres de cal y también los suelos cenagosos y de aluvión.

Los suelos artificiales, esto es los formados por escorias y basuras, elementos en putrefacción y residuos humanos e industriales también son agresivos.

Por otro lado la corrosión en los equipos y tuberías sobre el suelo o enterradas puede ser consecuencia de una acción microbiana. Este proceso es el resultado de la actividad

metabólica de un microorganismo (la bacteria *Sporovibrio desulfuricans*) que se desarrolla en ausencia completa de oxígeno libre (condiciones anaerobias).

Para oxidar el hidrógeno de estos medios nutritivos orgánicos, esta bacteria no utiliza medios nutritivos orgánicos, esta bacteria no utiliza el oxígeno libre, sino el ion sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), reduciéndolo a sulfuro ( $\text{S}^{2-}$ ). Uno de los mecanismos más comúnmente aceptados para explicar lo anterior es el siguiente:



El resultado neto es que la corrosión continúa y se denomina corrosión anaerobia. Los síntomas característicos en las conducciones metálicas son el ennegrecimiento local del suelo por la formación del sulfuro de hierro y a veces el olor a ácido sulfúrico

La velocidad de corrosión está ligada a la resistividad del terreno, pues nos permite tener una idea de su agresividad. Ver tabla 1.

Tabla 1. Grado de agresividad del suelo en función de la resistividad <sup>1</sup>

Resistividad ( $\Omega \cdot \text{m}$ )	Grado de agresividad
< 10	Severo
10 – 100	Discreto
100 – 1000	Escaso
>1000	Nulo

La resistividad de un terreno depende, en particular, de su estructura, de las dimensiones de sus partículas constituyentes, de su porosidad y permeabilidad, del contenido de agua (humedad) y de su contenido de iones.

En principio la cantidad de agua del suelo se relaciona con la agresividad de éste sin embargo el agua llega a saturar el suelo impidiendo el flujo de oxígeno reduciendo así su agresividad.

El contenido de oxígeno del suelo desciende según la profundidad. En suelos neutros o alcalinos la concentración de oxígeno tienen un efecto importante en la velocidad de corrosión dada la participación de este gas en las reacciones catódicas. En algunos suelos donde existe la presencia de bacterias anaeróbicas la sensible disminución del oxígeno va acompañada de un severo incremento en la agresividad.

Se ha encontrado que la temperatura no ejerce una influencia tan marcada, a menos que supere el punto de congelación del agua, después de lo cual hay un aumento significativo de la resistividad.

Por lo tanto la resistividad de un terreno y especialmente la de los estratos superiores, puede variar notablemente con las estaciones del año, la precipitación pluvial, la actividad agrícola e industrial, etc.

En lo que se refiere a la acidez, los suelos muy ácidos ( $\text{pH} < 5.5$ ) pueden motivar una rápida corrosión del metal desnudo, y la agresividad del suelo aumenta con el incremento de la acidez (disminución del pH), pero estos valores de pH no son normales. La mayor parte de los suelos tienen pH comprendidos entre 5.0 y 8.0 en cuyo caso la corrosión depende de otros factores. En suelos alcalinos parece existir una cierta correlación entre conductividad y agresividad.

En un medio anaerobio es posible predecir la corrosión midiendo el pH y el potencial redox. Estas medidas permiten establecer las condiciones que favorecen la actividad microbiológica responsable de la corrosión anaerobia. El pH más favorable es entre 5.5 y 8.5 (neutro). En estas condiciones, la medida del potencial redox efectuada con un electrodo de platino, permite establecer si un terreno está predispuesto al crecimiento de bacterias sulfato-reductoras, tal y como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Grado de agresividad del suelo por bacterias sulfato-reductoras en función del potencial redox

Valor del potencial redox en mV vs electrodo de hidrógeno	Grado de agresividad potencial (posibilidad de corrosión anaerobia)
< 100	Severa
100 – 200	Moderada
200 – 400	Escasa
> 400	Nula

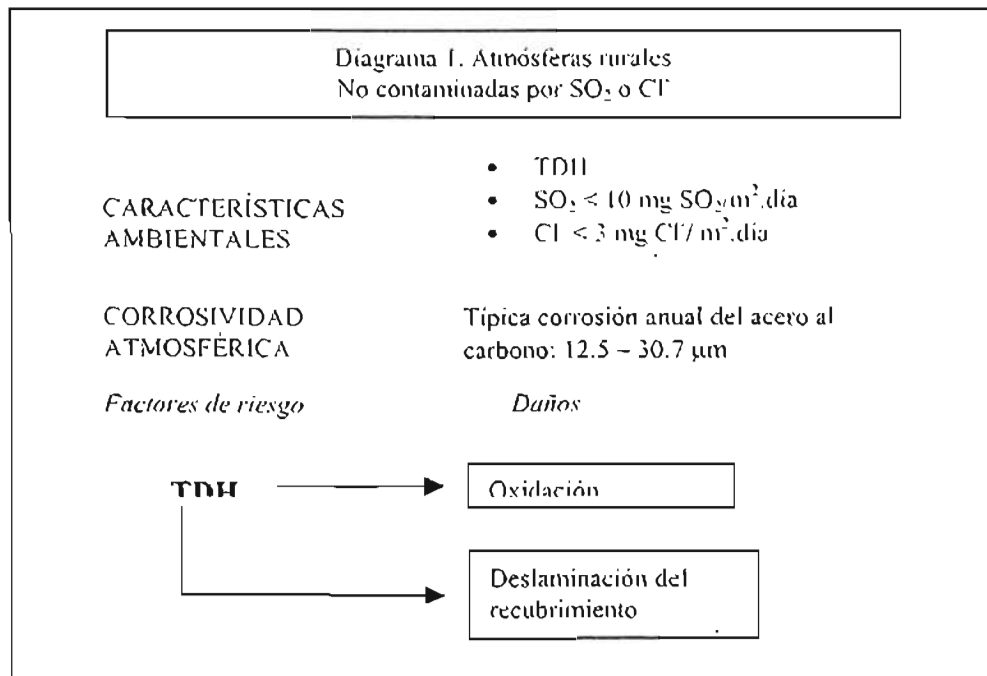
Cabe mencionar que cuando el crecimiento y desarrollo de bacterias anaerobias es nulo, puede existir la posibilidad de que se desarrollen otras familias de bacterias aerobias particularmente dañinas como son los tiobacilos (*Ferrobacillus ferrooxidans*), que son capaces de oxidar el azufre y los sulfuros para convertirlos en ácido sulfúrico..

Para tener un buen control de la corrosión de las estructuras sobre el suelo o enterradas se deben combinar dos tipos de protección: un buen recubrimiento y un sistema catódico.

### Atmósfera

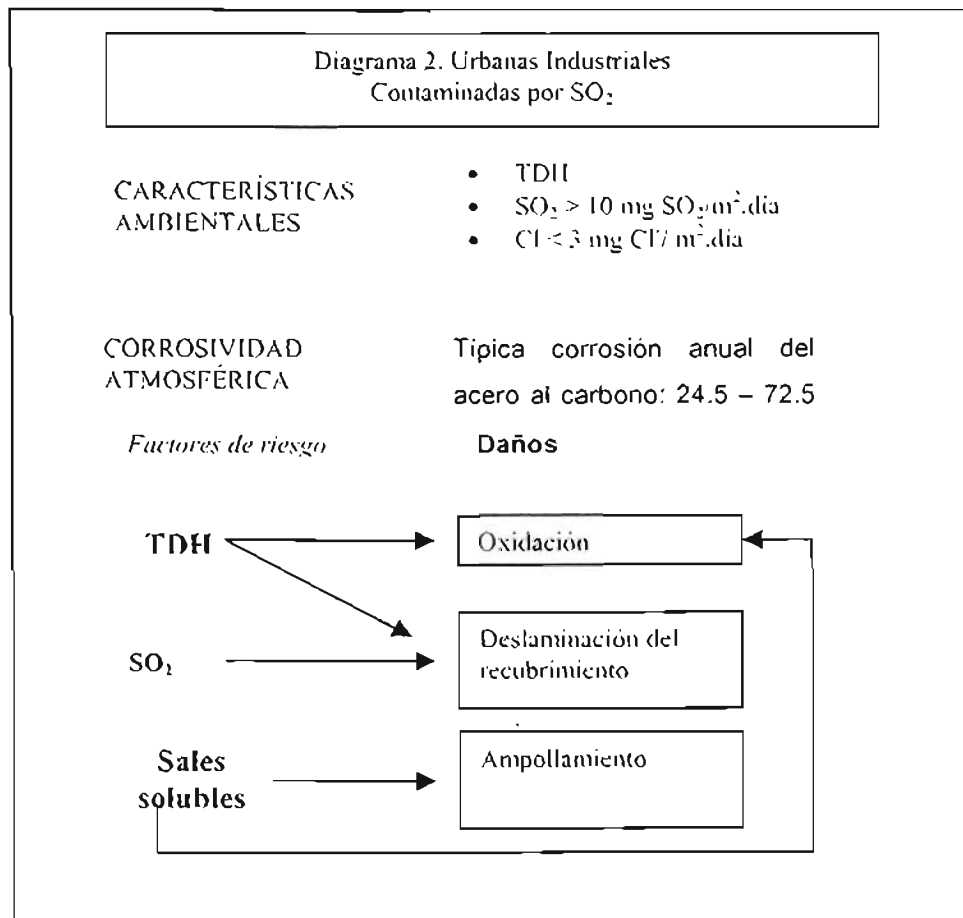
A temperatura ambiente y en una atmósfera perfectamente seca, la magnitud de la corrosión atmosférica puede ser ignorada a efectos prácticos. La corrosión atmosférica adquiere relevancia, en cambio, sobre superficies humedecidas, por los procesos electroquímicos vistos anteriormente.<sup>8</sup>

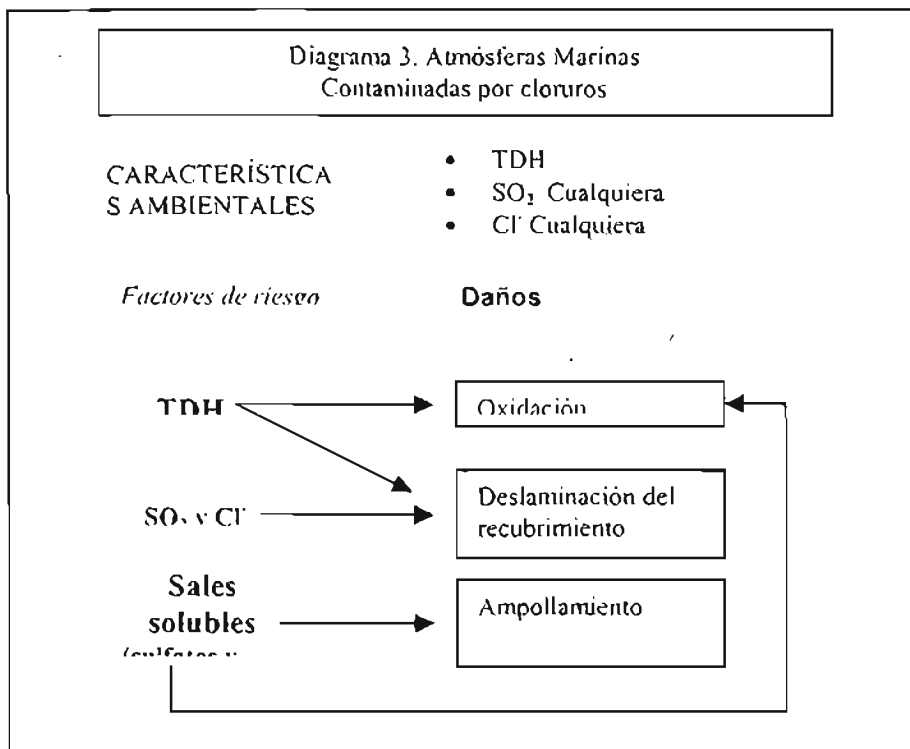
El proceso de corrosión atmosférica es suma de los procesos parciales (individuales) de corrosión que tienen lugar cada vez que se forma una capa de electrolito sobre el metal. Las precipitaciones acuosas (lluvia, nieve o niebla) y la condensación de humedad por cambios de temperatura (rocío) son, sin duda, los principales promotores de la corrosión atmosférica. La suma de los tiempos parciales de estos procesos de humectación se conoce como tiempo de humectación (TDH). Ver diagrama 1.



Sin embargo, para que la velocidad de corrosión sea realmente importante, la atmósfera debe estar, además, contaminada. Situación de alta prioridad en las refinerías de petróleo.

De los contaminantes atmosféricos, los iones cloruro (Cl<sup>-</sup>) y el anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) son los más comunes agentes corrosivos de la atmósfera. La fuente más importante de emisión de los iones cloruro los constituye el mar, siendo los efectos más acusados cerca de la orilla, donde el aire transporta grandes cantidades de sal y se produce una continua pulverización del agua de mar. El SO<sub>2</sub> procede de fuentes tanto naturales como artificiales. La fuente natural del SO<sub>2</sub> es la actividad volcánica, en tanto que las emisiones artificiales de SO<sub>2</sub> proceden principalmente del quemado de combustibles fósiles donde el azufre está presente, como es el caso de la refinerías de petróleo. Ver diagrama 2 y 3.





Otros componentes que se encuentran en las refinerías de petróleo (es el ácido sulfhídrico y los mercaptanos. También el gas nitrógeno proveniente de los procesos catalíticos de “cracking”. En algunas condiciones el nitrógeno puede formar amoníaco y cianuros. El ácido clorhídrico es muy común en las columnas de destilación y en las fracciones condensadas de petróleo. También es viable la presencia de materiales como el hidróxido de sodio y la cal que se emplean en la neutralización del H<sub>2</sub>S en los hidrocarburos. El crudo suele contener cantidades sustanciales de ácido nafténico, sustancia altamente corrosiva.

Una técnica que puede presentar algo de información sobre estos contaminantes en la atmósfera son los mapas de corrosión.

La elaboración de estos mapas no es una tarea fácil, pues la corrosión de los metales puede ser decenas e incluso centenares o millares de veces mayor de un lugar a otro, debido a la cantidad de factores involucrados en la corrosión atmosférica como son: climáticos, de contaminación, etc. que presentan una gran variación de unos lugares a otros del globo. Generalmente los mapas de corrosión no incluyen todas las atmósferas (rurales, urbanas, industriales, costeras, etc), además debe considerarse que el componente marino de la atmósfera suele perderse a tan sólo unos kilómetros de la costa. Otra dificultad reside en representar la corrosividad de las zonas industriales pues estas cambian con el tiempo.

Un mapa de corrosividad para la República Mexicana puede consultarse en la referencia 9 de la bibliografía.

Para el caso de la determinación de la corrosividad atmosférica en México es necesario considerar que el que el clima presenta notable variaciones ya que va desde el desértico, característico de la zona norte, hasta el tropical húmedo (sur, sur-este) pasando por el templado. La determinación del tipo de clima es función de la cantidad de energía solar recibida, temperatura (máximas, mínimas y promedios), humedad, precipitación, intensidad y duración de los vientos. Asimismo para México habrá que considerar la notable extensión de litorales (11,122 km de acuerdo al INEGI), ya que si bien la mayor parte de la población se concentra en el altiplano, en la costa existen ciudades importantes, en varias de las cuales se combina los efectos de la alta concentración de sales, típica de la costa, con la de contaminantes característica de una intensa actividad industrial. Todo lo anterior conjugado con temperaturas anuales promedio superiores a los 18 °C que se traducen en prolongados tiempos de humectación, y como consecuencia elevados grados de corrosividad atmosférica.

Los recubrimientos de pintura aplicados a los materiales de construcción cumplen una doble función: la función protectora y la función decorativa. La exposición atmosférica puede conducir a la pérdida de ambas funciones. Así, con el paso del tiempo, los recubrimientos van perdiendo brillo y coloración iniciales, se ampollan, dejan de proteger el acero, se agrietan, se delaminan del soporte del acero, etc.

Es bien conocido el hecho de la degradación que sufren todos los materiales como consecuencia de la acción atmosférica. Entre los factores principales de la atmósfera responsables del envejecimiento de los materiales destacan el oxígeno, la humedad, la contaminación y muy particularmente la radiación global solar. Todos estos factores quedan englobados en lo que se denomina "macroclima" de una región determinada. El "microclima" queda definido, además, por otra serie de parámetros como son el tiempo de humectación, (TDH) de la superficie de este determinado material (o porcentaje del tiempo en que la superficie permanece húmeda), la temperatura que alcanza ese objeto determinado, la concentración de los diversos contaminantes atmosféricos alrededor del objeto, etc. Tanto el macroclima como el microclima juegan un papel decisivo en la durabilidad de los materiales expuestos a la acción atmosférica.

Así pues los requerimientos de protección anticorrosiva van a ser también función de la agresividad atmosférica (corrosividad) propia del lugar donde esté ubicada la estructura que se desea proteger.



Hay que considerar que con frecuencia la aplicación de los sistemas de pintura se realiza una vez finalizada la construcción de acero, por lo que ésta ha estado expuesta sin protección alguna durante un cierto tiempo a la acción corrosiva de la atmósfera. Los contaminantes atmosféricos ( $\text{Cl}^-$  y  $\text{SO}_2$ ) pueden ejercer durante este período un papel decisivo en el comportamiento del sistema de pintura. La existencia de herrumbre y residuos salinos solubles (sulfatos y cloruros de hierro) en la intercara acero/recubrimiento de pintura puede forzar la entrada de agua a través del recubrimiento por efectos osmóticos, dando lugar a ampollamientos de película y a la formación acelerada de herrumbre en el acero subyacente, con el consiguiente deterioro del recubrimiento.

## CAPÍTULO 4. METODOS DE CONTROL DE CORROSION

La tendencia de los metales a corroerse es un fenómeno natural que debe reconocerse como inevitable. El ser humano busca controlar sus efectos destructores con un mínimo de costo y para esto existen cinco métodos: <sup>10</sup>

1. Uso de materiales de construcción resistentes a la corrosión
2. Modificación del ambiente: uso de inhibidores
3. Protección catódica
4. Criterios de diseño
5. Protección por barreras: esquemas de recubrimientos

Algunos autores consideran el sobrediseño como un método de control de corrosión, sin embargo éste no reduce la velocidad de corrosión y sólo afecta el costo final de los equipos.

Cada uno de éstos métodos tiene ventajas y desventajas particulares. Sin embargo, no existe un solo método que pueda considerarse como universal. A continuación se mencionan brevemente cada uno de los métodos. <sup>11</sup>

### 1. Uso de materiales de construcción resistentes a la corrosión

Debido principalmente a su costo y cualidades estructurales, el hierro y el acero son los materiales de construcción más ampliamente usados en la industria, no obstante que estos materiales tienden a corroerse más rápidamente que otros tipos de productos. En el mercado existe una gran serie de aleaciones que buscan aumentar la resistencia del hierro y el acero, algunas llevan cromo, níquel, cobre y molibdeno.

En el caso del acero al carbón, por ejemplo, éste tiene una baja resistencia a la corrosión y frecuentemente requiere de otro método alternativo que para controlar la corrosión, algunas veces se llegan a emplear pinturas anticorrosivas y protección catódica al mismo tiempo. Este material se recomienda en atmósferas rurales con un bajo contenido de sales y sulfuros y lejos del mar.

El acero al carbón es pasivo en soluciones de alto pH y puede ser empleado para almacenar este tipo de soluciones a temperatura ambiente. Sin embargo estas sales deben estar libre de cloruros pues éstos si corroen al acero al carbón.

El acero al carbón puede ser empleado en ambientes expuestos al ácido sulfúrico en concentraciones arriba del 65% siempre y cuando las velocidades de flujo estén por debajo del  $0.9 \text{ m/s}^2$  y a temperatura ambiente.

En ambientes más agresivos se recomienda emplear los diferentes tipos de acero inoxidable, los cuales pueden consultarse en el capítulo referente a los aceros inoxidables empleados en las refinerías de petróleo.

Después de lo expuesto se afirma que la decisión en la selección de los materiales dependerá en una gran parte de la severidad de la exposición y del costo. Por otro lado es importante que el cliente y el proveedor estén consientes de la vida útil de la planta, pues la mayoría de las veces un proceso se vuelve obsoleto en corto tiempo y no se justifican fuertes inversiones en equipos con un tiempo de vida larga.

## 2. Modificación del ambiente: uso de inhibidores

Este método usualmente involucra el control de descargas accidentales de vapores corrosivos o la adición de inhibidores a líquidos en sistemas cerrados.

El uso de inhibidores químicos se limita generalmente, a sistemas de abastecimiento de agua, sistemas de recirculación de agua líneas de vapor y condensados y sistemas de salmueras. De hecho son una solución para servicios de inmersión y su uso en el campo de mantenimiento es definitivamente muy limitado, además debe tenerse mucho cuidado en la selección de las cantidades y tipos de sustancias químicas. La selección de un inhibidor inadecuado puede acelerar la corrosión en lugar de retardarla o detenerla. Sin embargo si se usan adecuadamente constituyen una solución sencilla y relativamente económica para controlar la corrosión.

## 3. Protección catódica

Este método se fundamenta en el par galvánico surgido de la unión de dos metales diferentes, que produce corrosión. Por otro lado, lo que nos interesa es disminuir la corrosión del metal activo, entonces podemos sacar ventaja del hecho de que el metal que actúa como cátodo queda protegido, mientras que el ánodo se corroe. Así acoplando dos metales diferentes podemos evitar la corrosión del menos activo (cátodo) a expensas del otro metal.

Por lo tanto se debe escoger un metal más activo, para proteger la superficie del acero, que esté arriba en la Serie Galvánica. Para este objeto se usa generalmente el magnesio, el cual

acoplado eléctricamente al acero, formará una batería amplificadora de corrosión en la cual el magnesio, debido a su mayor actividad, constituye el ánodo y el acero el cátodo. Teniendo como resultado la corrosión del magnesio y la protección del acero.

Los mismos resultados pueden lograrse suministrando corriente eléctrica de una fuente externa, al metal que se desea proteger. En este sistema se puede emplear como fuente de corriente directa generadores, acumuladores, rectificadores y pilas secas. Para evitar la rápida desintegración del ánodo, se escoge generalmente un metal inerte.

La protección catódica tiene su principal aplicación en la protección de equipo marino, tanques de agua caliente, tuberías subterráneas y submarinas. Una de sus principales ventajas es su sencillez y su eficiencia en presencia de un buen electrólito es indiscutible. Sin embargo en áreas secas o pocas húmedas su uso es limitado y por lo general, en estos ambientes, es eliminado y se emplea como complemento de los recubrimientos protectores.

#### 4. Criterios de diseño

La etapa más efectiva para prevenir la corrosión es durante el diseño, momento en que las especificaciones son establecidas así como las condiciones que aceleran la corrosión. Las especificaciones deben contemplar las condiciones ambientales y de operación, características de las estructuras y equipos, así como los métodos para controlar la corrosión.

Las condiciones de operación de una planta deben ser optimizadas hacia la máxima producción y que eviten al máximo las interrupciones por falla de equipo. Una vez que las condiciones han sido establecidas para la adecuada producción, la planta debe ser diseñada para disminuir los factores que aceleran la corrosión.

El método más efectivo para disminuir la velocidad de corrosión es seleccionando los materiales según el ambiente al que estará expuesta la planta. Si el equipo tiene un diseño que no corresponde al ambiente de exposición, los costos al largo plazo pueden ser muy altos y en algunos casos llegan a ser incosteables. Todos estos detalles deben quedar establecidos en el Alcance del Proyecto para que sean comunes entre el cliente y el proveedor.

En la etapa de diseño de la planta, tanto la química del proceso como las condiciones de operación son plasmadas en el Diagrama de Flujo de Proceso, DFP. La información

contenida en este diagrama permite seleccionar los materiales para la construcción, los cuales se verán reflejados en la Hojas de datos.<sup>12</sup>

Es de cabal importancia que durante el diseño de la nueva planta se cuente con datos referentes a la velocidad de corrosión, dichos datos pueden provenir de diversas fuentes como son: diseños previos, datos e información del proveedor, datos de diseño publicados, etc. Todos los datos con los que se cuente deben ser analizados en detalle para reconocer que factores pueden afectar el buen servicio de la planta.

Algunos de los factores que pueden afectar con el tiempo a las instalaciones se pueden resumir en: velocidades de flujo, flujos de calor, temperaturas, composición de las materias primas, subproductos y productos a los largo de todo el proceso de fabricación,

Es recomendable que en las hojas de datos, se especifiquen las soldaduras, recubrimientos u otros requerimientos basados en el servicio, como es el límite de velocidad de flujo.

Durante la etapa de Ingeniería de Diseño deben tomarse ciertas medidas que ayudan a disminuir la velocidad de corrosión de los equipos algunos de ellos son:

- En caso de requerir un "Bypass", éste no debe tener líneas y accesorios de diferente material, aunque se utilice de manera esporádica.
- Las líneas de drenaje o purga deben también ser del mismo material.
- Las líneas de drenaje o purga de los tanques que requieren de agua con alto contenido de cloro durante el lavado, deben ser de acero 825 ( 38-45% Níquel, 19.5-23.5 Cromo, 2.5- 3.4 de Molibdato, 1.5-3.0 de Cobre, y 22 % como mínimo de Hierro) pues se tiene indicios de que el cloro es catalizador de las reacciones de corrosión.
- Emplear juntas soldadas en lugar de remachadas o atornilladas, éstas deberán ser firmes y sólidas a fin de evitar las porosidad y las cavidades dentro de las mismas.
- Los recipientes deben diseñarse de tal manera, que tengan un drenaje completo, evitando esquinas pronunciadas y áreas estacionarias.
- Emplear empaques que no sean absorbentes, como el teflón.
- Evitar la presencia de grietas en los equipos.
- Evitar zonas muertas en los equipos.
- Todos los equipos deben de ser instalados de tal manera que se facilite la limpieza e inspección y mantenimiento de los mismos.
- Los equipos se deben sostener de tal modo que no reposen en pozas de líquido o de algún material aislante húmedo. Si se emplea un recubrimiento éste debe ser resistente a las condiciones de exposición y sobre todo que sea impermeabilizante.

- La instalación de los equipos es un factor que también debe tomarse en cuenta, para lo cual es viable auxiliarse de factores climáticos y geográficos de la zonas, por ejemplo los vientos dominantes pueden ayudar a desplazar los vapores corrosivos lejos de las estructuras y equipos si se colocan en una posición que favorezca el menor contacto.
- Los recipientes donde se almacenen materiales calientes y corrosivos deben diseñarse con esquinas redondeadas que eviten la acumulación de vapores.
- Los domos de las chimeneas siempre deben de estar a la misma altura, sobre todos si están localizadas cerca una de otra.
- En zonas con altas vibraciones los equipos debe diseñarse con esquinas redondeadas de esta forma se puede disminuir la corrosión por fatiga del material.

Pero el diseño puede fallar si durante la fabricación e instalación de los equipos y estructuras no se lleva a cabo una cuidadosa inspección pues la mayoría de veces es necesario realizar algún cambio de última hora.

#### 5. Protección por barreras: recubrimientos.

Todas las medidas protectoras, a las que se ha hecho referencia, pueden utilizarse ventajosamente en diversas áreas particulares de las plantas industriales. Sin embargo el medio de control de la corrosión que por su versatilidad y eficacia ha logrado aceptación es la aplicación de pinturas o recubrimientos protectores, los cuales actúan como barreras que impiden el acceso a los agentes de corrosión. Estas barreras tienen a su cargo la protección de la mayor parte de las superficies del metal. En este punto nos enfocaremos en este trabajo.

Como los recubrimientos sirven como una barrera entre el material a proteger y el ambiente corrosivo, es indispensable que éstos resistan la acción corrosiva de dicho ambiente, además debe evitar la proliferación de cualquier reacción de corrosión a través de la película. Otro requisito que deben cumplir es la no conducción de la corriente eléctrica, dado que la corrosión se efectúa por medio de circuitos eléctricos; la mayor parte de los recubrimientos no son conductores de la electricidad, pero varían en cuanto a su permeabilidad a los iones.

Un requisito más es su impermeabilidad al vapor de agua, ya que muchos materiales, son muy resistentes a las sustancias químicas, incluso a la humedad, sin embargo pueden permitir el paso de cantidades importantes de agua y de ocurrir esto puede progresar la corrosión por debajo de la película del recubrimiento aunque, aparentemente, se conserve

---

---

intacto. El oxígeno es otro factor importante en la corrosión, por tanto una película de recubrimiento deber ser impermeable a dicho elemento. Además debe tener un valor práctico y este es la adherencia a las superficies que se traten de proteger.

No existe un recubrimiento que satisfaga todos estos requerimientos, pero existen una gran variedad de los cuales se deben seleccionar los más adecuados.

En la tabla 1 se presenta un análisis comparativo de los métodos para controlar la corrosión.

Tabla 1. Comparación de los métodos de control de corrosión

MÉTODO	EJEMPLO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Materiales resistentes a la corrosión	Cobre, níquel, cromo, molibdeno aleado con hierro o acero.	Larga vida de servicio .	Alto costo inicial
Protección catódica	Tuberías enterradas	Sencillo, efectivo en presencia de un electrólito	Utilidad limitada en áreas secas, inmersión requerida.
Barreas	Recubrimientos protectores, placas de plástico, etc.	Más efectivo y versátil. Costo razonable	Cuidadoso análisis del problema de corrosión. Preparación adecuada de la superficie.
Criterios de diseño		Ayuda a reducir los problemas de corrosión desde su origen	Problemas de espacio, es difícil aplicar a las plantas existentes
Sobrediseño	Miembros estructurales más pesados o placas más gruesas que las requeridas		No se puede predecir la vida de servicio. Alto costo inicial

Las características de diseño y construcción de una nueva planta, referentes a la corrosión, deben ser especificados en el alcance del proyecto para que la instalación sea segura, eficiente y rentable.

Lo que más se recomienda al hacer el diseño de una planta es hacer un análisis que considere los puntos antes señalados además de considerar las expectativas económicas del cliente, pues muchas veces el cliente busca que las depreciaciones de sus equipos se hagan en corto y no le interesan que sus equipos tengan una vida útil larga.

## CAPÍTULO 5. TECNOLOGÍAS AVANZADAS DE RECUBRIMIENTOS

Las pinturas se diferencian básicamente en función de su composición química y por la forma en que se obtienen es decir su tecnología de fabricación. A continuación se trataran ambos aspectos para los recubrimientos anticorrosivos.

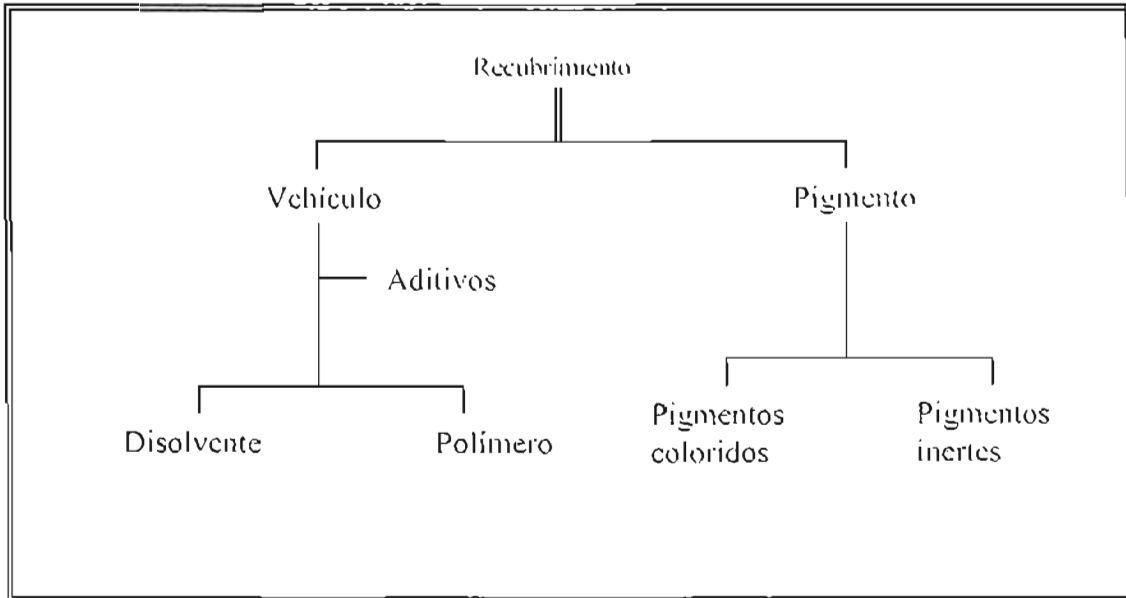
Un recubrimiento anticorrosivo controla la corrosión actuando como una barrera que previene el contacto del ambiente corrosivo con la superficie a proteger.

Para que un recubrimiento, siempre y cuando sea aplicado adecuadamente, sea efectivo en la prevención de la corrosión debe:

1. Resistir el ambiente expuesto,
2. Excluir a los iones,
3. Excluir a la humedad,
4. Excluir al oxígeno y
5. Adherirse a la superficie.

Los componentes en un recubrimiento se presentan la figura 1.

Figura 1. Componentes de un recubrimiento





## Pigmento

Los pigmentos cumplen varias funciones algunas de ellas son.

**Pasividad:** Si son adicionados en el primario actúan como agentes pasivos, disminuyendo la velocidad de corrosión del sustrato

**Color:** Efecto sintético, cubrir el sustrato

**Protector de la resina:** Absorber y reflejar la radiación solar, la cual puede causar la falla de la resina.

**Reforzante de la película:** Las partículas finamente divididas incrementan la dureza y/o resistencia a la tensión de la película.

**Antiderrapante:** Las partículas de sílice dan a la superficie de la película una cierta rugosidad incrementando la resistencia a la abrasión.

**Espesante:** Los agentes tixotrópicos o espesantes se utilizan para dar una viscosidad aparente, previniendo que la película húmeda escurra, reduciendo la tendencia de otros pigmentos a asentarse en los envases durante el almacenamiento.

**Aumento del rendimiento:** Adicionar cargas incrementan el volumen de sólidos del recubrimiento, incidiendo directamente en el rendimiento, sin que se vea afectadas sus propiedades de resistencia química.

Los pigmentos anticorrosivos más empleados son a base de plomo, cromo y zinc, los dos primeros son regulados en algunas aplicaciones domésticas, sin embargo para las aplicaciones industriales continúan siendo de amplio uso.

**Pigmentos de plomo:** el de mayor uso es el rojo plomo,  $Pb_3O_4$ , sin embargo este pigmento puede contener trazas de  $PbO$  el cual es soluble en agua, es básico lo que puede ocasionar problemas si se utilizan alquidales como vehículos.

**Pigmentos de cromo:** se usan en conjunto con zinc, por ejemplo el amarillo de zinc [ $3ZnCrO_4 \cdot K_2CrO_4 \cdot Zn(OH)_2 \cdot 2H_2O$ ], sin embargo para que este pigmento sea efectivo es necesario que el sustrato haya pasado por un baño de ácido fosfórico.

**Pigmentos de zinc:** el pigmento de zinc de mayor uso es el fosfato de zinc,  $Zn(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$ , sin que tenga el problema de ser cancerígeno y han funcionado de manera efectiva en la sustitución de los de plomo y zinc.

## Vehículo

Tiene la propiedad de "unir" los pigmentos en una película homogénea, capaz de humectar y adherirse al sustrato, previniendo la penetración de agentes químicos corrosivos y manteniendo su integridad en los ambientes corrosivos. El vehículo está constituido por el polímero y los solventes.

## Solventes

Para que un recubrimiento pueda fluir durante su aplicación es necesario emplear calor o bien formularlos con solventes. Los solventes dan la característica de facilidad de aplicación, nivelación, humectación, actualmente algunos polímeros tienen muy baja viscosidad por lo que se reduce la cantidad de solventes, esta medida surge debido a las restricciones de VOC.

Los solventes son del tipo aromático, cetonas, ésteres, éteres, alcoholes y agua.

## Polímeros

El polímero "une" los pigmentos formando así una película homogénea que evitará la penetración de agentes extraños.

Las características y desempeño de la pintura anticorrosiva está determinado, principalmente por la estructura molecular del polímero.

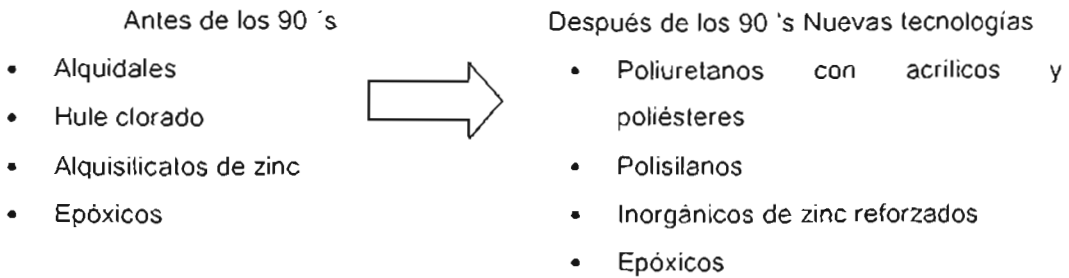
Los polímeros pueden ser clasificados de varias maneras, según su composición química, el tipo de secado, etc.

## RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA.

No existe formulación perfecta para que un recubrimiento satisfaga las demandas de cada ambiente o las condiciones establecidas para la aplicación, sin embargo los recubrimientos anticorrosivos suelen emplearse en conjunto unos con otros para lograr un mejor desempeño.

Los sistemas de pintura anticorrosiva han pasado por una serie de cambios en su tecnología tales como las que se enuncian a continuación, sin embargo es importante recalcar que algunas tecnologías convencionales todavía se emplean en las industrias como son los

alquidales, alquisilicatos de zinc y el hule clorado. Estos materiales se continúan recomendando para ambientes de exposición con condiciones bajas de corrosividad, pues representan una alternativa de buen desempeño a bajo costo. El avance de en la tecnología de recubrimientos anticorrosivos ha sido de:



De manera general se puede decir que la selección de los recubrimientos anticorrosivos se puede realizarse según las condiciones de exposición. Ver tabla 1.

Tabla 1. Sistemas de pintura anticorrosiva

Condiciones	Sistema sugerido
Atmósfera seca	Alquidales
Ambientes húmedos, lejos del mar.	Hule clorado, alquisilicatos de zinc, epóxicos
Ambientes salinos	Epóxicos, poliuretanos-acrilicos, poliuretanos-poliésteres, Inorgánicos de zinc
Exposición química ácida (pH menores de 5)	Poliuretanos-acrilicos, poliuretanos-poliésteres
Exposición química con pH entre 5 y 10	Inorgánicos de zinc reforzados
Exposición a hidrocarburos alifáticos	Epóxicos, poliuretanos
Exposición solventes aromáticos, compuestos oxidantes y en combinación con altas temperaturas	Cualquier sistema de recubrimiento tiende a fallar.

Comúnmente un sistema de recubrimiento anticorrosivo consta de un primario seleccionado apropiadamente y un acabado que proporcionan la mejor solución para los requisitos de un problema específico de recubrimientos. Las propiedades de cada uno de ellos son:<sup>19</sup>

#### Primarios

El primario debe ser formulado con un polímero que no sea fácil de saponificar, o por lo menos que sea muy resistente de preferencia deben tener una lenta evaporación de solventes, con el fin de que todas las irregularidades propias del acero sean cubiertas por el

recubiertas. Los primarios debe ayudar a promover la adherencia entre el sustrato y las capas subsecuentes. Contienen aditivos que ayudan a retardar la velocidad de corrosión. Existen tres tipos de primarios:

1. Primarios de barrera
2. Primarios inhibidores
3. Primarios ricos en zinc

Los tipo barrera son películas impermeables como el hule clorado o bien los épicos cargados con hojuelas de aluminio, que reducen el paso del agua, de los cloruros o de los sulfatos hacia la superficie del acero. Ellos impiden la corrosión mediante el incremento artificial de la resistencia eléctrica de la celda de corrosión. Se ven favorecidos en ambientes donde existe una exposición continua a los electrolitos corrosivos, como ocurren en los tanques de almacenamiento de agua y las tuberías enterradas.

Los primarios inhibidores pueden ser materiales termoplásticos depositados mediante solventes, que curan o secan por la evaporación del solvente y recubrimientos curados químicamente, que requieren de la mezcla de un segundo componente para lograr su curado. Característicamente, estos recubrimientos incluyen una pigmentación especial a base de minio, estroncio, cromatos, molibdatos, hidróxido de plomo, etc. Estos inhibidores químicos en contacto con la humedad se difunde a través del sistema de recubrimientos, generando condiciones alcalinas o iónicas en las áreas anódicas y catódicas del metal base y retardando la corrosión electroquímica de éste.

Como los ánodos y cátodos inhibidos producen corrientes de corrosión más bajas entonces las velocidades de corrosión del acero serán menores. Este tipo de primario son más útiles en zonas donde es poco probable un acceso continuo de electrolitos corrosivos como los cloruros o los sulfatos. Dado que estos recubrimientos generalmente contienen pigmentos reactivos y son parte de un sistema de recubrimientos anticorrosivos, deben protegerse con acabados a fin de funcionar como barreras ambientales.

Los primarios ricos en zinc, pueden ser recubrimientos orgánicos o inorgánicos con altas cargas de polvo de zinc, que en contacto con la humedad forman un par galvánico, corroyéndose preferencialmente el zinc para proteger al acero que funciona como cátodo.

Los primarios orgánicos de zinc como los epícos, vinílicos y hule clorado, toleran preparaciones de superficie ligeramente más pobres, son más fáciles de aplicar y

químicamente son un poco más resistentes que los inorgánicos. No obstante, su resistencia al calor seco esta limitada a 120-150°C.

A diferencia de los anteriores, los primarios inorgánicos de zinc presentan una mejor resistencia los solventes orgánicos. Sin embargo, algunos son muy porosos y tiende a formar burbujas cuando se recubren con un acabado. Para eliminar esto, se recomienda una capa delgada del acabado en forma de niebla densa que desaloje al aire de los poros y los selle. Los inorgánicos de zinc no curan a humedades relativas debajo de 40%.

En exposiciones exteriores y en otros ambientes a un pH esencialmente neutro, los inorgánicos de zinc pueden dejarse sin recubrir, pero si el pH del medio está debajo de 5 por arriba de 10 fácilmente se corroerán, debido a que el zinc es un metal anfotérico muy activo que reaccionará tanto con los ácidos como las bases fuertes. Para tales ambientes corrosivos, se hace necesario recubrirlos con un acabado orgánicos como un epòxico, un hule clorado un vinilico, etc. Los acabados alquidáticos se saponifican con los productos alcalinos obtenidos a partir del zinc, y es por esto que no se recomiendan sobre este tipo de primarios.

Los primarios ricos en zinc son excelentes primarios de preconstrucción debido a su resistencia a la abrasión y al impacto, y a su habilidad para proteger el acero durante los grandes ciclos de construcción. Al recubrirlos en el lugar de la obra se deberá tener cuidado de asegurarse que la superficie esté completamente a fin de remover los contaminantes

#### Acabados

Todos los primarios empleados en plantas industriales se deberán recubrir con capas de un acabado. La función de éste es para aumentar el espesor del sistema de recubrimientos, con el fin de formar una barrera protectora del primario, previniendo la penetración del agua, del oxígeno y de los iones químicos activos. Los acabados también pueden proporcionar una resistencia adicional al impacto y a los solventes, además de una superficie tersa y libre de poros. Por consiguiente, podemos decir que el objeto de un acabado es:

1. Proteger al primario, así como éste protege al acero
2. Proporcionar una protección química
3. Proporcionar estética, incluyendo algunos colores de larga duración y brillo, preferiblemente sin la presencia de caleo excesivo, desteñimiento o amarillamiento.

Los acabados deben brindar resistencia química, a la intemperie, temperatura, etc.

---

Para ambientes muy corrosivos, debe aplicarse suficiente recubrimiento, lo usual es un mínimo de tres capas con un espesor total de película seca de 5 milésimas.<sup>1</sup> Sin embargo esto lo define cada proveedor.

Es esencial que todo recubrimiento tenga un espesor uniforme al momento de ser aplicado, pues en las áreas más delgadas, es más viable que la corrosión ocurra. Además de cuidar que no haya defectos pues ellos son pocos probables para que la corrosión se lleve a cabo. Si existe una mala adherencia, se pueden generar burbujas de aire por donde el agua puede llegar. Debido a esto, la aplicación es primordial para el éxito de cualquier sistema de recubrimientos.

Analicemos las características de los primeros de recubrimientos anticorrosivos existentes en el mercado.

## **SISTEMAS CONVENCIONALES**

### **Alquidales**

Alquidales o pinturas a base de aceite, donde dichas cadenas polimerizan en presencia de oxígeno. Generalmente, las pinturas anticorrosivas se fabrican con aceite de soya y ácidos, en algunas ocasiones se modifican con aminas o resinas fenólicas, para mejorar su resistencia al agua.

Representan una alternativa de bajo costo y excelente desempeño en atmósferas libres de humedad.

### **El hule clorado**

Los recubrimientos de hule clorado están formulados con hule natural reaccionado con cloro, el cual forma una resina muy dura. Hasta hace poco este era un recubrimiento de amplio uso, actualmente ha sido reemplazado por las nuevas tecnologías, este desplazo se debió a que las pinturas de hule clorado necesitan altas cantidades de solvente para su aplicación, por ejemplo por cada litro de pintura se emiten más de 500 gramos de solvente. Pero no sólo esto fue una desventaja, también el Protocolo de Montreal limitó el uso de compuestos que tuvieran tetracloruro de carbono así como los residuos clorado generados y las emisiones de solvente.<sup>14</sup>

Sin embargo el hule clorado fue uno de los recubrimientos que mayor impacto tuvo en los recubrimientos anticorrosivos, por lo que se analizará brevemente, pues actualmente está tendiendo a ser eliminado por otras pinturas más eficientes.

El cloro reacciona con el hule en sus dobles ligaduras, de tal manera, que el compuesto final puede modificarse mediante la variación del cloro. El hule clorado por sí solo no es práctico, debe modificarse para que sea manejable como un recubrimiento y desde luego fácilmente aplicable. Existen dos tipos básicos de recubrimientos que se hacen a partir del hule clorado: el primero, que es un recubrimiento modificado con algún alquidálico y se emplean donde se requiere una facilidad de aplicación, además de un secado rápido y una resistencia química mejor que la ordinaria; el segundo, se modifica con alguna resina diferente y generalmente es usado para exposiciones químicas difíciles.

Algunas propiedades de los recubrimientos de hule clorado son:

1. Su habilidad para secar rápidamente y formar una película dura del recubrimiento.
2. Con base en su modificación, la resistencia química de estos recubrimientos es excelente.
3. Generalmente son recubrimientos tenaces y resistentes a la abrasión.
4. La flexibilidad y la extensibilidad son buenas y los recubrimientos siguen fácilmente a la expansión y a la contracción de las superficies de acero sujetas a condiciones de intemperismo. Su flexibilidad es un término medio entre los vinílicos y los epóxicos.
5. Por lo general presentan buena adhesión cuando se aplican a superficies de acero preparadas adecuadamente. Pueden aplicarse sobre primarios de hule clorado o cualquier otro que sea compatible incluyendo a los inorgánicos.

Las principales desventajas de estos recubrimientos son:

1. Necesitan pigmentarse adecuadamente a fin de proteger a las moléculas de los rayos del Sol. No deberán ser empleados como recubrimientos claros.
2. Son susceptibles a los solventes. Son efectivos contra los materiales alifáticos como son los aceites y las grasas; pero no son satisfactorios para los compuestos aromáticos o solventes muy fuertes.
3. Las altas concentraciones de hule clorado dificultan su aplicación, mediante los métodos convencionales, debido a su tendencia a secar rápidamente.
4. No podían aplicarse altos espesores.
5. Requieren de mucho solvente para facilitar la aplicación.

## Alquisilicato de zinc

Son recubrimientos formulados a partir de silicatos alcalinos, sílice coloidal o alquidal silicatos, mezclados con polvos de zinc. La película producida es en naturaleza, enteramente inorgánica y resulta del producto de la reacción química entre la resina de silicato y el polvo de zinc. Dichos recubrimientos tienen un nivel muy alto de pigmento de metal de zinc en polvo y una muy pequeña cantidad de vehículo de silicatos, de tal manera que no hay suficiente vehículo para encapsular completamente todo el pigmento de zinc. Estos recubrimientos tienen una matriz inorgánica porosa y conductiva, e inicialmente proporcionan una protección catódica en la que el zinc actúa como un ánodo sacrificial para el acero en áreas en que la película de zinc se daña dejando el metal al descubierto.<sup>18</sup>

Las propiedades fundamentales de los recubrimientos inorgánicos de alquisilicato de zinc son:

El vehículo del zinc inorgánico tiene poca flexibilidad y depende de las fuerzas de valencia primaria y enlace metálico para adherirse al sustrato, y el de enlace del silicato de zinc para la cohesión. Este mecanismo dependerá de la humedad atmosférica y del bióxido de carbono, por lo que en zonas de baja humedad no se recomiendan, pues el curado se alcanzará en varios meses, a no ser que se postcure la película con vapor de agua o con una solución de ácido fosfórico. Las condiciones óptimas para la aplicación de estos recubrimientos es de con una temperatura de 30 °C y 85 % de humedad relativa

1. A diferencia de las películas orgánicas que sufren grandes cambios por la luz del sol, la lluvia, el rocío y la luz ultravioleta, los inorgánicos no se afectan por el intemperismo, y como no calentan permanecen intactos y con el mismo espesor después de muchos años.
2. Como la película es conductiva u anódica al acero, lo protege de la formación de herrumbre en las pequeñas imperfecciones. Esto se realiza mediante la formación de iones zinc y los productos de reacción como el carbonato de zinc.
3. La unión del inorgánico de zinc al acero es tanto química como física, lo que le permite llegar a ser parte integral de la superficie de acero. Esta es una de sus propiedades más importantes, ya que la rotura de las películas, se protege catódicamente y no permite la corrosión bajo la película. En todos los recubrimientos orgánicos existe una interfase definida que permite desprender a la unión física, ocasionando ampollamiento y corrosión bajo película.
4. Las propiedades inhibitorias de estos recubrimientos se deben a las características anódicas del zinc que está en contacto con la superficie del acero sobre la cual se



aplican. Los recubrimientos de silicato de zinc inorgánico tienen una conductividad controlada, gracias a las partículas de zinc que están rodeadas por una matriz de silicato inerte y reaccionadas dentro de la misma matriz. Este silicato metálico no únicamente es inerte a muchas condiciones ambientales, sino que también es suficientemente conductivo, permitiendo que cualquier electrón formado por la ionización del zinc sea transferido al acero, proporcionándole con ello protección catódica.

Las ventajas que presentan los inorgánicos de zinc son las siguientes:

1. La película de inorgánico es conductora y el zinc siendo parte química de la película, facilita la protección catódica del acero.
2. Prestan una excelente adhesión al acero preparado correctamente, debido a las uniones física y química.
3. No se afectan por los rayos ultravioleta.
4. No se ven afectados por la mayoría de los solventes orgánicos, aceites o grasas.
5. Tienen una resistencia al calor seco por arriba del punto de fusión del zinc (419 °C).
6. La película formada es metálica, fuertemente adherida y resistente a la abrasión.
7. Su resistencia química, si se compara al zinc puro, es excelente.
8. Reducen la corrosión bajo la película y ayudan a prolongar la vida de los recubrimientos orgánicos usados como acabados.

Las desventajas de los inorgánicos comprenden:

1. Requieren ser aplicados sobre acero limpio
  2. No se adhieren a todos los metales y aleaciones. Funcionan mejor sobre acero o zinc.
  3. No toleran contaminación orgánica en la superficie sobre la cual se aplican.
  4. Muchas formulaciones requieren de rangos medios de temperatura y humedad para curar correctamente y lograr sus propiedades óptimas.
  5. No son adecuados para inmersión continua en electrolitos.
  6. En zonas industriales con alto contenido de SO<sub>2</sub> el recubrimiento inevitablemente fallará.
  7. No son sensibles a ambientes de ácidos y álcalis fuertes.
  8. Son recubrimientos de alto costo.
  9. No deben emplearse solos, es decir sin un acabado, pues se perdería muy rápido la actividad del zinc.
-

10. Si el zinc entra en contacto con el agua, ésta puede desprender el zinc y contaminarse.
11. Si el secado no se ha alcanzado del todo, todo el sistema de recubrimiento puede delaminarse ocasionando una falla prematura.

## NUEVAS TECNOLOGÍAS

### Poliuretanos

Comprenden los polímeros con unidades químicas  $R-N=C=O$

Los poliuretanos tienen propiedades únicas, que los hacen muy atractivos en los recubrimientos anticorrosivos, como son: <sup>15</sup>

1. Alta resistencia química
2. Alta resistencia a la abrasión
3. Alta flexibilidad y a la vez buena dureza.
4. Su grupo polar, NCO, los hace tener muy buena adherencia al sustrato
5. Tiempo de vida útil largo
6. Pueden curar a bajas temperaturas
7. Se aplican rápidamente
8. Son los que más pueden cumplir con las más estrictas reglamentaciones de COV, con la limitante que deben usarse isocianatos aromáticos, los cuales tienen una menor resistencia a los rayos ultravioleta, sin embargo pueden llegar a resistir más que un epóxico.

Sus desventajas son:

1. Su alta toxicidad, pero si se emplean isocianatos a base de difenilmetano diisocianato, MDI, la toxicidad se reduce haciéndolo más amigable
2. Su alto precio, pues si el recubrimiento es para exterior deben emplearse isocianatos alifáticos.
3. Si se aplican altos espesores pueden presentarse burbujas
4. El desarrollo óptimo de sus propiedades se alcanza a los 7 días.

Los poliuretanos se mezclan con polímeros acrílicos para mejorar su desempeño las cualidades que le proporcionan son:

1. Su habilidad para formar películas muy homogéneas y densas. Propiedad de suma importancia, puesto que es una membrana relativamente delgada que actúa como una barrera entre dos materiales reactivos como son el ambiente y la superficie a proteger.
2. La resistencia química es otra propiedad importante. En general, los acrílicos tienen una resistencia química más amplia que cualquier otro recubrimiento. Son inertes a casi todas las sustancias inorgánicas como son: los ácidos, álcalis, sales y también al agua, aceite, grasa, alcoholes y materiales similares.
3. Otra propiedad extremadamente importante y que está vinculada indirectamente a sus resistencia química, es el hecho de que tiende a excluir al oxígeno y a los iones de la superficie sobre la cual se aplica.
4. Los polímeros acrílicos, debido al tipo de película que forman son sumamente tenaces lo que se traduce como una alta resistencia a la abrasión.
5. El secado rápido es otra de las ventajas, ya que pueden aplicarse y la superficie está seca en un lapso de 2 a 5 minutos, de tal manera que el polvo o cualquier contaminación no se acumulan sobre de ellos y, en condiciones exteriores, pueden recubrirse después de una hora o menos.
6. La resistencia a agua y al vapor húmedo es otra propiedad excelente. Su absorción real de agua es una fracción de 1% y son los mejores materiales de protección más comunes para resistir la transferencia del vapor húmedo a través de la película.
7. El intemperismo es una propiedad que está enlazada con la transferencia del vapor húmedo, así como a la resistencia a los rayos ultravioleta.

Los polímeros acrílicos también tienen sus desventajas y casi todas ellas se relacionan con su aplicación:

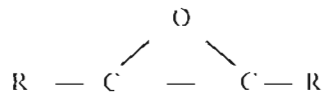
1. Los acrílicos se fabrican con solventes muy fuertes y debido a esto, algunas veces presentan dificultades en su aplicación sobre superficies previamente protegidas, ya que los solventes tienden a remover al recubrimiento viejo y por lo tanto se pierde la adhesión.
2. Para la mayor parte de ellos, las películas son relativamente delgadas y, por lo tanto, se requiere de capas múltiples a fin de construir un espesor adecuado. Lo delgado de la película se debe a que estos materiales tienen un peso molecular muy alto y por ende una alta viscosidad, la cual debe ser disminuida con disolventes para facilitar su aplicación.
3. Dentro de las ventajas se mencionó el hecho de que son materiales de secado rápido, lo cual es también una de sus más grandes desventajas, ya que secan tan

rápido que bajo ciertas condiciones y una aplicación inadecuada, el recubrimiento llega a la superficie dejando una película porosa, sobreatomizada y muy áspera.

4. Debido a su alto peso molecular, los recubrimientos acrílicos, tienen propiedades de humectación muy pobres; razón por la cual deben ser aplicados sobre superficies preparadas correctamente y de preferencia sobre un primario especial, a fin de obtener una adhesión satisfactoria por lo que es muy difícil encontrarlos solos más bien forman parte de un sistema de poliuretano.

### Epóxicos

Los principales epóxicos, usados en recubrimientos anticorrosivos, son los curados con poliamidas y el alquitrán de hulla epóxico. Existe un número ilimitado de combinaciones que pueden llegar a formularse como epóxicos.<sup>15</sup>



Los recubrimientos epóxicos curados con poliamidas presentan las siguientes ventajas.

1. Una adhesión excelente, especialmente al acero.
2. Buena resistencia a la exposición continua de agua, aún en temperaturas elevadas
3. Construcción de películas con espesores apreciables.
4. Las películas formadas son tenaces y duras lo que las hace resistentes a la abrasión.
5. Presentan una buena resistencia química, especialmente a álcalis y sales.
6. Arriba de 16 °C curan en una cuantas horas y pueden ponerse en servicio en poco tiempo.
7. Son relativamente fáciles de aplicar mediante los métodos convencionales.

Sus principales desventajas son:

1. La resistencia a los ácidos concentrados es leve.
2. Su curado es muy lento debajo de los 16 °C y es casi imposible debajo de 4 °C.
3. Los epóxicos pigmentados presentan tendencia a calentar
4. Si se emplean aminas, el producto será muy tóxico.

Sus desventajas abarcan:

1. Resistencia limitada en cuanto al intemperismo.
2. Películas de color negro
3. Su curado es difícil debajo de 16 °C

### **Poliésteres**

Son cadenas unidades  $R-C=O-O-R$ , estos materiales son resistentes al ambiente, tienen buena dureza, etc. Sin embargo se utilizan en mezclas con poliuretanos y en algunos casos ha demostrado tener excelente resistencia a la corrosión en los tanques a nivel del suelo, siempre y cuando se empleen con fibra de vidrio. En este último caso se ha llegado a aumentar la vida de un tanque de 20 a 30 años. Recubrir los tanques con un sistema de gel coat (poliéster)-fibra de vidrio-poliéster presenta un costo accesible, tiempos de curado total de 7 días, por ejemplo, con un sistema de pintura epóxica la vida del tanque sólo se prolonga por 10 años.<sup>16</sup>

Hasta el día de hoy el forrar de los fondos de los tanques con el sistema mencionado es la alternativa más aceptable debido a su bajo costo y durabilidad.

### **Inorgánicos de zinc reforzados**

Los inorgánicos de zinc reforzados conjugan las características de los alquisilicatos pero buscan superar los problemas de aplicación de los alquisilicatos. Esta tecnología combina propiedades inherentes del zinc inorgánico conjugado con otros componentes orgánicos e inorgánicos. El compuesto orgánico es una resina polar la cual brinda una mayor tolerancia a superficies con preparación deficiente, no se requiere de condiciones ambientales precisas para su curado y se acaban los problemas de la aplicación de nuevas capas. El zinc inorgánico reforzado contiene otros componentes inorgánicos como son los silicatos de calcio, por ejemplo, que aumentan la eficacia de la disolución por iones cloruro.

De manera general las propiedades que se ven mejoradas con esta modificación son:

1. Evita el agrietamiento aún con espesores de película seca mayores a 12 milésimas, son fáciles de aplicar.
2. El curado no depende de las condiciones ambientales, lo que ayuda a reducir los tiempos de entrega.
3. No promueven la formación de burbujas en capas finales y espesas.

4. Curan a 0 °C
5. Pueden recubrirse consigo mismos.
6. Los tiempos de aplicación son cortos (30 minutos a 25°C) por lo que se ahorra tiempo y dinero.
7. Listos para aplicar.
8. No se requiere una preparación de superficie excesiva.
9. Su desempeño en ambientes agresivos o marinos es alto.
10. Mejora la adherencia al metal.
11. Tienen una vida útil de 20 años, si se aplican adecuadamente.

Las desventajas que se presentan al modificar los inorgánicos de zinc son: que se reduce la resistencia al calor de 400 °C a 200 °C, tienen menor resistencia a los solventes.

La combinación de estos primarios ricos en zinc con acabados orgánicos, conjuga las características inhibitorias de los primeros con las características decorativas y la resistencia química de los segundos. Las ventajas de estos sistemas combinados son:

1. Se obtiene un recubrimiento base con una alta adherencia sobre la superficie.
2. El recubrimiento base es altamente inhibitor por si mismo y protege de la herrumbre a las áreas dañadas.
3. El beneficio de los primarios inorgánicos no se restringe a cualquier tipo de acabado orgánico, sino que es extensivo a la mayoría de los que se emplean en la industria.

Un ejemplo de este tipo de sistemas son los recubrimientos epóxicos y los de zinc orgánico, el cual sigue siendo en la actualidad el sistema de mayor uso para recubrir el acero

### **Recubrimientos para altas temperaturas**

Estos materiales especializados emplean resinas de silicón , las cuales son resistentes al calor, con una estabilidad térmica excelente, una buena resistencia a la oxidación y también son esencialmente transparentes y resistentes a la degradación causada por la luz ultravioleta.

Para este tipo de recubrimientos se deben tomar en cuenta, además de la temperatura, la naturaleza y estructura del sustrato, al esfuerzo provocado por el ciclo térmico, al intemperismo, a las limitaciones en cuanto a la aplicación, a los agentes corrosivos y a la vida esperada del mismo.

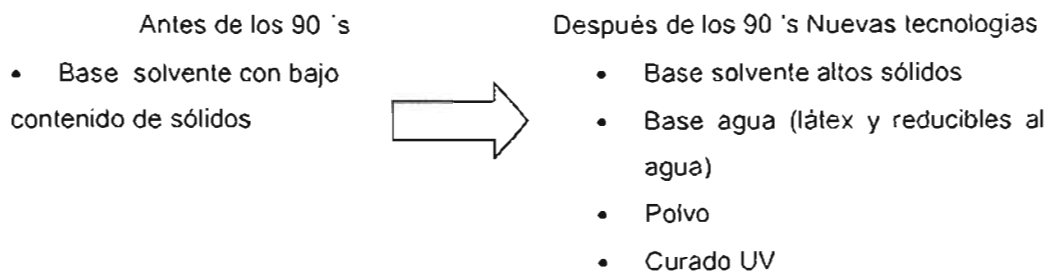
Existen dos categorías de los recubrimientos de silicón para altas temperaturas: los que se recomiendan para servicios debajo de 260°C y aquellos para temperaturas hasta 650°C. En la primera categoría, los recubrimientos generalmente se basan en resinas de silicón modificadas, que contienen cerca de 25-30 % de silicón, mientras que en la segunda, se requiere un porcentaje mayor de silicón.

Para los casos donde se presenta una elevación de temperatura extremadamente rápida, es poco probable que cualquiera de estos recubrimientos funcionen adecuadamente, esto es debido a los esfuerzos térmicos producidos por la diferencia en los coeficientes de expansión, entre el sustrato y el recubrimiento

Cada uno de estos sistemas de recubrimientos se fabrican en diferentes tipos de tecnologías, las hay base solvente, base agua, reducibles al agua, látex, altos sólidos, polvos, curados por UV.

### RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS SEGÚN SU TECNOLOGÍA

Las tecnologías de los recubrimientos anticorrosivos en sus inicios eran sólo base solvente actualmente existe una variedad en la tecnologías como son:



La reducción de compuestos orgánicos volátiles y de los pigmentos tóxicos y/o carcinogénicos asociado con el mejor manejo de los residuos son unas de las prioridades de la industria de pinturas las cuales están atrapadas entre la legislación emergente –destinada a proteger el ambiente, pero que impone controles estrictos y costosos- y las leyes de la oferta y la demanda, se han visto obligadas a desarrollar sistemas alternativos de pintura. De esto, la atención se concentra en los siguientes a) pinturas de altos sólidos, b) pinturas en polvo, c) pinturas base agua y d) pinturas de curado por radiación.

La gran mayoría de los recubrimientos vistos en el capítulo anterior puede fabricarse con una o varias de las tecnología mencionadas. Cada una de estas tecnologías se definen a continuación:

### **Pinturas de altos sólidos**

Entre las pinturas desarrolladas para resolver los problemas de energía y contaminación se mencionan particularmente a las pinturas de altos sólidos, que por lo general secan a temperatura ambiente o a temperaturas relativamente bajas. Estas pinturas suelen contener más de 70% de sólidos y pueden formularse con vehículos acrílicos, poliésteres, epóxicos y de uretano.

Las formulaciones de recubrimientos de altos sólidos que han tenido mayor uso como recubrimientos anticorrosivos son los epóxicos. La principal ventaja de estos sistemas incluye el bajo costo de las materias primas y una apariencia y durabilidad excelente. Su química es suficientemente versátil para originar productos que se curen a temperatura ambiente o temperatura elevada.

Otro recubrimiento de altos sólidos son los acrílicos, sin embargo estos no se emplean solos, sino en combinación con sistemas de poliuretano, donde se combina 2 grupos de muy alta resistencia química y mecánica. La desventaja de este sistema combinado es su alto costo.

### **Pinturas en polvo**

Las pinturas en polvo son las únicas carentes de COV. Han ganado popularidad y aceptación debido a sus excepcionales características de aplicación, propiedades del recubrimiento y baja contaminación ambiental. Pueden ser de polietileno, poliésteres, cloruro de polivinilo, epóxicas etc. Estos recubrimientos se aplican en un lecho fluidizado por inmersión de las partes que deben recubrirse o por aspersión, y la formación de película se lleva por lo menos a 200 °C.

Las pinturas en polvo ofrecen la ventaja de poder aplicar bajos espesores de una forma más rápida, además de ser más eficiente pues se obtiene una película delgada con buen desempeño y en algunos casos en una sola aplicación. Tienen la desventaja de que a causa del equipo que se requiere para aplicar y calentar estos recubrimientos, los costos iniciales de capital y los continuados costos de energía los hace muchas veces incosteables. Por otro lado el uso de diferentes colores en las pinturas en polvo no es práctico, pues existe una alta contaminación por los residuos que quedan de las aplicaciones anteriores.



Los recubrimiento en polvo los utilizan los fabricantes de equipo, pues su aplicación directa en las plantas que se están construyendo o ya están construidas, por el momento, es nula, debido a las condiciones de curado. Sin embargo durante la compra del equipo se puede solicitar que éste ya cuente con este tipo de pintura anticorrosiva, pues al formar una película de alto espesor un sólo paso y más uniforme se pueden alcanzar altos niveles de eficiencia.

### **Pinturas a base agua**

Las pinturas base agua han recorrido un largo camino en el mejoramiento de su eficiencia. Entre los primeros productos anticorrosivos eficientes, de un componente, estaban los basados en polímeros de estireno y vinilacrilicos así como emulsiones alquídicas. Estas fueron seguidas por el desarrollo de productos anticorrosivos epóxicos, que dependían de las condiciones de síntesis de sus polímeros, como los fluropolimeros u las dispersiones de poliuretano. Un esfuerzo similar se está viendo en el campo de los aditivos y los aspectos reológicos de éstas pinturas.

En relación con el proceso de síntesis pueden catalogarse como a) polímeros sintetizados en presencia de agua y b) polímeros sintetizados en un medio orgánico, soluble en agua, y una subsecuente adición de agua.

Las emulsiones forman parte de los polímeros sintetizados en agua y se basan en monómeros de metacrilato, haluros de vinilo, estireno, etc. A el segundo caso se refieren las dispersiones y algunas de ellas son de poliuretano, poliéster y los epóxicos. Cabe mencionar que también existen recubrimientos polimerizados con mezclas de polímeros como es el caso de los uretano-acrilicos y los epóxicos-acrilicos.

Si los recubrimientos base agua no se aplican adecuadamente pueden iniciar la corrosión del acero, además la formulación de estas pinturas deben de seguir algunas consideraciones como son: tener valores de pH entre 5 y 10 unidades, usar aditivos como son los taninos, acetilcetona, entre otros, que disminuyen la oxidación del fierro o estabilizan la capa de óxido. Además si el acero no es de alta calidad y se aplica un recubrimiento base agua, el riesgo de que se presente la corrosión es inminente.

Otro aspecto importante en este tipo de recubrimientos son la dificultad de pigmentarlos, pues los pigmentos de grado anticorrosivo no son compatibles con el agua.

Debido a todo lo tratado anteriormente los recubrimientos base agua, no han logrado un campo de aplicación en el rubro de anticorrosivos, pues son tecnologías muy complejas, costosas, dificultad de aplicación, etc.

### Pinturas curadas por radiación

Uno de los recubrimientos curados por radiación son los curados por luz ultravioleta, UV, y contienen polímeros como poliésteres, acrílicos, resinas de silicón, entre otras; las cuales polimerizan con ayuda de la luz UV, para formar una película durable con alto desempeño.

Las principales ventajas de esta tecnología, son su secado rápido, bajos residuos generados durante su aplicación. Presentan la desventaja de que deben aplicarse sobre superficies planas, además de requerir de lámparas UV para formar la película, lo que dificulta su aplicación directa en las plantas industriales, sin embargo, al igual que las pinturas en polvo, puede solicitarse que algunos equipos tengan este tipo de recubrimiento.

Cabe mencionar que en las pinturas UV debe cuidarse la selección de los pigmentos, pues muchos de ellos absorben las radiaciones lo que impediría un buen curado del polímero.

En la tabla 2 se presenta un resumen de las tecnologías de fabricación de pinturas

Tabla 2. Tecnologías de fabricación de pinturas

	Base solvente (incluye altos sólidos)	Base agua	Polvos	Curado por radiación
Flexibilidad en el manejo de la velocidad de evaporación	Buena	Mala	No aplica	No aplica
Tiempos de secado, prácticamente independientes de la humedad	Buena	Mala	No aplica	No aplica
Facilidad de retocado y reparaciones	Buena	Regular	Mala	Mala
Variedad de tonos	Buena	Regular	Mala	Mala
Baja demanda de preparación de la superficie	Buena	Mala	Mala	Mala
Cambios de color	Buena	Buena	Mala	No aplica
Alto brillo	Buena	Mala	Mala	Buena
Buena nivelación	Buena	Buena	Buena	Buena
Facilidad de aplicación en superficies irregulares	Buena	Buena	Buena	Mala
Tiempos cortos de proceso	Buena	Mala	Mala	Buena
Facilidad de procesarse con cualquier polímero	Buena	Mala	Mala	Mala
Altos espesores en un solo paso	Mala	Mala	Buena	Mala
Bajas emisiones de COV	Mala	Buena	Buena	Buena
Baja inflamabilidad	Mala	Buena	Buena (se corre el riesgo de explosiones)	Buena
Facilidad de limpieza	Mala	Buena	Mala	Mala
Facilidad de reciclar	Mala	Mala	Buena	Mala

Como se puede ver en la tabla 2, cada una de las tecnologías vistas anteriormente ofrecen muchas ventajas técnicas y de desempeño, lamentablemente en muchas aplicaciones industriales los recubrimientos base agua, en polvo y curado por radiación su uso es imposible o difícil bajo ciertas circunstancias, lo que ha dejado abierto el paso hacia los recubrimientos altos sólidos, los cuales todavía requieren de solventes para su funcionamiento, sin embargo los esfuerzos científicos se están encaminando a desarrollar solventes que no dañen la capa de ozono y así puedan ser considerados como solventes exentos.

Pero hay que considerar que el mayor uso de los recubrimientos de altos sólidos, sólo se debe a un aspecto ambiental, pues es importante recalcar que en el mercado industrial, el aumento en los costos de mano de obra para la aplicación de pintura son cada vez más significativos en la protección contra la corrosión como el costo real del material del recubrimiento. Esto ha llevado a los formuladores y consumidores a un mayor uso de recubrimientos de altos sólidos.

Dado el panorama de una industria, en los países de América Latina, que busca el máximo rendimiento por un bajo costo, y donde la actualización de la tecnológica está al alcance exclusivamente de los grandes productores, es poco probable que la mayoría de los fabricantes de pinturas comiencen a reemplazar solventes en sus recubrimientos. Con mayor razón si las legislaciones son vigentes no los piden y el mercado local no demanda aspectos como el de cumplimiento con las normas ambientales. Sin embargo ni los países industrializados han logrado eliminar del todo los recubrimientos base solvente, tal es el caso de Estados Unidos, donde durante el año 2002 las pinturas base solvente representaban el 65% de los recubrimientos industriales.<sup>20</sup>

## OTROS ASPECTOS DE LOS RECUBRIMIENTOS ANTICORROSIVOS

Los recubrimientos anticorrosivos deben de cumplir con algunas otras características que las cuales determinaran la eficiencia del mismo, algunos de ellos son:

### Volumen de sólidos y rendimiento teórico

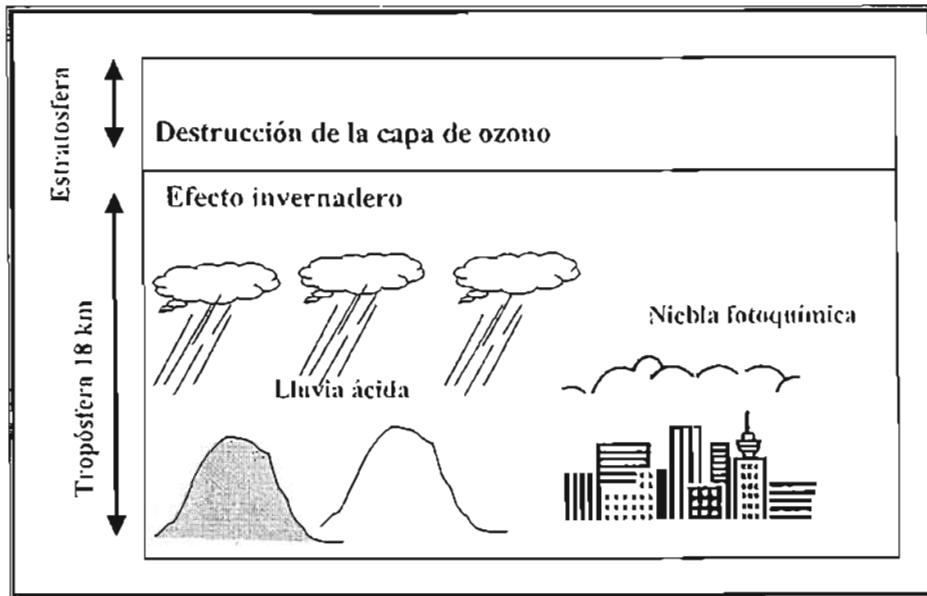
Para el usuario es relevante saber que tanto va a rendir cada litro de recubrimiento que adquieren ya que con este dato puede estimar la cantidad de material a utilizar para efectuar un trabajo determinado y comparar en forma real los costos de diferentes esquemas de protección anticorrosiva, que el fabricante ofrece.

Un litro de recubrimiento líquido, contiene una mezcla de sólidos, que forman la película protectora y líquidos volátiles, que se evaporan después de aplicar el recubrimiento. En la fabricación de recubrimientos y en cada formulación, la relación entre sólidos u líquidos volátiles puede variar siendo los primeros el interés del usuario. Generalmente los fabricantes indican el rendimiento o el área que puede ser cubierta, en metros cuadrados, por cada litro a un espesor de una milésima de pulgada de película seca.

**Compuestos orgánicos volátiles, COV,**

Considerando los altos niveles de contaminación atmosférica que se han alcanzado, se ha hecho urgente analizar cuidadosamente los problemas planteados por los compuestos orgánicos volátiles, COV, empleados en la fabricación de pinturas. A este respecto, es importante considerar su impacto en los cuatro aspectos más importantes que afectan el entorno atmosférico: la capa de ozono, el efecto invernadero, la lluvia ácida y la niebla fotoquímica. Ver figura 1.<sup>11</sup>

Figura 1. Consecuencias de la contaminación atmosférica



La destrucción de la capa de ozono es causada por la descomposición de productos halógenos a alta altitud, inducida por efecto de la luz ultravioleta. El prolongado ciclo de vida de estos compuestos se ha convertido en un problema, especialmente en el caso de los fluorocarbonados (cuya vida es de aproximadamente 80 años). Los solventes orgánicos, cuya fotodegradación es muy rápida, no contribuyen de manera significativa a esta destrucción.

Vista en un plano global, la degradación de solventes orgánicos por operaciones de pintura libera bióxido de carbono a la atmósfera terrestre.

Los solventes orgánicos pueden reaccionar también con otros radicales libres en la atmósfera, como el hidropéroxido (.OOH), o el oxígeno atómico (.O) e incluso con el ozono (O<sub>3</sub>) y los vapores nitrosos (NO<sub>2</sub> y NO).

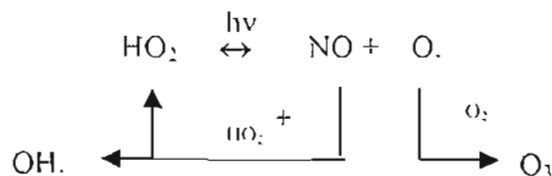
Al contribuir a la formación de CO<sub>2</sub>, la degradación de los solventes orgánicos contribuyen también al efecto invernadero. Sin embargo, debido a que la cantidad de CO<sub>2</sub> es relativamente pequeña en comparación con otras fuentes su contribución se considera como leve.

Al contrario de las emisiones de nitrógeno y óxidos de sulfuro los solventes no contribuyen a la lluvia ácida.

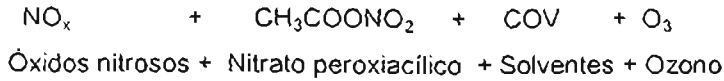
Por su parte la niebla fotoquímica se produce por el efecto combinado de los elevados contenidos de óxidos de nitrógeno en la atmósfera y la radiación ultravioleta, lo que conduce a la formación de oxígeno atómico que reacciona con el oxígeno para formar ozono a muy baja altitud (troposfera).La cual puede causar irritación en las vías respiratorias.



Dado que la degradación de los COV contribuye a la formación de bióxido de nitrógeno, también contribuye, aunque de manera indirecta a la formación de oxígeno atómico y, en consecuencia, a la formación de ozono a partir de la siguiente reacción:

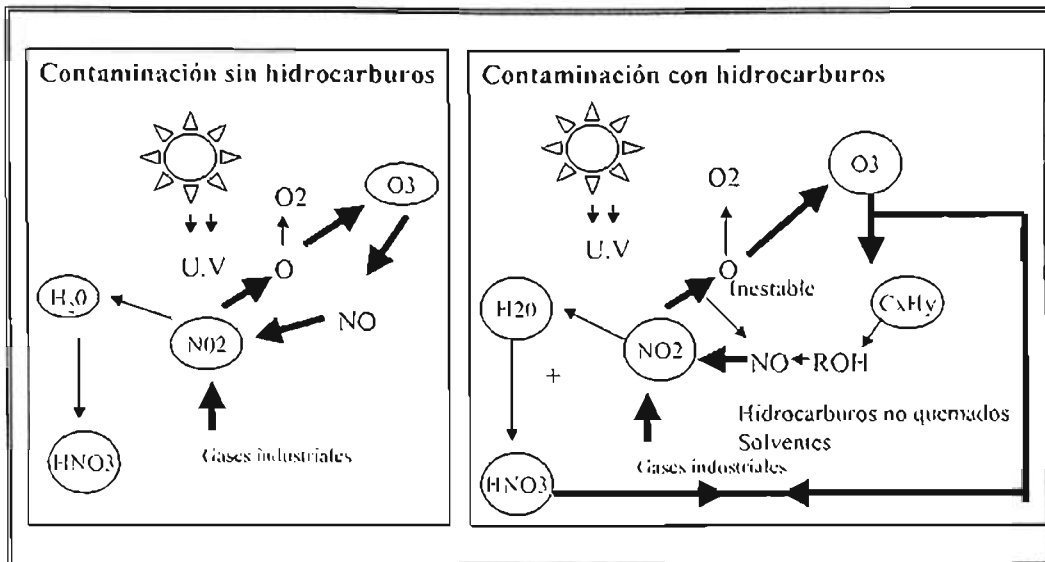


Es evidente que el ozono formado de esta manera contribuye al fenómeno localizado de la niebla fotoquímica, que no es más que una mezcla de:



Así puede afirmarse que entre más se degraden los hidrocarburos, más se aceleran estas nieblas. Ver figura 2

Figura 2. Contaminación atmosférica en ausencia y presencia de hidrocarburos



En América Latina el asunto de la regulación de solventes se ha tomado con ligereza por parte de los gobiernos, que aún no se han pronunciado directamente sobre las emisiones de compuestos orgánicos volátiles. La excepción es Brasil, donde se ha lanzado un proyecto para comenzar a restringir el uso de solventes aromáticos en algunas formulaciones. La reglamentación mexicana para recubrimientos anticorrosivos en cuanto a la cantidad máxima permitida actualmente en cuanto a estas sustancias es nula.

## CAPÍTULO 6. GUIA PARA LA SELECCIÓN DE UN RECUBRIMIENTO APLICADO SOBRE ACERO EN UN REFINERÍA DE PETRÓLEO

En las refinerías de petróleo los recubrimientos, se seleccionan básicamente en función de las condiciones de exposición atmosférica, las temperaturas del sustrato incluyendo las condiciones normales de operación (no las de diseño) así como las que pueden alcanzarse en caso de un evento fuera de control, costos de mantenimiento, la facilidad de aplicación así como las preferencias del cliente.

A continuación se darán una serie de criterios para la selección del recubrimiento

### Condiciones Ambientales

En las plantas industriales se encuentran ambientes que varían en el grado de severidad. De manera general las condiciones ambientales de las zonas industriales se pueden clasificar como:

18, 19,20

- Moderados: ambientes sujetos a una moderada corrosión, por los bajos niveles de promotores (cloruros, sulfatos, etc). Una industria petroquímica no se encontrará en un ambiente moderado ya que los niveles de promotores son altos, debido a su propio proceso.
- Críticos: plantas construidas al nivel del mar, pero alejados de las zonas costeras.
- Severos: ambientes con altas concentraciones de contaminantes químicos.
- Severo-marino: se refiere a los ambientes localizados en un radio promedio de 5 millas del mar. Este el medio donde se presentan los mayores daños ocasionados por la corrosión y es precisamente donde se localizan la mayor parte de las refinerías.

La mayoría de la industria petroquímica puede contemplarse en los tres últimos ambientes y la guía de selección que se propone en este trabajo es válida para ellos. Para el caso de un ambiente moderado puede emplearse esmalte alquidálico tipo industrial, siempre y cuando sea una industria con bajos niveles de promotores de la corrosión.

### Regulaciones Ambientales

En México las regulaciones ambientales no son tan drásticas, como es el caso de los Estados Unidos, donde está limitado el uso de compuestos tóxicos como son algunos metales y disolventes. Por ejemplo en México la cantidad de compuestos orgánicos volátiles para

recubrimientos de uso industrial no está regulada en cambio en Estados Unidos es de 450 g/L (gramos de compuestos orgánicos volátiles / litro de pintura). Sin embargo no por ello debe descuidarse este aspecto y aunque no exista una legislación, el seleccionador tiene una responsabilidad civil y debería emplear sistemas que contaminen lo menos posible.

### Aspecto Técnico Y De Desempeño

Para seleccionar un recubrimiento anticorrosivo deben contemplarse su resistencia, vida útil, sus sólidos que se reflejaran en su rendimiento, espesor recomendado, su tiempo de curado (tiempo para recubrir) y el costo final del sistema

En la tabla 1 se presenta, de manera general un las principales características de los recubrimientos. Los datos presentados en este capítulo corresponden a una investigación en las empresas: Amercoat Mexicana, Mobay, 3M, Sherwin Williams.

Tabla 1. Tabla comparativa de las características de los recubrimientos anticorrosivos

PRODUCTO	USOS	VENTAJAS	SÓLIDOS (VOL.) %	COV <sup>1</sup> g / L	CURADO A 20°C <sup>2</sup>	PRECIO US \$/ L <sup>3</sup>
Primario epóxico	Recubrimiento primario para acero estructural	Buena adherencia, excelente resistencia a ambientes corrosivos	42	450	4 horas	6.5
Acabado epóxico	Acero estructural industrial, maquinaria, tuberías, exteriores de tanques, muelles, cascos, superestructuras de contenedores.	Bajos COV, Buena adherencia, excelente resistencia a ambientes corrosivos	65	450	3 horas	23
Poliuretano alifático	Paredes y pisos de concreto. Exterior de carros tanque y recubrimiento de tolvas.	Acabado de alto brillo y altos sólidos. Elevada resistencia al impacto y a la abrasión.	73	350	2.5 horas	28
Primario inorgánico de zinc base agua	Estructuras metálicas, tuberías, exteriores de tanques, estructuras marinas, cubiertas y superestructuras de barcos, plataformas marinas, puentes.	Base agua Alto contenido de zinc	63	-	72 horas	14
Siloxano para altas temperaturas.	Resistencia a calor extremo aplicado en forma continua. Resistente a condiciones severas de acidez y humedad. Protege el acero y al acero inoxidable bajo el aislante.	Bajo COV. Resistencia hasta 1093 °C	84	150	3 horas (50% HR)	47.5

1. Compuestos orgánicos volátiles del sistema
2. Tiempo para recubrir
3. Costo del sistema

A continuación se presenta una crítica comparativa de la tabla 1.



## Sólidos Y Su Relación Con El Costo Final Del Recubrimiento

El costo por galón muchas veces no significa mucho, porque existe otro factor que es más relevante y es la cantidad de sólidos depositados, espesor, en la película seca lo que se refleja en el área que estará protegida.

Para tener una idea del espesor aplicado hay que considerar más que nada los sólidos de la pintura. El rendimiento de una pintura se expresa en metros cuadrados por litro a un espesor de película seca expresado en milésimas. Para cada pintura el proveedor recomienda un espesor para lograr el mayor desempeño dela misma.

El rendimiento de una pintura se calcula de la siguiente manera: un litro de pintura tiene 1000 cm<sup>3</sup>, si la pintura tuviera 100% de sólidos (no volátiles) y si toda la pintura de la lata fuera aplicada, sin pérdidas, en una superficie a un espesor de película seca de 1 milésima (0.001 pulgadas) se tendrían los siguientes cálculos:

Si 1 milésima = 0.001 pulgadas = 0.0254 mm entonces:

$$(1000 \text{ cm}^3/\text{L}) \cdot (1/0.0254 \text{ cm}) = 39370.07 \text{ cm}^2/\text{L} = 39.370 \text{ m}^2/\text{L} \text{ al } 100 \% \text{ de sólidos}$$

De manera general para obtener el rendimiento (a 1 milésima de película seca) en m<sup>2</sup> por litro de cualquier pintura se aplica la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = (\% \text{Sólidos} \cdot 39.370) / 100$$

Una vez que se conoce el rendimiento de una pintura entonces se puede conocer el costo real del recubrimiento:

$$\text{Costo a 1 milésima} = \text{Costo por litro} / \text{Rendimiento}$$

El usuario siempre debe considerar que durante la aplicación hay mermas de material, estas mermas generalmente las proporciona el proveedor.

Ya con este costo es viable hacer un estudio comparativo entre los recubrimientos. En los recubrimientos analizados se tiene los siguientes análisis de costos. Ver tabla 2.

Tabla 2. Análisis de costos

PRODUCTO	SÓLIDOS (VOL.) %	ESPESOR SECO RECOM. (mils)	RENDIMIENTO A 1 MILS (m2/litro)	PRECIO US \$ / L	COSTO REAL A 1 MIL, US \$/m2	COSTO REAL A ESPESOR RECOM US \$/m3
Primario epóxico	42	2	16.5	6.5	0.39	0.79
Acabado epóxico	65	6	25.6	23	0.90	5.39
Acabado poliuretano alifático	73	5	28.7	28	0.97	4.87
Primario inorgánico de zinc base agua	63	3	24.8	14	0.56	1.69
Siloxano para altas temperaturas.	84	10	33.1	47.5	1.44	14.36

Como se puede observar en la tabla 2, el precio inicial del producto no es un indicador clave, por ejemplo el poliuretano alifático tiene un costo real más bajo en comparación con el acabado epóxico por otro lado hay que considerar que el desempeño (resistencia) es mejor en un poliuretano alifático aunque su costo inicial es alto. Este mejor desempeño se refleja en el tiempo de vida del recubrimiento. Por otro lado debe siempre considerarse el costo total real del sistema, como ya se explico anteriormente se usan sistemas de recubrimientos, es decir como primario y acabado, y el único que suele emplearse sólo es el siloxano para altas temperaturas. El sistema a utilizar siempre deberá depender de los requerimientos del sistema a proteger.

Para conocer el desempeño de los recubrimientos deben realizarse pruebas de resistencia a compuestos químicos principalmente disolventes, bases y ácidos así como pruebas de intemperismo acelerado. Estas pruebas requieren de mucho tiempo y en los proyectos el cliente no depende del mismo, sin embargo la mayoría de los proveedores ya han realizado pruebas comparativas de sus productos por lo que es recomendable solicitar dicha información.

Las pruebas que realiza el proveedor de la pintura deben de realizarse, de preferencia en sistemas de recubrimientos pues un cliente generalmente no emplea un solo recubrimiento. En la tabla 3. Se presenta un pronóstico de vida útil de algunos sistemas de recubrimientos anticorrosivos.<sup>25</sup>

Tabla 3. Tiempo de vida de los sistemas recubrimientos

Sistema, A:Acabado, I: Intermediario,P: Primer	Años de vida esperada
A: Epóxico, P:Epóxico	4-8
A:Epóxico, P: Inorgánico dezinc	4-8
A. Poliuretano, I: Epóxico, P: Epóxico	8-12

### Otros Costos

El costo de pintar estructuras de acero involucra el costo de mano de obra, materiales y servicios. Muchas veces el tiempo de vida de una protección más económica no tiene nada que ver con una baja inversión. La protección más económica es aquella que resulta en el costo más bajo en términos de dólares por metro cuadrado por año de duración de la pintura.

El costo de aplicación de pintura anticorrosiva involucra los siguientes aspectos:

- Preparación de superficie
- Aplicación de la pintura
- Materiales extras

Costo de preparación de superficie

La preparación de superficie puede ser mediante:

- Limpieza manual
- Limpieza con herramientas mecánicas
- Limpieza con flama
- Limpieza con chorro de arena

Cada una de ellas proporciona un grado diferente de limpieza muchas veces se prefiere la limpieza con chorro de arena la cual proporciona el mayor grado de limpieza en corto tiempo. Las de flama y por herramienta no se emplean solas porque pueden presentarse superficies irregulares después de la limpieza y por lo tanto se llega a requerir otra limpieza más.

- Limpieza a mano: 25 pie<sup>2</sup> por hora (2.3 m<sup>2</sup> por hora)
- Limpieza con herramienta metálica: 50 pie<sup>2</sup> por hora (4.6 m<sup>2</sup> por hora), pero se presenta una superficie irregular.
- Limpieza con flama: 53 pie<sup>2</sup> por hora (4.9 m<sup>2</sup> por hora), con boquilla de ¼ pulgada.

- Limpieza con chorro de arena: 213 pie<sup>2</sup> por hora (19.8 m<sup>2</sup> por hora), con boquilla de ¼ pulgada.

Como ya se mencionó anteriormente los grados de limpieza alcanzados es diferente con cada método por ejemplo la limpieza manual representa sólo un cuarto de la limpieza que se obtiene por chorreado de arena. Para el mismo grado de limpieza con ambos métodos la superficie a limpiar sería de 6 ¼ pies cuadrados por hora con la limpieza manual, en comparación con los 213 pies cuadrado por hora por chorro de arena.<sup>24</sup>

En la tabla 3, se presenta un análisis comparativo entre el costo de operación de la limpieza por chorro de arena y la manual.

Tabla 3. Costos de operación limpieza manual y chorro de arena

Tipo de limpieza	Personal	Grado de limpieza pie <sup>2</sup> /h	Precio mano de obra, dólares/h	Costos de operación, dólares/pie <sup>2</sup>
Arena con boquilla de 1/4	2	213	2.5	0.023474178
Manual	1	6.25	2.5	0.4
Servicios Limpieza de arena*				
Arena		0.02 dólares/pie <sup>2</sup>		
Aire		0.009 dólares/pie <sup>3</sup>		
Para el aire es un costo promedio (electricidad y mantenimiento del compresor)				
Costo total limpieza por chorro de arena				0.052474178 dólares/pie <sup>2</sup>

\*Datos de la empresa Hidromex S.A de C.V

Como se puede observar en la tabla 3, el costo de limpieza manual es 10 veces más alto que por chorro de arena. La preparación que generalmente se recomienda es por chorro de arena pues proporciona una mayor área de anclaje y la cantidad de contaminantes es mínima. Ver anexo 1.

### Costos de aplicación

Los métodos convencionales para la aplicación de pintura anticorrosiva es por brocha y por aspersión. La superficie a pintar para brocha es de 100 pie<sup>2</sup>/h y por aspersión de 600 pie<sup>2</sup>/h. En la tabla4 se presenta un análisis comparativo del costo de aplicación.

Tabla 4. Análisis comparativo método de aplicación

Método de aplicación	Superficie pintada pies <sup>2</sup> /h	Personal	Precio mano de obra, dólares/h	Costos de operación, dólares/pie <sup>2</sup>
Brocha	100	1	2.5	0.025
Aspersión	600	1	2.5	0.00417
Costo de aire	0.009			
Costo total por aspersión	0.01317 dólares/pie <sup>3</sup>			
Para el aire es un costo promedio (electricidad y mantenimiento del compresor)				

Como se observa en la tabla 4, la aplicación por aspersión representa un costo final más bajo además de que el acabado es más uniforme. Generalmente los proveedores recomiendan que se aplique el producto por aspersión con el fin de alcanzar espesores uniformes además de disminuir pérdidas durante la aplicación.

#### Materiales extras

Algunos proveedores de pintura sugieren que se empleen solventes para facilitar la aplicación, sin embargo éstos sólo deben emplearse si el proveedor lo recomienda pues hay que evitar perder sólidos finales después de la aplicación, lo más recomendable es que el producto este listo para aplicar. Sin embargo si se llegará a emplear algún disolvente es necesario entonces incluir su costo.

Cada proveedor sugiere el disolvente a emplear y el costo dependerá del tipo de material.

#### Y el tiempo

Otro factor que no debe de perderse de vista es el tiempo de aplicación del sistema de recubrimientos y es aquí donde el tiempo de curado es relevante ya que generalmente, se requiere aplicar varias capas para dar el espesor recomendado. En este caso los primarios inorgánicos de zinc tienen un tiempo de curado muy largo, 72 h. Si el tiempo de curado no es respetado se presentan defectos de película, adherencia, etc. Nunca debe pasarse por alto este tiempo en la selección de los recubrimientos anticorrosivos.

#### Otros factores

A continuación se presentan una serie de consideraciones que hay que tomar en cuenta según el tipo de acero y/o equipo empleado:

## Acero inoxidable austéntico

Este acero se emplea en las refineras de petróleo, principalmente, para equipos sometidos a presiones extremas. En estas condiciones el acero puede quebrarse o picarse, situación que se ve afectada en presencia de cloruros, sulfuros y agua, propios del ambiente, proceso o el mismo recubrimiento. Este hecho aumenta su importancia si se hace uso de temperaturas mayores a los 60 °C.

Pero también no hay que pasar por alto que el acero puede haberse contaminado durante la soldadura con trazas de plomo, bismuto, zinc, mercurio, antimonio, cadmio o estaño, las cuales pueden promover la formación de celdas donde podría iniciarse una falla del acero.

Los recubrimientos que se aplique en este tipo de acero deben cumplir con los siguientes requisitos:

- La cantidad de cloro debe ser menor a 200 partes por millón en peso.
- El contenido de sulfuro no debe exceder al 1 %.
- La pintura debe estar libre de metales como plomo, bismuto, mercurio, antimonio, cadmio, estaño, aluminio y obviamente los recubrimientos de zinc no deben emplearse en este tipo de acero que se someterá a altas presiones.
- No hay que pasar por alto que cuando se emplean altas presiones, también hay cambios de temperatura dichos cambios no deben pasar por alto en una pintura anticorrosiva, como es la temperatura ambiente y en algunos casos los procesos a altas presiones requieren temperaturas de 180 °C, en la superficie de un equipo de acero aislado.

En el caso del acero estudiado un sistema epóxico (primario y acabado) con resistencia a la humedad y a altas temperaturas (200° C), o bien una resina de silicón que llegan a resistir hasta (650° C)

Generalmente el acero empleado en sistemas criogénicos no requieren de ningún tipo de recubrimiento, sin embargo algunas veces los equipos son recubiertos con una capa de pintura epóxica si serán trasladados por vía marítima, esto es con el fin de evitar cualquier daño en el equipo por contaminación.

## **Acero al carbón y otras aleaciones de acero**

Si un equipo de una refinería sólo será sometido a altas temperaturas, basta con utilizar alguna otra aleación de acero diferente al acero austéntico, incluyendo el acero al carbón.

Al igual que el caso anterior pueden emplearse un recubrimiento epóxico o uno de silicón. En este caso es viable emplear un primario inorgánico de zinc, siempre y cuando las temperaturas de operación no excedan los 250 °C.

Si las temperaturas de operación son bajas puede emplearse un poliuretano en conjunto con el inorgánico de zinc.

## **Acero estructural**

El acero estructural se emplea en los racks de tuberías, edificios, etc. Este material es un acero al carbón libre de cromo. En las escaleras, plataformas, etc., generalmente se prefiere emplear acero galvanizado en lugar de un recubrimiento, a excepción de las zonas con ambientes químicamente complicados, debido más que nada a cuestiones de costo. El galvanizado es relativamente barato y proporciona por lo menos 20 años de vida útil sin daños.

Un alternativo al galvanizado, es una capa de pintura inorgánica de zinc aplicada como mínimo a un espesor de 3 milésimas, posteriormente un acabado epóxico. Cabe mencionar que el recubrimiento de zinc debe tener por lo menos un 85% de zinc en la película ya seca y de preferencia con un bajo contenido de plomo, 0.01 %.

En caso de que se requiera utilizar un recubrimiento "anti-fuego" es necesario aplicar tres capas de recubrimiento una consistirá en el inorgánico de zinc la segunda puede ser otro inorgánico de zinc el cual contenga el material anti-fuego, generalmente oxiclورو de magnesio, y por último el acabado epóxico. Esta medida es con el fin de evitar que el oxiclورو dañe el acero.

## **Tanques de acero al carbón**

Muchas veces los fabricantes de tanques de grandes dimensiones, protegen sus equipos durante el embarque y manejo de los mismos empleando un primario de zinc. Este recubrimiento nunca va a proteger por sí solo contra la corrosión además puede verse dañado durante la instalación por lo que se recomienda eliminarse para poder aplicar un nuevo acabado, puede ser un sistema epóxico como primario y un poliuretano como acabado, para ambientes cercanos al mar-severos

se recomienda aplicar un epóxico primario, una capa intermedia de epóxico y un acabado poliuretano o epóxico.

Para evitar remover el recubrimiento de zinc se puede sugerirse al proveedor del equipo que aplique primero el de zinc y después un acrílico base agua, para lograr un curado excelente del primero y de esta manera ya no habrá necesidad de removerlo pues estará perfectamente seco y curado, por lo que se puede aplicar sólo una capa de acabado ya sea epóxico o poliuretano..

### **Recipientes a presión**

Tanques, reactores, columnas, generadores de vapor, son fabricados con acero al carbón, aleaciones de acero, acero austénico, entre otros. Estos equipos generalmente tienen un recubrimiento.

Para este caso los recubrimientos deben resistir una variedad de ciclos de temperatura, en algunos casos estos llegan a ser muy severos, como es el caso de las altas columnas donde se manejan amplios rangos de temperaturas. En este caso el recubrimiento debe resistir y no hacerse quebradizo.

Se recomienda no aplicar el recubrimiento bajo un aislante, es preferible hacerlo al exterior, sin embargo las bridas, boquillas, etc., es conveniente que sean recubiertas.

Si el recubrimiento se aplicará sobre el aislante es entonces necesario seleccionarlo en función de la temperatura:

Se recomienda seleccionar en función de las temperaturas de operación:

- a) Ambiente a 121 ° C se tiene dos casos
  - 1) Ambientes moderados o severos: zinc- epóxico. Se puede emplear un poliuretano pero el costo es mayor
  - 2) Ambientes severo-marinos: zinc como primario, intermedio epóxico, y como acabado un poliuretano.
  
- b) 122 – 204 °C: es suficiente con un inorgánico de zinc y un epóxico
- c) 205 – 400 ° C con aplicar un recubrimiento inorgánico de zinc (hasta 400 °C puede usarse, a más altas temperaturas se funde), y un silicón resistente a las temperaturas.
- d) 401 – 648 ° C con emplear una pintura de silicón que contenga pigmentos de aluminio, es suficiente.



En caso de que el cliente desee proteger su equipo por debajo del aislamiento es suficiente tomar en cuentas las recomendaciones anteriores de rangos de temperaturas, sin embargo un inorgánico de zinc NUNCA debe ser empleado pues éste en contacto con agua que llegue a quedar atrapada en el aislamiento y a una temperatura de 60 °C se presenta un cambio electroquímico, el zinc se convertirá en cátodo y el acero será ahora el ánodo, lo que aceleraría la corrosión del acero.

### **Intercambiadores de calor**

Estos equipos, en el exterior no presentan temperaturas mayores a 230 °C, por lo que se puede emplear un epóxico como primario y acabado. El sistema epóxico opera hasta 230 ° C sin problemas

### **Válvulas y tuberías**

Hasta 400 ° C se puede emplear un inorgánico de zinc y un acabado epóxico.-

A mas de 650° C se recomienda emplear pinturas de silicón que contenga aluminio

### **Bombas:**

Generalmente los proveedores las pintan, pero en caso de ser requerido por el cliente se emplea el mismo criterio que el de tanques.

Los proveedores aplican un primario de zinc y como acabado un epóxico de aluminio

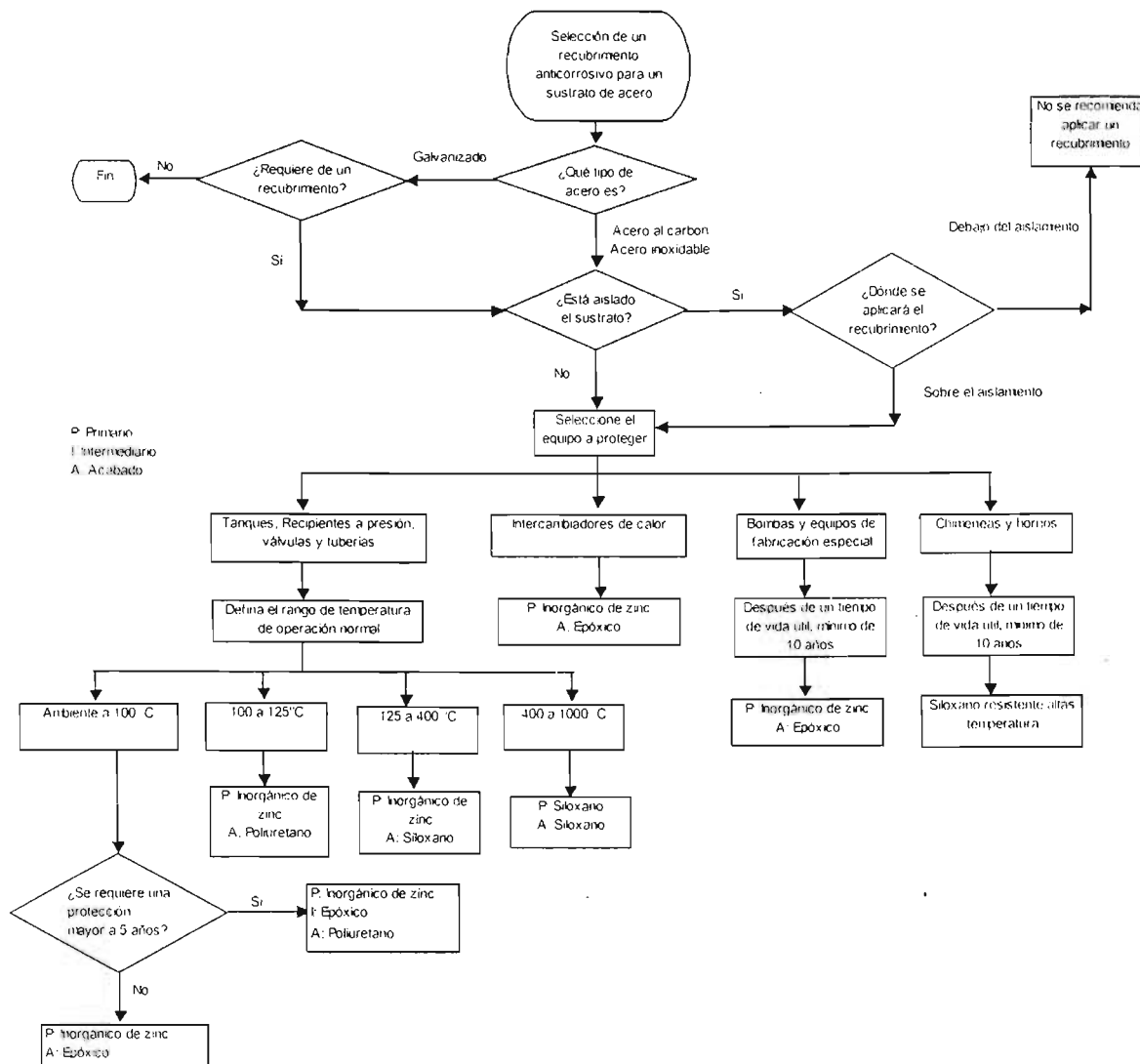
### **Chimeneas, ductos, hornos**

Estos equipos incluyen un sistema refractario, por lo que la temperatura externa es la ambiente y no de requiere un acabado pero puede aplicarse un primario de zinc un acabado de silicón, pero esta medida sólo se recomienda después de que el equipo ha tenido ya una vida útil, pues es un gasto innecesario.

Ya se han visto todas las recomendaciones posibles para un recubrimiento sin embargo es recomendable no garantizarlo por más de 10 años, generalmente 5 años es lo más conveniente.

Por último en el diagrama 1 se presenta una guía rápida que permite seleccionar de manera rápida y eficiente un recubrimiento anticorrosivo.

Diagrama 1. Guía para la selección de un recubrimiento anticorrosivo



Otros aspectos que deben quedar establecidos de preferencia con el cliente son:

- a) Preparación de superficie: Cada recubrimiento requiere un preparación adecuada para su desempeño, sin embargo este costo varia según el tipo de preparación que va desde limpieza a mano hasta limpieza con chorro de arena.
- b) El cliente debe estar de acuerdo con el material a emplear y esto debe quedar plasmado en el Alcance del Proyecto pues el costo del mismo puede afectar seriamente el costo del proyecto.

- c) En el caso de la aplicación debe especificarse el tipo de aplicación ya sea por aspersión, brocha, inmersión o rolado. Este punto es relevante pues con cada uno de ellos se obtienen espesores y acabados diferentes.
- d) Número de capas y espesor: Este aspecto debe quedar establecido también en el Alcance del Proyecto, pues es uno de los principales factores por los que puede fallar el desempeño de la pintura.
- e) Establecer que áreas o equipos serán pintados y con que calidad, muchas veces el cliente desea tiempos de vida mayores a 10 años, lo que eleva el costo del sistema anticorrosivo, pues entonces deben supervisarse en todo momento la selección, preparación de superficie, aplicación y curado de la pintura anticorrosiva para evitar que falle el sistema en poco tiempo.

Como se observa la selección de un recubrimiento nunca debe pasarse por alto, y lo más importante debe quedar plasmando en el Alcance del Proyecto, con el fin de cumplir con los requerimientos del cliente y evitar pérdidas a las firmas de ingeniería. Cada vez que se seleccione un sistema de pintura anticorrosivo debe realizarse un estudio donde se analicen los factores que se mencionaron anteriormente, con el fin de hacer la mejor elección en cuanto a costo y desempeño.

Por último se presenta una lista de verificación que puede auxiliar al usuario en la selección del mejor sistema de recubrimientos anticorrosivo

Lista de verificación

- \_\_\_\_\_ Defina el tipo de servicio del equipo a proteger
- \_\_\_\_\_ Defina las condiciones de operación de los equipos a proteger
- \_\_\_\_\_ Defina las condiciones ambientales de la zona
- \_\_\_\_\_ Defina las condiciones de exposición de los equipos
- \_\_\_\_\_ Defina el tipo de material de los equipos
- \_\_\_\_\_ Especifique si hay algún requerimiento propio del cliente o gubernamental
- \_\_\_\_\_ Defina las condiciones bajo las cuales se aplicará el sistema de recubrimientos
- \_\_\_\_\_ Establezca el grado de preparación de la superficie
- \_\_\_\_\_ Seleccione los sistemas más acordes según la guía propuesta.
- \_\_\_\_\_ Calcule el precio del sistema de recubrimientos en base al rendimiento del mismo, número de capas requerido, materiales extras, costo de aplicación, costo de preparación de la superficie y costo de supervisión
- \_\_\_\_\_ Seleccione la mejor alternativa

## CAPÍTULO 7. VALIDACIÓN DEL ESTUDIO

El estudio de la selección del recubrimiento se hizo mediante una encuesta tanto a los proveedores como a los usuarios de éstos. Se estableció una muestra de 50 encuestados, de los cuales 25 fueron proveedores y 25 usuarios de pinturas anticorrosivas

Los usuarios que se seleccionaron pertenecen a firmas de ingeniería y especialista del mantenimiento de plantas industriales, algunos de ellos pertenecen a empresas como ICA Fluor, Instituto Mexicano del Petróleo, Petróleos Mexicanos, principalmente.

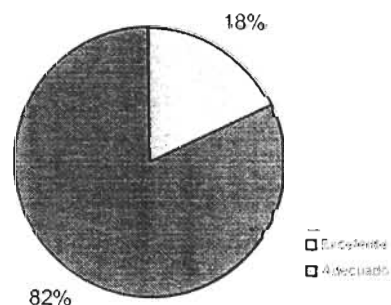
Todos los proveedores se encuentran en México, algunos de ellos son Amercoat, Bayer, 3M, Sherwin Williams y Basf.

En el anexo 1 se presenta la encuesta realizada:

### **Análisis de la encuesta “ Nuevas tecnologías de pinturas anticorrosivas”**

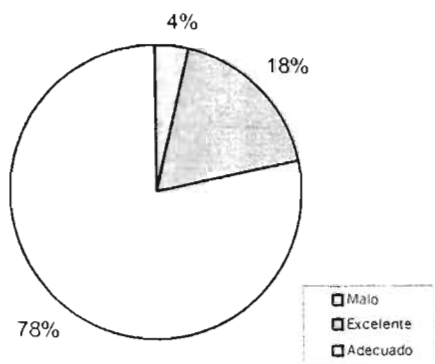
1. **Comparando técnicamente a los recubrimientos anticorrosivos con las otras técnicas para controlar la corrosión como considera su desempeño:**

**Análisis:** La mayor parte de los encuestados, tanto usuarios como proveedores, considera que los recubrimientos anticorrosivos son una alternativa viable para el control de la corrosión en la industria, por lo que sigue siendo un método eficaz para controlar la corrosión, cabe mencionar que este método no lo consideran del todo excelente ya en si no elimina la corrosión. Ninguno de los encuestados lo considero malo.



2. **Desde el punto de vista económico cómo considera la alternativa de emplear recubrimientos anticorrosivos como método para controlar la corrosión**

**Análisis:** De la muestra de los encuestados, la mayoría, sobre todo los proveedores de pintura anticorrosiva, considera a los recubrimientos una alternativa viable entre los otros métodos existente para controlar la corrosión, ya que combina el aspecto de costo y desempeño. El 4% de los encuestados, todos consumidores de pintura anticorrosiva, considera que los recubrimientos de alto desempeño tienen un alto costo inicial.



**3. ¿Considera que los recubrimientos anticorrosivos son una alternativa práctica para el control de la corrosión, siempre y cuando sean aplicados adecuadamente?**

**Análisis:** El 100% los encuestados coincidieron en que los recubrimientos anticorrosivos son una alternativa práctica para controlar la corrosión, sobre todo cuando se usa en conjunto con otros métodos y si se hace de una manera adecuada.

**4. ¿Qué factores toma en cuenta para la selección de un recubrimiento anticorrosivo?**

Factor a considerar	% Muestra	Número de Proveedores	Número de Usuarios
Ambiente de exposición	98	25	24
Costo del recubrimiento	92	21	25
Tipo de servicio de los equipos	48	8	16
Toxicidad del recubrimiento	46	20	3
Facilidad de aplicación	46	22	1
Vida útil del recubrimiento después de la aplicación	34	10	7
Desempeño técnico del recubrimiento	26	11	2
Rendimiento	26	13	0
Costo de aplicación,	22	11	0
Experiencia	10	2	3

**Análisis:** La gran mayoría de los encuestados seleccionan los recubrimientos en base a las condiciones a las que estarán expuestos y el costo del mismo. Sin embargo no existe

un análisis de las demás alternativas, sobre todo por parte de los usuarios quienes básicamente sólo consideran estos 2 aspectos, y como se discutió anteriormente factores como el rendimiento, vida útil, desempeño y aplicación afectan de manera drástica tanto el costo del sistema de recubrimientos como la funcionalidad del mismo, situaciones que no deben pasarse por alto sobre todo en el caso de los usuarios.

**5. ¿Considera, que en México, es necesario contar con una reglamentación ambiental que regule los componentes tóxicos de los recubrimientos anticorrosivos?**

**Análisis:** El 90% de los encuestados considera que es necesario contar con una reglamentación ecológica para los recubrimientos anticorrosivos sin embargo el 10% que no está de acuerdo corresponde a los proveedores.

Los proveedores no están de acuerdo en una legislación debido a que en México no existe una cultura ecológica además para regular este aspecto se requiere un alto avance en la tecnología y que los usuarios estén dispuestos a pagar más por los recubrimientos, sobre todo que los recubrimientos ecológicos de alto desempeño son más caros.

**6. En qué orden considera el avance de las tecnologías de recubrimientos anticorrosivos de alto desempeño, en un término de 10 años en nuestro país.**

**Análisis:** Una gran parte de los encuestados, 62% principalmente los proveedores, en base a su experiencia considera que el avance tecnológico será de la siguiente manera:

- 1 Recubrimientos anticorrosivos altos sólidos
- 2 Recubrimientos anticorrosivos base agua
- 3 Recubrimientos anticorrosivos polvo
- 4 Recubrimientos anticorrosivos curado ultravioleta

El 32% de los encuestados desconoce este punto y el resto, 6%, se inclina por las tecnologías en polvo y base agua.

En base a lo obtenido se confirma que la tecnología en recubrimientos anticorrosivos gira hacia las tecnologías base solvente de altos sólidos, pues las otras alternativas no han presentado una alternativa viable en cuanto a desempeño, costo y facilidad de aplicación.

7. Para una planta industrial expuesta en una zona rural (bajos niveles de cloruros y sulfuros) y ubicada lejos del mar ¿cuál sistema de recubrimientos emplearía si las temperaturas de operación son menores a los 100 °C, donde además se desea una protección por lo menos de 5 años?

**Análisis:** Esta pregunta consiste en una selección fácil, en cuanto a las características de la zona y se comprobó que el 62% realizó una selección adecuada del recubrimiento a emplear, sobre todo en una zona donde no se requiere un alto desempeño y se pueden utilizar recubrimientos de un precio más bajo.

Sistema	% muestra	Número de proveedores	Número de usuarios
Primario: Inorgánico de zinc; Acabado: Epóxico	62.0	21	10
Primario: Epóxico; Acabado: Epóxico	18.0	4	5
Primario: Epóxico; Acabado: Poliuretano	6.0	0	3
Primario: Inorgánico de zinc; Intermediario: Epóxico; Acabado: Poliuretano	2.0	0	1
Desconoce	12.0	0	6

8. Para una planta industrial expuesta a una zona urbana-industrial (altos niveles de sulfuros) y establecida lejos del mar ¿cuál sistema de recubrimientos emplearía si las temperaturas de operación son menores a los 100 °C, y se desea una protección aproximada de 5 años?

Sistema	% muestra	Número de proveedores	Número de usuarios
Primario: Inorgánico de zinc; Acabado: Epóxico	14.0	3	4
Primario: Epóxico; Acabado: Epóxico	30.0	8	7
Primario: Epóxico; Acabado: Poliuretano	42.0	14	7
Primario: Inorgánico de zinc; Intermediario: Epóxico; Acabado: Poliuretano	8.0	0	4
Desconoce	6.0	0	3

**Análisis:** Esta pregunta deben de tomarse en cuenta más factores para realizar la selección por lo que se presento más controversia al seleccionar el recubrimiento más adecuado. La mayoría de los que se inclinan por la tercera opción, la más viable

técnicamente, son los proveedores de la pintura anticorrosiva quienes conocen más las ventajas y desventajas de sus productos. Cabe aclarar que los acabados epóxicos, segunda opción en la selección, no son recomendables para este caso pues conforme aumenta la corrosividad en la zona de exposición tienden a blanquecer por lo que se recomienda emplear como acabado un poliuretano y este factor no fue considerado por el resto de los encuestados, principalmente los usuarios pero tampoco hay que perder de vista que una buena parte de proveedores, 44%, no recomendarían el recubrimiento más adecuado.

9. Para una planta industrial expuesta en una zona costera ¿cuál sistema de recubrimientos emplearía si las temperaturas de operación son menores a los 100 °C, y se desea una protección aproximada de 5 años?

Sistema	% Muestra	Número de proveedores	Número de usuarios
Primario: Inorgánico de zinc; Acabado: Epóxico	4.0	0	2
Primario: Epóxico; Acabado: Epóxico	2.0	0	1
Primario: Epóxico; Acabado: Poliuretano	28.0	4	10
Primario: Inorgánico de zinc; Intermediario: Epóxico; Acabado: Poliuretano	60.0	21	9
Desconoce	6.0	0	3

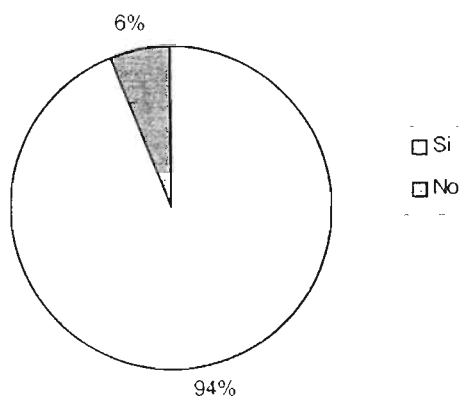
**Análisis:** La gran mayoría de los encuestados, 60% están de acuerdo que mientras aumente el nivel de corrosividad en la zona es necesario emplear recubrimientos de mayor desempeño. Sin embargo muchos de ellos, 40%, tienen dudas al seleccionarlos, esta duda se presenta más en los usuarios y ellos son la parte más importante para seleccionar un recubrimiento, por lo que se ve claramente la necesidad de contar con una guía que los auxilie en la selección y no sólo se vean influenciados por la información de los proveedores.

10. ¿Los usuarios establecen las especificaciones de los recubrimientos que requieren?

**Análisis:** La gran mayoría de los encuestados, 94% coinciden en que los usuarios establecen las especificaciones de los recubrimientos que se requieren, con lo que se comprueba la importancia de que este aspecto debe quedar siempre bien detallado en el inicio de cualquier proyecto o contrato y posteriormente debe aclararse con el proveedor de la pintura anticorrosiva, de lo contrario las pérdidas económicas pueden llegar a ser muy



altas, sobre todo si se toma en cuenta que los proveedores de pintura, generalmente, no garantizan la vida útil del sistema.



11. Una vez seleccionado el sistema de recubrimientos a emplear, considera que es necesario llevar un plan de inspección para asegurar el éxito del mismo

**Análisis:** Todos los encuestados están de acuerdo en llevar un plan de inspección para asegurar el éxito del recubrimiento, pero lo interesante es conocer los factores que toman en cuenta en el mismo, como lo muestra la respuesta de la pregunta 12.

12. En un plan de inspección de los recubrimientos, ¿Qué puntos considera necesario evaluar?

Factor	% muestra	Número de proveedores	Número de usuarios
Características de los recubrimientos (cartas técnicas de los productos)	98.0	25	24
Condiciones ambientales de la zona	90.0	24	21
Preparación de la superficie	78.0	25	14
Condiciones de los equipos de aplicación	60.0	25	5
Aplicación del sistema de recubrimientos	60.0	25	5
Inspección parcial del recubrimiento aplicado	96.0	25	23
Inspección final del recubrimiento aplicado	90.0	25	20

**Análisis:** Todos los puntos que se contemplaron en la encuesta son indispensables en un plan de inspección, si alguno de ellos no se considera se pueden presentar serios problemas en el desempeño del recubrimiento, por ejemplo uno de los factores más

descuidados es la aplicación que incluye además la preparación de superficie y condiciones de los equipos de aplicación. Si alguno de estos factores no se verifica, aunque el sistema de recubrimiento sea de la más alta tecnología, no tendrá la vida útil y desempeño esperado. Es crítico que los aspectos referentes a la aplicación sean los más olvidados por los usuarios de las pinturas anticorrosivas.

Como se puede apreciar en la encuesta los usuarios consideran pocos aspectos durante la selección de un recubrimiento, los proveedores saben bien cual recomendar sin embargo ellos siempre consideran que su producto es el mejor.

Para hacer una mejor selección de los recubrimiento es recomendable que el usuario consulte la guía que se propone en esta tesis así como el seguimiento a la lista de verificación . Y no por ello menos importante, que verifique en todo momento la aplicación del sistema seleccionado.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## CONCLUSIONES

Después del estudio se concluyó que los usuarios toman en cuenta pocos factores durante la selección, principalmente costo del recubrimiento y condiciones de los equipos. Sin embargo si la selección sólo toma en cuenta estos parámetros, el sistema seleccionado tiene alta probabilidad de fallar. Por lo que se refiere a los proveedores, éstos suelen comprometerse poco durante la selección, generalmente no aseguran la calidad de sus productos después de un tiempo de haber sido aplicados, principalmente por el aspecto de la aplicación. De aquí que sea importante que el usuario no pierda de vista ningún factor y que este en constate comunicación con su proveedor, así como los encargados de la aplicación.

Para minimizar los problemas de corrosión, o bien anticiparla es necesario tomar en cuenta varias precauciones durante todo el diseño, construcción, operación y mantenimiento de las plantas. Durante el diseño, deben asegurarse la correcta selección de los materiales según el ambiente al que serán expuestos, La selección debe considerar los costos de inspección, frecuencia de mantenimiento, flexibilidad de operación y obviamente con la rentabilidad.

La elección de un sistema de recubrimiento que proteja contra la corrosión es el resultado de un equilibrio entre:

- a) El impacto ambiental y de seguridad de la aplicación del recubrimiento, de aquí que sea necesario emplear recubrimientos más amigables como los de altos sólidos y base agua, sobre todo para los inorgánicos de zinc. Los referentes a curado por ultravioleta y la pintura en polvo representan una buena alternativa sin embargo los equipos no son pintados en la zona de trabajo ya que requieren equipo adicional para el curado y aplicación y los problemas en el momento de la instalación llegan a ser críticos sobre todo cuando se hacen reparaciones y adecuaciones en sitio. Por el momento la alternativa más viable son los recubrimientos de altos sólidos.
- b) El impacto económico del recubrimiento en el proyecto, muchas veces un recubrimiento sólo se selecciona por este aspecto, sin contar la vida útil del recubrimiento. Por ejemplo los poliuretanos tiene un costo inicial más alto pero el tiempo de vida útil y desempeño llega a ser en algunos casos superior a 10 años, como se vio en el apartado de costos. Este punto siempre debe de quedar establecido con el cliente ya que él dependerá los requisitos que él necesita. Por otro lado muchas veces no se requieren tiempos de vida muy largos por lo que no tiene caso emplear recubrimientos de alto costo inicial o quizás la zona de exposición no lo requiere pues hay que recordar que en zonas rurales un sistema convencional alquidálico proporciona un buen desempeño a bajo costo.

Antes de seleccionar el sistema de recubrimientos se recomienda contar con un análisis detallado de:

1. El ambiente de exposición
2. Las características de seguridad y manipulación del recubrimiento
3. Sus atributos de aplicación y reparación
4. Tipo de preparación de superficie
5. Sus características físicas (sobre todo tiempo de secado y repintado)
6. Análisis de costo

Y en el momento de la aplicación nunca debe pasarse por alto un plan de inspección, este punto es relevante sobre todo que se detecto que la mayoría de los clientes no consideran en cuenta todos los aspectos como son:

- Características de los recubrimientos (cartas técnicas de los productos)
- Condiciones ambientales de la zona
- Preparación de la superficie
- Condiciones de los equipos de aplicación
- Aplicación del sistema de recubrimientos
- Inspecciones parciales durante la aplicación
- Inspección final del recubrimiento aplicado

No basta con contar con tecnologías avanzadas, si el recubrimiento no tiene la aplicación adecuada, éste fallará.

En lo que se refiere a la tecnología en que se procesan las diversas pinturas anticorrosivas, la tecnología base solvente, son los que han dominado el ámbito de pinturas para equipos de larga vida y de mantenimiento industrial, siendo la tendencia hacia los altos sólidos para disminuir la cantidad de solventes. Si bien los recubrimientos en polvo están ganando terreno, todavía requieren muchas condiciones especiales durante su aplicación y curado pero sobre todo en el momento de instalación es difícil corregir las adaptaciones que se realizan en sitio pues no siempre coinciden todas las partes de un equipo, este mismo caso se aplica para los recubrimientos curados por radiaciones ultravioleta.. Los recubrimientos base agua sólo han sido efectivos para los inorgánicos de zinc, siendo su principal desventaja el largo tiempo de curado y la lenta evaporación del agua la cual puede iniciar la corrosión de los equipos.

Por otro lado es necesario que los usuarios de los recubrimientos anticorrosivos cuenten con una herramienta que les auxilie en la selección de los mismo y que tengan una idea de que información debe pedir al proveedor, como son los sólidos, rendimiento, resistencia, condiciones de aplicación y curado principalmente ya que se detecto en la encuesta que la mayoría de los clientes desconocen como hacer la mejor selección en cuanto a costo y desempeño.

Por último cabe señalar que un solo sistema de recubrimiento es único, el más adecuado dependerá del análisis que realice el usuario del mismo, un análisis detallado de cada uno de los puntos mencionados en esta tesis.

## ANEXO 1. ENCUESTA: NUEVAS TECNOLOGÍAS DE PINTURAS ANTICORROSIVAS

Nombre:

Usted es: \_\_\_\_\_ Consumidor \_\_\_\_\_ Proveedor

1. Comparando técnicamente a los recubrimientos anticorrosivos con las otras técnicas para controlar la corrosión como considera su desempeño:  
 \_\_\_\_\_ Excelente \_\_\_\_\_ Adecuado \_\_\_\_\_ Malo
2. Desde el punto de vista económico cómo considera la alternativa de emplear recubrimientos anticorrosivos como método para controlar la corrosión  
 \_\_\_\_\_ Excelente \_\_\_\_\_ Adecuado \_\_\_\_\_ Malo
3. ¿Considera que los recubrimientos anticorrosivos son una alternativa práctica para el control de la corrosión, siempre y cuando sean aplicados adecuadamente?  
 \_\_\_\_\_ Sí \_\_\_\_\_ No
4. ¿Qué factores toma en cuenta para la selección de un recubrimiento anticorrosivo?  
 \_\_\_\_\_ Ambiente de exposición  
 \_\_\_\_\_ Costo del recubrimiento  
 \_\_\_\_\_ Desempeño técnico del recubrimiento  
 \_\_\_\_\_ Vida útil del recubrimiento después de la aplicación  
 \_\_\_\_\_ Toxicidad del recubrimiento  
 \_\_\_\_\_ Facilidad de aplicación  
 \_\_\_\_\_ Costo de aplicación,  
 \_\_\_\_\_ Rendimiento  
 \_\_\_\_\_ Tipo de servicio de los equipos  
 \_\_\_\_\_ Otros ¿Cuáles? \_\_\_\_\_
5. ¿Considera, que en México, es necesario contar con una reglamentación ambiental que regule los componentes tóxicos de los recubrimientos anticorrosivos?  
 \_\_\_\_\_ Sí \_\_\_\_\_ No
6. En qué orden considera el avance de las tecnologías de recubrimientos anticorrosivos de alto desempeño, en un término de 10 años en nuestro país  
 \_\_\_\_\_ Recubrimientos anticorrosivos altos sólidos  
 \_\_\_\_\_ Recubrimientos anticorrosivos base agua  
 \_\_\_\_\_ Recubrimientos anticorrosivos polvo  
 \_\_\_\_\_ Recubrimientos anticorrosivos curado ultravioleta  
 \_\_\_\_\_ Lo Desconoce
7. Para una planta industrial expuesta en una zona rural (bajos niveles de cloruros y sulfuros) y ubicada lejos del mar ¿cuál sistema de recubrimientos emplearía si las temperaturas de operación son menores a los 100 °C, donde además se desea una protección por lo menos de 5 años?  
 \_\_\_\_\_ Primario: Inorgánico de zinc; Acabado: Epóxico  
 \_\_\_\_\_ Primario: Epóxico; Acabado: Epóxico  
 \_\_\_\_\_ Primario: Inorgánico de zinc; Intermediario: Epóxico; Acabado: Poliuretano  
 \_\_\_\_\_ Otro ¿Cuál? \_\_\_\_\_
8. Para una planta industrial expuesta a una zona urbana-industrial (altos niveles de sulfuros) y establecida lejos del mar ¿cuál sistema de recubrimientos emplearía si las temperaturas de operación son menores a los 100 °C, y se desea una protección aproximada de 5 años?  
 \_\_\_\_\_ Primario: Inorgánico de zinc; Acabado: Epóxico  
 \_\_\_\_\_ Primario: Epóxico; Acabado: Epóxico  
 \_\_\_\_\_ Primario: Inorgánico de zinc; Intermediario: Epóxico; Acabado: Poliuretano

\_\_\_\_\_ Otro ¿Cuál? \_\_\_\_\_

9. Para una planta industrial expuesta en una zona costera ¿cuál sistema de recubrimientos emplearía si las temperaturas de operación son menores a los 100 °C, y se desea una protección aproximada de 5 años?

\_\_\_\_\_ Primario: Inorgánico de zinc; Acabado: Epóxico

\_\_\_\_\_ Primario: Epóxico; Acabado: Epóxico

\_\_\_\_\_ Primario: Inorgánico de zinc; Intermediario: Epóxico; Acabado: Poliuretano

\_\_\_\_\_ Otro ¿Cuál? \_\_\_\_\_

10. ¿Los clientes establecen las especificaciones de los recubrimientos que requieren?

\_\_\_\_\_ Si \_\_\_\_\_ No

11. Una vez seleccionado el sistema de recubrimientos a emplear, considera que es necesario llevar un plan de inspección para asegurar el éxito del mismo

\_\_\_\_\_ Si \_\_\_\_\_ No

12. En un plan de inspección de los recubrimientos, ¿Qué puntos considera necesario evaluar?

\_\_\_\_\_ Características de los recubrimientos (cartas técnicas de los productos)

\_\_\_\_\_ Condiciones ambientales de la zona

\_\_\_\_\_ Preparación de la superficie

\_\_\_\_\_ Condiciones de los equipos de aplicación

\_\_\_\_\_ Aplicación del sistema de recubrimientos

\_\_\_\_\_ Inspecciones parciales durante la aplicación

\_\_\_\_\_ Inspección final del recubrimiento aplicado

## BIBLIOGRAFIA

1. WICKS Z, *Corrosion protection by coating*. Federation Series on Coatings Technology. Federation Series Editors, Philadelphia, 1987.
2. CERRUD S, ORTIZ P, et al. *Corrosión y Protección*, UNAM, México, 2003.
3. GENESCA J, AVILA J. *Mas allá de la herrumbre*. Fondo de Cultura Económica. México 1986.
4. NEWMAN R. "Understanding the corrosion of stainless steel", *Corrosion Science Section*. 57, num 12, (Dec 2001), 1030-1041.
5. FUNKE W, "Towards environmentally acceptable corrosion protection by organic coatings". *Journal of coatings technology*. 5, num 705, (Oct. 1983). 30-32.
6. DAVIS C, HANFORD J, "Metallic coatings for the protection of mild steel from corrosion at ambient temperatures", *Anti-corrosion*. (Jun 1970), 11-16.
7. GENESCA J, AVILA J. *Mas allá de la herrumbre II*. Fondo de Cultura Económica. México 1989.
8. MORCILLO M, SIMANCAS J. "Corrosividad atmosférica y sus aplicaciones en el diseño de esquemas de pintado para la protección de acero estructural", *Pinturas y Acabados*. 36, num 216, (Ene 1994), 9-18.
9. RODRÍGUEZ M, *Corrosividad atmosférica- MICAT México*. Plaza Valdez Editores. México 1999.
10. *Curso de control de corrosión*, Amercoat Mexicana ed, México, 1995.
11. DENNY J. *Principles and prevention of corrosion*, Mc Millan Publishing Company, Nueva York (1992)
12. SHARGAY C, SPARRELL C, "Control corrosion from plant. Cradle to crave" *Chemical Engineering*. (May 2003), 42-46.
13. ALMEIDA E, "New anti-corrosive painting technologies at the beginning of the 21<sup>st</sup> century". *Journal of coatings technology*, 72, num 911, (Dec 2000), 73-83.
14. MITCHEL M . "Altos sólidos o base agua: Los pros y los contras", *Inpralatina*. 8, num 1, (Ene-feb 2003), 21-24.
15. WILLIAM S, "Selección, aplicación e inspección de recubrimientos de poliuretano". *Inpralatina*, 6, num 6, (Oct 2001), 28-32.
16. SUMBRY L, BAGNER B. "Lining tank bottoms to extend service life", *Chemical Engineering*. (Jan 1993), 131-133.
17. LEWIS B, MOBBS D, "Solvent free phenolic epoxy for high temperature pipeline applications", *JPCL*. (Mar 2003). 50-53.
18. O'DONOGHUE M, GARRETT R, DATTA V, "Recubrimientos de curado rápido para infraestructura parte 1", *Inpralatina*, 7, num 3, (May/Jun 2002), 18-25.
19. URBAN M, *Laboratory handbook of organic coatings*, Globalpress, USA , (1999).



20. "El futuro de los recubrimientos base solvente". The Solvents Council, *Infralatina*, 7. num 6, (Oct 2002), 11-13.
21. FULTZ B, "Selecting protective coating for new construction for refineries in atmospheric service an American perspective", *JPCL*, (Mar 2003). 44-49.
22. GREENWOOD C, "NACE Roundtable: Future of corrosion in the pipeline industry". *Materials Performance*, (Dec 2000), 24-28.
23. LIEV D, SZEILA M, "Protecting underground assets with state of the art corrosion control". *Materials Performance*, (Jul 2002), 24-28.
24. WEAVER P. *Industrial maintenance painting*, Weaber, USA, 1960
25. "Aliphatic urethane coatings performance data guide", *Mobay*, CT-8218(10)M.
26. *Coating and lining inspection manual*. Bechtel Corporation, SSPC,USA ,1991