



II CAIM 2010
Segundo Congreso Argentino
de Ingeniería Mecánica
San Juan - Noviembre 2010

LA ENSEÑANZA DE LA CORROSIÓN EN LA INGENIERÍA MECÁNICA. UNA PROPUESTA SISTÉMICA

Jorge Luis Chiementon ¹ Juan Vicente Alvarez ²

**¹Departamento Mecánica Aplicada - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional del Comahue
Buenos Aires 1400 (8300) Neuquén Capital**

Tel +54-299-4422836

e-mail: jchiemen@uncoma.edu.ar

e-mail: alvarez@uncoma.edu.ar

RESUMEN

El fenómeno de la corrosión afecta a todo el espectro de materiales que utiliza el ser humano. Su control y prevención es fundamental para el éxito y la durabilidad de un proyecto manteniendo la seguridad de las instalaciones con bajos costos de mantenimiento.

A la hora de elaborar un proyecto de ingeniería, se deben tener en cuenta los aspectos relacionados con la corrosión. De este modo se pueden reducir costos de fabricación y fundamentalmente lograr una mayor vida útil, con bajos costos de operación y mantenimiento. Por lo tanto, dada la trascendencia de la temática, esta debe ser convenientemente abordada y desarrollada dentro del plan de estudios de la carrera de ingeniería mecánica.

El trabajo tiene como base la experiencia de los autores, relacionada con el control y mitigación de la corrosión en los distintos materiales usados en las construcciones y en la industria en general.

La propuesta curricular que se presenta, está orientada a los alumnos de los últimos años de la carrera de Ingeniería Mecánica. Busca en su esencia presentar una perspectiva integral de la problemática y una adecuada comprensión por parte de los alumnos de los conceptos elementales, con el fin de que cuenten con una herramienta de orientación sobre el particular en su futuro ejercicio profesional, tanto en lo preventivo como en lo remedial.

Los principales tópicos tratados en el trabajo son: a) Importancia de la corrosión y el costo asociado; b) Tipos y clasificación de los procesos de corrosión; c) Proceso electroquímico de la corrosión; d) Prevención de la corrosión: recomendaciones de diseño; selección de materiales; protección catódica y recubrimientos protectores.

En la propuesta además del planteo de las consecuencias económicas de los fenómenos de corrosión, se pone especial énfasis en las cuestiones ambientales, conservación de los recursos y la prevención de accidentes.

Palabras Claves: *corrosión-ánodo-cátodo-pintura-anticorrosivas*

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión, por su importancia económica ligada al desarrollo tecnológico, necesita su divulgación técnica científica, para así evitar los perjuicios producidos por una deficiente aplicación de las medidas de protección. Para resaltar su importancia económica, vasta mencionar de acuerdo a estudios realizados, que el costo derivado de la corrosión representan del 3 al 4% del producto bruto interno de un país.

Entidades como el National Bureau of Standards, estimó que el 40% de la producción de acero estaba destinada a los elementos o equipos dañados por la corrosión.

Considerando que el tratamiento del fenómeno de la corrosión es una especialidad en si misma, el presente trabajo pretende incorporar los conceptos básicos y generar conciencia de la importancia de contemplar el fenómeno de la corrosión en un proyecto.

Si bien todo material utilizado es pasible del proceso de corrosión, el acero es el mas vulnerable y el que concentra el mayor desarrollo de los estudios científico-técnicos. Muchos materiales utilizados o desarrollados son derivados de los estudios para mitigar los ataques producidos sobre el acero.

Por tal razón la mayor parte del trabajo está orientado al tratamiento de los aceros, en relación a la mitigación del fenómeno de corrosión. La propuesta está orientada a la disciplina mecánica, donde el material mas utilizado es el acero.

El presente trabajo está basado en la experiencia de los autores desarrollada en grandes obras hidroeléctricas y de gas y petróleo.

2. IMPORTANCIA DE LA CORROSIÓN Y EL COSTO ASOCIADO

El control y mitigación de la corrosión es muy importante por los distintos aspectos que afecta el desconocerlo. Entre los aspectos mas importantes a considerar podemos mencionar:

a) Económico, se trata de las pérdidas producidas por la destrucción de los materiales, se consideran los costos de reposición y protecciones anticorrosivas. Si consideramos que el PBI en Argentina es de \$400.000 millones, representa tomando un 3,5%, \$14.000 millones al año. Cifra que habla de la importancia que reviste.

b) Conservación de los recursos, otro factor de importancia a tener en cuenta, es la conservación y optimización en el uso de los recursos naturales.

c) Seguridad para las vidas humanas, es importante tener en cuenta la seguridad de las personas, lo que trae aparejado costos adicionales impuestos por una serie de regulaciones gubernamentales y por normas internacionales como OSHA, A.N.S.I., ASTM, NACE, API, ISO.

d) Pérdidas directas, representa los costos de reposición de equipos y mano de obra y los relacionados con la protección (pintura, galvanizado, esmaltes, protección catódica), investigación y desarrollo.

e) Pérdidas indirectas, lucro cesante; pérdida de productos; pérdida de eficiencia (Ej, intercambiadores de calor); contaminación de productos (Ej. roturas de cañerías en líneas de producción).

f) Disminución de los recursos naturales y contaminación ambiental: donde se destaca el agotamiento de reservas, (minerales de hierro, aluminio, cromo, níquel, carbón, petróleo y gas natural, etc). Estas actividades producen contaminación ambiental: pérdida de petróleo, productos químicos, depósitos de chatarras, contaminación del agua, por mencionar algunos de los mas conocidos.

3. TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE CORROSIÓN

En su principio más básico, la corrosión no es sino el proceso inverso de la metalurgia (ver figura 1), por el cual las estructuras metálicas enterradas o sumergidas tienden a retornar a su estado mineral; es decir, se

trata del deterioro de metales y aleaciones por acción química del medio ambiente (agua o suelo). De esta manera, las estructuras metálicas expuestas a estos ambientes, estarán sometidas a la acción rigurosa de procesos corrosivos que pueden causar enormes perjuicios ambientales y económicos.

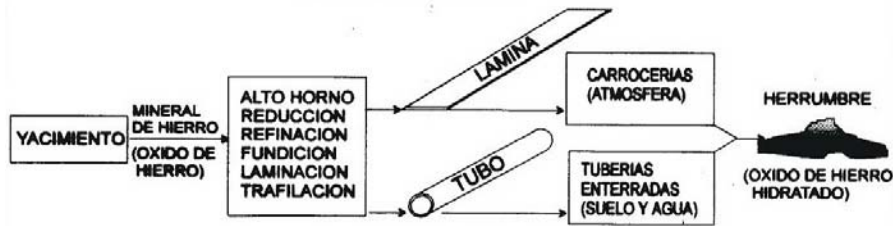
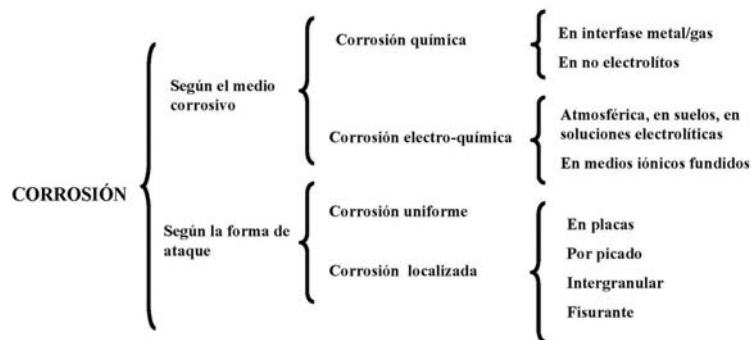


Figura 1 Proceso inverso de la metalurgia

Los procesos de corrosión se pueden agrupar para su estudio según el medio en que se desarrolla o según su morfología. Una clasificación posible es la que se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 1 Clasificación de los procesos de corrosión



3.1 Clasificación según el medio

- a) Corrosión Química, es el ataque destructivo de un metal por reacción química (por ejemplo: oxidación en aire a alta temperatura, reacción de un ácido sobre un metal, etc.).
- b) Corrosión Electroquímica, en presencia de iones metálicos, todos los procesos de corrosión serían electroquímicos. Sin embargo es usual designar como corrosión electroquímica a aquella que se produce con un transporte simultáneo de electricidad a través de un electrolito. A este importante grupo pertenecen: la corrosión en soluciones salinas y agua de mar, la corrosión atmosférica, la corrosión en suelos, etc.

3.2 Clasificación según la forma

La clasificación según el medio es útil cuando se estudian los mecanismos de ataque, sin embargo cuando se quieren evaluar los daños producidos por la corrosión, resulta conveniente clasificar según la forma:

- a) Corrosión uniforme, es la forma más benigna en la que se puede presentar la corrosión. El ataque se extiende en forma homogénea sobre toda la superficie metálica y la penetración media es igual en todos los puntos. Un ataque de este tipo permite calcular fácilmente la vida útil de los materiales corroídos.
- b) Corrosión en placas, incluye los casos intermedios entre corrosión uniforme y corrosión localizada. En este caso el ataque se extiende más en algunas zonas, pero se presenta aún como ataque general.
- c) Corrosión por picado, este tipo de ataque, así como el intergranular y el fisurante, son las formas más peligrosas bajo las cuales se puede presentar la corrosión. En estos casos de ataque localizado la cantidad de material corroído no guarda relación con la magnitud de los inconvenientes que puede causar. Durante el picado, el ataque se localiza en puntos aislados de superficies metálicas pasivas, propagándose hacia el interior del metal en forma de canales cilíndricos. Puede presentarse como perforación de cañerías o tanques.

d) Corrosión intergranular, se presenta como una franja estrecha de ataque que se propaga a lo largo de los límites de grano. Este ataque se extiende hasta inutilizar el material afectado.

e) Corrosión fisurante, conocida como corrosión bajo tensión. Puede presentarse cuando un metal está sometido simultáneamente a la acción de un medio corrosivo y de tensiones de tracción. Se forman fisuras que pueden ser transgranular o intergranular, se van propagando hacia el interior del metal, hasta que las tensiones se relajan o el metal se fractura. La velocidad de propagación oscila entre 1 y 10 mm/h

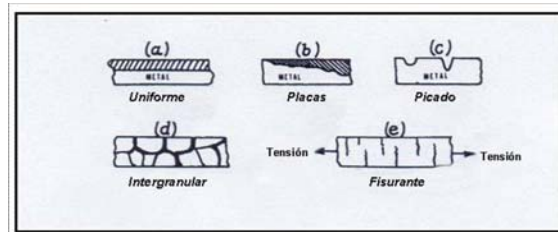


Figura 2 Distintos tipos de corrosión del acero

4. PROCESO ELECTROQUÍMICO DE LA CORROSIÓN

La corrosión electroquímica es el proceso que se produce por medio de electrolitos en contacto con el metal (agua de mar, suelo, soluciones acuosas de ácidos, bases, sales, aire atmosférico húmedo, etc.). El metal que libera corriente se corroe, presenta comportamiento anódico, se denomina ánodo. El metal que recibe la corriente del electrolito queda protegido y se llama cátodo por tener comportamiento catódico.

Entre los diversos tipos de corrosión de naturaleza electroquímica, está la corrosión galvánica, que resulta del contacto eléctrico de materiales disímiles presentes en un mismo electrolito. Es más intenso cuanto más distantes sean los materiales en la tabla de potenciales electroquímicos, ver tabla 1.

Tabla 1 Serie galvánica

METAL	VOLTS (1)
MAGNESIO PURO	-1,75
ALEACION DE MAGNESIO	-1,55
CINC	-1,10
ALEACION DE ALUMINIO (5% Zn)	-1,05
ALUMINIO PURO	-0,80
ACERO (LIMPIO Y CON BRILLO)	-0,50 a -0,80
ACERO (RUGOSO)	-0,20 a -0,50
HIERRO FUNDIDO (NUEVO)	-0,50
PLOMO	-0,50
ACERO EN CONCRETO	-0,20
COBRE, LATON, BRONCE	-0,20
HIERRO FUNDIDO CON ALTO TENOR DE SILICIO	-0,20
ACERO CON ESCAMA DE LAMINACIÓN	-0,20
CARBONO, GRAFITO Y COQUE	+0,30

(1) Potencial típico normalmente observado en suelos o agua neutros. Medido en relación a un electrodo de referencia cobre/sulfato de cobre.

5. PREVENCIÓN Y MITIGACION DE LA CORROSIÓN

Los fenómenos de corrosión provocan distintos deterioros que deben ser tratados de acuerdo a sus características. Así tenemos el producto de la corrosión externa como una de las principales causas de fugas o deterioro en tuberías enterradas (oleoductos, gasoductos y ductos en general) o colapso de estructuras metálicas. Se han desarrollado distintas técnicas para prevenir y mitigar los efectos de la corrosión. Básicamente comprenden: a) recomendaciones de diseño; b) selección de materiales y c) protecciones anticorrosivas.

5.1 Recomendaciones de diseño

Un modo muy efectivo de atenuar los efectos de la corrosión consiste en contemplar una serie de recomendaciones en el diseño, que sin incrementar los costos de una instalación, permiten solucionar o prever potenciales puntos de corrosión. Básicamente se trata de evitar que se formen acumulaciones de agua o suciedad que provoquen o aceleren los efectos corrosivos. La Norma BS 5493-1977 [1], establece una serie de recomendaciones de diseño a tener en cuenta.

5.2 Selección de materiales

Una herramienta importante en el control y mitigación de la corrosión es la correcta selección de materiales. Dentro de los materiales que podemos seleccionar son los llamados metales inoxidables, que por sus características, forman películas pasivas estables que los hacen resistentes a la corrosión.

Se debe siempre tener en cuenta el medio donde se encuentre ese material. Por ejemplo acero inoxidable en presencia de cloruros (agua de mar) no es resistente a la corrosión.

Entre los materiales inoxidables mas utilizados podemos mencionar: a) cobre y sus aleaciones; b) acero inoxidable; c) aluminio; d) materiales plásticos; e) cerámicos, etc.

En la utilización de los materiales inoxidables se debe evitar las uniones con metales que formen pilas galvánicas. En caso de que sea inevitable su uso se deben aislar electricamente mediante juntas o uniones dieléctricas, evitando cualquier continuidad eléctrica que de lugar a la formación de la pila galvánica.

5.3 Protecciones anticorrosivas

Cuando hablamos de protecciones anticorrosivas nos referimos a una combinación de recubrimientos protectores y protección catódica, como medida más efectiva para prevenir y controlar la corrosión externa. Ambas protecciones en su conjunto configuran la protección completa de una tubería, estructura o instalación que se encuentra sometida a un medio corrosivo (electrolito).

Los recubrimientos protectores constituyen la primera línea impermeable de defensa contra la corrosión externa y generalmente proporcionan una protección excelente. No obstante, estos revestimientos pueden sufrir deterioro con el tiempo, debido a la absorción de agua, presiones, impactos o abrasiones derivadas de la compactación del suelo, daños causados por las raíces, ataques bacteriológicos y muchas otras causas.

Una vez dañado o deteriorado el revestimiento, las superficies de acero expuestas al medio electrolítico quedan sujetas a la pérdida de masa metálica y si esta condición se mantiene por algún tiempo, la corrosión, las fugas o la destrucción de las estructuras, serán inevitables.

La protección catódica al actuar como la segunda línea de defensa contra la corrosión externa, tiene por objetivo proteger la tubería o estructura en los sitios donde haya fallas del revestimiento y su función es inhibir el proceso de corrosión.

5.3.1 Protección catódica

Con base en el mismo principio de la corrosión electroquímica (flujo de corriente generado por la diferencia de potencial entre los materiales), los estudios de ingeniería muestran que el proceso de deterioro del material se puede reducir a niveles insignificantes si se inyecta en la estructura una corriente eléctrica de protección a través de Ánodos Reactivos (Galvánicos) o inyectando una Corriente Continua negativa, forzando una situación en la que su potencial presente valores más negativos en relación con el medio circundante, asumiendo así un comportamiento catódico.

5.3.1.1 Protección Catódica por Ánodos Reactivos (Galvánicos)

Se fundamenta en el mismo principio de la corrosión galvánica, en la que un metal más activo es anódico con respecto a otro más noble, corroyéndose el metal anódico.

En la protección catódica con ánodos galvánicos, se utilizan metales fuertemente anódicos conectados a la tubería y/o estructura a proteger, dando origen al sacrificio de dichos metales por corrosión, descargando suficiente corriente, para la protección de la tubería.

La diferencia de potencial existente entre el metal anódico y la tubería a proteger, es de bajo valor porque este sistema se usa para pequeños requerimientos de corriente, pequeñas estructuras y en medio de baja resistividad. Considerando que el flujo de corriente se origina en la diferencia de potencial existente entre el metal a proteger y el ánodo, éste último deberá ocupar una posición más elevada en la tabla de potencias (serie electroquímica o serie galvánica).

Los ánodos galvánicos que con mayor frecuencia se utilizan en la protección catódica son: Mg, Zn, Al.

5.3.1.2 Protección catódica por corriente impresa.

Por su eficiencia y mayor durabilidad, el método de protección por corriente impresa es el más indicado para estructuras grandes. Los proyectos elaborados prevén una vida útil promedio de 20 años para un sistema, después de los cuales los ánodos deben reemplazarse. Naturalmente, la longevidad del sistema es directamente proporcional a los procedimientos adecuados de mantenimiento.

En este sistema se mantiene el mismo principio fundamental, pero tomando en cuenta las limitaciones del material, costo y diferencia de potencial con los ánodos de sacrificio, se ha ideado este sistema mediante el cual el flujo de corriente requerido, se origina en una fuente de corriente generadora continua regulable o, simplemente se hace uso de los rectificadores, que alimentados por corriente alterna ofrecen una corriente eléctrica continua apta para la protección de la estructura.

La corriente disponible es impresa en el circuito constituido por la estructura a proteger y la cama anódica.

La dispersión de la corriente eléctrica en el electrolito se efectúa mediante la ayuda de ánodos inertes cuyas características y aplicación dependen del electrolito.

El terminal positivo de la fuente debe siempre estar conectado a la cama de ánodo, a fin de forzar la descarga de corriente de protección para la estructura.

Este tipo de sistema trae consigo el beneficio de que los materiales a usar en la cama de ánodos se consumen a velocidades menores, pudiendo descargar mayores cantidades de corriente y mantener una vida más amplia.

En virtud de que todo elemento metálico conectado o en contacto con el terminal positivo de la fuente e inmerso en el electrolito es un punto de drenaje de corriente forzada y por lo tanto de corrosión, es necesario el mayor cuidado en las instalaciones y la exigencia de la mejor calidad en los aislamientos de cables de interconexión

Los principales componentes de un sistema de protección catódica por corriente impresa son:

1. Unidad rectificadora. Convierte la CA en CC, que será drenada por los ánodos.
2. Ánodos inertes. Un proyecto bien elaborado deberá dimensionar un lecho de ánodos (en caso de instalación en el suelo), que determine la masa anódica necesaria para una buena distribución de la corriente a lo largo de la estructura a ser protegida
3. Puntos de medición de potenciales. Desempeñan un papel fundamental en el procedimiento de mantenimiento del sistema, pues permiten el monitoreo de la diferencia de potencial entre la estructura a ser protegida y el medio electrolítico. Estos puntos, mediante técnicas especiales de medición, facilitan disponer de un control eficiente del sistema de protección catódica y llevar a cabo las correcciones necesarias.

El factor determinante para la eficacia de la protección catódica a través de los métodos descriptos anteriormente, es el control de un equilibrio estable entre el estado en el que se encuentra el revestimiento y

los niveles de corriente inyectados por el sistema utilizado.

La protección del acero bajo protección catódica se estima haber alcanzado el nivel adecuado cuando las lecturas del potencial-estructura-suelo medidos con las diferentes celdas consiguen los siguientes valores:

Tabla 2 Potenciales mínimos requeridos

ELECTRODO	LECTURA
Ag-AgCl	-0.800V
Cu-SO ₄ Cu	-0.850V
Calomel	-0.77V
Zn puro	+0.25V

No obstante, el criterio más apto y universalmente aceptado es el de potencial mínimo que debe existir entre la estructura y terreno, medición que se realiza con un electrodo de referencia. El criterio de potencial mínimo se basa en los estudios realizados por el Profesor MICHAEL POURBAIX, en 1939, quién estableció a través de un diagrama de potencial de electrodo vs pH del medio, un potencial mínimo equivalente a -850 mv con relación al electrodo de referencia cobre-sulfato de cobre, observando una zona definida por la inmunidad del acero.

A partir de ese concepto, debe entonces considerarse una ligera caída de los potenciales tubo/suelo desde los puntos de potencial máximo (puntos de inyección de corriente), hasta los puntos de potencial mínimo (los más distantes de los puntos de inyección de corriente). La intensidad de la caída de este potencial dependerá, fundamentalmente, de la condición o estado en el que se encuentra el revestimiento de la tubería o estructura protegida.

Es importante destacar que existe una limitación al envío de corriente en el método de corriente impresa dado que una inyección de corriente por arriba 2,5 a 3V puede producir un deterioro del revestimiento de la cañería (desprendimiento de hidrogeno).

5.3.1.3 Resistividad del Suelo

Cuando se diseña protección catódica o simplemente cuando se estudia la influencia de la corrosión en un medio en el cual se instalará equipos o se tenderá una línea, es necesario investigar las características del medio, entre estas características, relacionada directamente con el fenómeno corrosivo se encuentra la resistividad del medio.

La resistividad es la recíproca de la conductividad o capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica.

En la práctica se ejecutan medidas de resistencia de grandes masas de material y se calcula un valor promedio para el mismo.

Las áreas de menor resistividad son las que tienden a crear zonas anódicas en la estructura, pero así mismo son las zonas más aptas para instalación de las camas de ánodos.-

Un cuadro de las características del terreno en función de su resistividad es el que se detalla a continuación

Tabla 3 Resistividad del terreno – Agresividad del medio

Resistividad ohm-cm	Características
bajo 900	Muy corrosivo
900 a 2300	Corrosivo
2300 a 5000	Moderadamente corrosivo
5000 a 10000	Medio corrosivo
Sobre 10000	Menos corrosivo

Por ultimo podemos realizar una comparación entre ambos métodos de protección catódica descriptos

ANODO GALVANICO	CORRIENTE IMPRESA
No requieren potencia externa;	Requiere potencia externa
Voltaje de aplicación fijo;	Voltaje de aplicación variable
Amperaje limitado;	Amperaje variable
Aplicable en casos de requerimiento de corriente pequeña,	Sirve para áreas grandes.(ductos de diámetros grandes)
Económico hasta 5 amperios;	Útil en diseño de requerimientos de corriente mayor 5 amperios
Útil en medios de baja resistividad;	Aplicable en cualquier medio
La interferencia con estructuras enterradas es prácticamente nula;	Es necesario analizar la posibilidad de interferencia
Sólo se los utiliza hasta un valor límite de resistividad eléctrica hasta 5000 ohm-cm;	Resistividad eléctrica ilimitada
Mantenimiento simple;	Mantenimiento no simple. Alto costo de instalación

5.3.2 Recubrimientos protectores.

Los recubrimientos protectores anticorrosivos cumplen un rol fundamental en la mitigación de los efectos de la corrosión. Tienen una importante función de aislación de los materiales que queremos proteger, respecto del medio corrosivo que lo circundan. Los podemos dividir en dos grupos: A) Pinturas B) Revestimientos externos para tuberías enterradas.

5.3.2.1. Pinturas

Una pintura es *“una composición líquida pigmentada que se convierte en una película sólida y opaca, luego de aplicarla en forma de capa delgada”*. Sus principales componentes son: pigmento, vehículo, aditivos y solvente. Es un producto fluido que, aplicado sobre una superficie en capas relativamente delgadas, se transforma al cabo del tiempo en una película sólida que se adhiere a dicha superficie.

5.3.2.1.1 Función de las pinturas

La función de las pinturas como recubrimiento protector consiste en generar una protección anticorrosiva, mecánica e impermeable, como barrera de los agentes externos que provocan corrosión.

Por lo general los esquemas de pintura se basan en: un fondo o primer, como antióxido para protección o base de adherencia o sellado del sustrato (hierro y sus aleaciones; galvanizado, aluminio, madera, hormigón y mampostería; plásticos; papel; vidrio; cerámica; etc.) y un acabado o terminación: como aislamiento del medio agresivo, dando impermeabilidad; resistencia mecánica a golpes o erosión, protección a agentes químicos, protección a la radiación UV, entre las principales funciones.

5.3.2.1.2 Composición de las pinturas

Los componentes básicos de una pintura son: pigmentos, aditivos, vehículo y solventes.

- **Pigmentos:** polvos muy finos, insolubles en el vehículo, imparten a las pinturas el color y la opacidad. En su mayoría sintéticos, de diversos colores, molidos hasta un tamaño de partículas muy finas. Ej. bióxido de titanio da el color blanco. Cuando son incoloras y no confieren opacidad, reciben el nombre de cargas. Regulan el brillo, la permeabilidad, refuerzan el film, mejoran la adherencia, etc. Las cargas mas usadas son: carbonato de calcio, talco caolín, etc.
- **Aditivos:** confieren a las pinturas propiedades específicas tales como: propiedades anticorrosivas. Ej. cinc, cromato de cinc, etc.; resistencia a los UV; anti-incrustante con el agregado de biocidas, (antifouling evita la acumulación de incrustaciones de algas y moluscos en los barcos); etc.
- **Vehículo:** los pigmentos, las cargas y los aditivos están dispersos en el vehículo, es decir, están íntimamente mezcladas con él, el vehículo es el componente más importante del film sólido. Da las principales características de aplicación, resistencia, durabilidad, dureza, secado, usos, etc.

- **Solvente:** Disminuye la viscosidad del vehículo para su aplicación en capas delgadas (con pincel, rodillo, o soplete convencional o sin aire, etc.)

5.3.2.1.3 Clasificación de las pinturas por tipo de vehículo

- **Pinturas al aceite:** Es una dispersión en aceites tratados o no. Pueden contener sustancias inertes que influyen en la calidad de la pintura.
- **Pinturas y esmaltes sintéticos:** A base de resina sintética (alquids) permite un acabado duro, de rápido secado buen y permanente brillo, resistente al lavado, al roce y a la intemperie.
- **Barnices:** Son productos transparentes que se obtienen por combinación de resinas y aceites secantes. Tienen aptitudes de dureza y secado.
- **Pinturas al látex:** Es un polímero en dispersión acuosa. Películas tenaces de gran resistencia al roce y lavabilidad. Fácil aplicación a rodillo, pincel o soplete. No dejan olor en los ambientes. Buena nivelación. Secan por evaporación de agua, lo cual permite el repintado a las pocas horas

5.3.2.1.4 Clasificación de las pinturas por tipo de secado

- **Secado por evaporación de solventes:** El vehículo es un polímero disuelto en un solvente. Aplicada la pintura el solvente se evapora permitiendo la aproximación de las moléculas hasta unirse entre sí para formar una película dura, continua y homogénea. Son de secado rápido, menos de 30' para el tacto. Ej. Lacas nitrosintéticas, caucho clorado, látex, acrílicos
- **Secado al aire por oxidación:** El polímero está disuelto en el solvente, a diferencia del anterior la molécula no es tan grande como para formar una película dura sin cambios. El secado es por reacción del polímero con el oxígeno del aire. La pintura tiene agentes catalizadores (secantes que aceleran el secado). Ej. son los esmaltes sintéticos y barnices, aceite de lino.
- **Secado por reacción química:** La película se forma por reacción entre los componentes del vehículo. Pueden ser dos polímeros de bajo peso molecular o un polímero y un catalizador (secante). Forma una película de alta dureza y gran resistencia a los agentes químicos. Deben estar en envases separados y se mezclan al aplicarlos. Ej. esmalte epoxi, poliuretano.
- **Secado al horno:** La película se forma por reacción química que se produce por energía suministrada por calor. El secado es muy rápido de 15 a 30'. La película es de muy alta dureza, gran resistencia química y a la abrasión. Ej. esmaltes acrílicos, poliéster, epoxi fenólicos, epoxi-urea, alquid/aminorresistentes.
- **Pintura en polvo:** Se han desarrollado para reducir el consumo de hidrocarburos y la contaminación del M.A. La reacción se obtiene por radiación ultravioleta y por bombardeo de electrones.

5.3.2.1.5 Consideraciones a tener en cuenta en una protección por Pinturas

Al momento de decidir la protección mas adecuada se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Elemento a proteger (Sustrato): Metal (tipo de metal) Madera, Hormigón – Mampostería - Plásticos – Papel - Vidrio - Cerámica, etc.
- Medio agresivo: **a) Inmersión:** Agua (río, mar, efluentes, etc.); Combustibles; Productos químicos; Suelos con distinta resistividad; **b) Intemperie:** humedad ambiente (hongos, suciedad, bacterias, etc.) ambiente salino (cercanía al mar); ambiente industrial (humedad, polvo, vapores corrosivos, etc.); zonas desérticas (radiación UV)
- Vida útil esperada, en la definición del esquema a aplicar se debe tener en consideración la vida útil proyectada para el elemento a proteger.

5.3.2.1.6 Selección de las pinturas – hoja de datos de los fabricantes:

Considerando los elementos a proteger, el medio agresivo y la vida útil esperada, se procede a la selección de las pinturas. Para ello nos apoyamos en las hojas técnicas de los fabricantes donde se pueden encontrar las formulaciones, los usos y las principales características de protección, aplicación, almacenaje, etc.

5.3.2.1.7 Esquemas de pintura

Al planificarse una protección por pinturas se debe especificar los esquemas que se aplicarán. En los mismos se deben contemplar como mínimo los siguientes ítems:

- Indicación si es de inmersión o intemperie.
- Grado de limpieza según la norma de control (por Ej. Norma SIS-05-59-00)
- Rugosidad superficial para los esquemas de inmersión o de alta exigencia.
- Producto base indicando espesor y cantidad de manos.
- Imprimación (si corresponde) indicando espesor y cantidad de manos.
- Producto de tope o terminación indicando espesor y cantidad de manos.
- Espesor total del esquema completo

En todos los casos se debe indicar los espesores máximos y mínimos.

5.3.2.1.8 Preparación de superficie y aplicación de recubrimientos protectores

Una buena preparación de superficie y correcta aplicación de las pinturas son tan importantes como la correcta selección de las pinturas y un adecuado esquema de recubrimientos.

5.3.2.1.8.1 Preparación de superficies

La preparación de superficie generalmente se realiza por medios mecánicos y está vinculada al esquema de pintura seleccionado. De acuerdo a las características del mismo, la preparación de superficie se puede hacer por cepillado, limpieza con solvente, arenado, granallado, con agua a muy alta presión, etc.

En esquemas de pintura en inmersión o en ambientes muy agresivos, la limpieza se debe realizar hasta el metal base. Para especificar los grados de limpieza existen normas internacionales que contienen patrones de comparación para verificar la correcta limpieza, tales como la SIS 05 59 00 [2].

El método mas utilizado para lograr una limpieza hasta metal base es mediante granallado o arenado.

En caso de usarse granalla, se empleará un sistema que asegure su limpieza y descontaminación. Los ciclos de uso de la granalla serán tales que aseguren la limpieza y rugosidad establecidas en la especificación del esquema a aplicar. En el caso de emplearse arena, la misma no podrá utilizarse mas de un ciclo. Los resultados de la preparación correcta de las superficies se especificará por: Grado de Limpieza: Sa o St (para tipo A,B,C ó D) Norma SIS 05 5900 y la rugosidad según Norma DIN 4768.

Los controles que se deben realizar para asegurarse una adecuada preparación de superficie son:

- Grado de limpieza (controlado según patrones de la norma especificada)
- Grado de terminación, control de la rugosidad establecida en el esquema.

5.3.2.1.8.2 Locales de limpieza y aplicación.

Los locales de preparación de superficie cabinas de arenado o granallado y los locales donde se apliquen los recubrimientos deben estar adecuadamente aislados, con el fin de evitar contaminación al momento de aplicar las pinturas.

Los locales de aplicación deben contar con el equipamiento adecuado que asegura las condiciones ambientales de aplicación

5.3.2.1.8.3 Condiciones ambientales de aplicación

Cómo norma general, si la hoja técnica no especifica otros parámetros, se recomienda para todos los recubrimientos, que las condiciones ambientales sean: a) humedad máxima 70%; b) temp. mínima 10 °C; c) la temperatura del sustrato, sea chapa desnuda o pintura deberá estar como mínimo 3°C por encima de la temperatura correspondiente en ese momento al punto de rocío; d) para el caso de pinturas epoxídicas, no se podrán realizar aplicaciones cuando las temperaturas sean inferiores a los 10°C.

5.3.2.1.8.4 Aplicación de los recubrimientos

Se deberán respetar los tiempos entre manos, establecidos en las hojas técnicas se aplicarán las manos siguientes. Se tendrá especial cuidado en respetar los tiempos de vida útil de la mezcla cuando se trate de productos de 2 componentes.

Durante las aplicaciones de los recubrimientos, se deben realizar controles parciales: grado de limpieza; rugosidad; espesor húmedo; espesor seco; control visual.

5.3.2.1.9 Ensayos

Entre los principales ensayos recomendados para recubrimientos protectores tenemos: a) ensayo de adherencia; b) Ensayo de dureza; c) ensayo de porosidad; d) medición de espesores; e) control visual. Después de terminada cada mano de recubrimiento y después de completado el esquema se hará un control visual. Las superficies cubiertas deberán estar libre de todo tipo de imperfección, derivada de una mala aplicación o limpieza, debiendo estar libre de cráteres, salpicaduras, ampollas, chorreaduras, partículas extrañas adheridas a la pintura, etc.

5.3.2.2 Revestimientos externos para tuberías enterradas

Los Revestimientos externos para tuberías enterradas deben cumplir las siguientes condiciones: continuidad en la aplicación y en la calidad; impermeabilidad e incapacidad de descomponerse; resistencia mecánica elevada; adherencia perfecta, sea por sí mismo o por algún producto adherente; resistencia eléctrica elevada.

Los revestimientos externos para tubería enterrada han ido derivando de aquellos basados en revestimientos bituminosos únicamente, luego epoxy, es decir epoxy aplicado a partir de polvos, como única capa; luego se pasó a dos capas con polietileno por encima del epoxy y, finalmente tres capas con polietileno formando un verdadero sistema de revestimiento. Los revestimientos de una sola capa han prevalecido en los EE.UU. e Inglaterra desde los años 80 y todavía se utilizan. Los sistemas que integran el epoxy con un termoplástico como el Polietileno o el Polipropileno se difundieron inicialmente en Europa a partir de revestimientos que utilizaban el Polietileno extrudido sobre el acero directamente o sobre una capa inicial de bitumen e integraron las bondades del epoxy con las del polietileno aplicado en la capa más externa. El sistema tricapa está hoy considerado como la mejor respuesta a las necesidades de una tubería enterrada por el costo que representa.

6. REFERENCIAS

[1] Norma BS 5493-1977

[2] SVENSK STANDARD SIS 05 59 00 – Grados de herrumbre en superficies de acero y grados de preparación de estas superficies para la aplicación de pinturas anticorrosivas.