

Protección:

# La prevención de la corrosión en estructuras metálicas

Por Fabio Domingos Pannoni, Ph.D.\*

*En la actualidad se dispone de una amplia variedad de posibilidades de protección que utilizadas en forma apropiada, permiten extender indefinidamente la vida útil de una estructura y prolongar los periodos entre las intervenciones periódicas necesarias. El siguiente artículo técnico expone algunos de estos medios disponibles para la protección de una estructura metálica.*

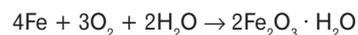
Muchas estructuras metálicas han permanecido en pleno uso a lo largo de los años, aunque hayan estado expuestas a las condiciones más adversas. La primera gran estructura de hierro (fundido), el puente de Coalbrookdale, en Inglaterra, fue construida en 1779 y se encuentra en perfectas condiciones. En la actualidad, la sociedad dispone de una amplia variedad de posibilidades de protección que utilizadas en forma apropiada, permiten extender indefinidamente la vida útil de una estructura y prolongar los periodos entre las intervenciones periódicas necesarias. La clave del éxito reside en el reconocimiento de la corrosividad del ambiente en el que la estructura estará expuesta y en la apropiada selección del revestimiento. Por ejemplo, el acero sometido a ambientes interiores de una edificación calefaccionada presenta un riesgo de corrosión insignificante y en muchos de estos casos, ni siquiera requiere algún tipo de protección. Por otro lado, una estructura expuesta a un ambiente agresivo, necesita ser protegida mediante un sistema adecuado, que puede ser sofisticado y es definido considerando la vida útil planificada de la estructura y de su mantenimiento periódico. El óptimo tratamiento de protección, que combina la apropiada preparación de la superficie, la aplicación de materiales adecuados de revestimiento y la requerida duración (obtenida, naturalmente, al menor costo posible), debe ser encontrada utilizando las modernas tecnologías disponibles en el mercado. Este artículo técnico expone algunos de estos medios

disponibles para la protección de una estructura metálica.

## ¿Cómo ocurre la corrosión?

La mayor parte de los procesos de corrosión del acero estructural son de naturaleza electroquímica y suceden en etapas. El ataque inicial ocurre en las áreas anódicas sobre la superficie, donde los iones ferrosos son disueltos. De las áreas anódicas se liberan los electrones que se mueven a través de la estructura metálica, a las áreas catódicas adyacentes existentes en la superficie, donde se combinan con el oxígeno y con el agua, formando iones hidroxilos. Éstos reaccionan con los iones ferrosos generados en el ánodo, produciendo hidróxido ferroso que, a su vez, se oxida al aire produciendo el óxido de hierro hidratado, conocido como herrumbre.

Todas estas reacciones pueden ser descritas mediante la ecuación:



La **Figura 1** representa en forma esquemática el mecanismo envuelto en el proceso de corrosión.

Dos puntos importantes son consecuencias directas de las consideraciones anteriores:

1. Para que el acero se corroa, es necesario la presencia simultánea de agua y de oxígeno. En ausencia de una de

\* Gerdau Açominas S.A., São Paulo, SP, Brasil, fabio.pannoni@gerdau.com.br

estas sustancias, no se produce corrosión.

2. Toda la corrosión ocurre en el ánodo; en el cátodo no hay corrosión.

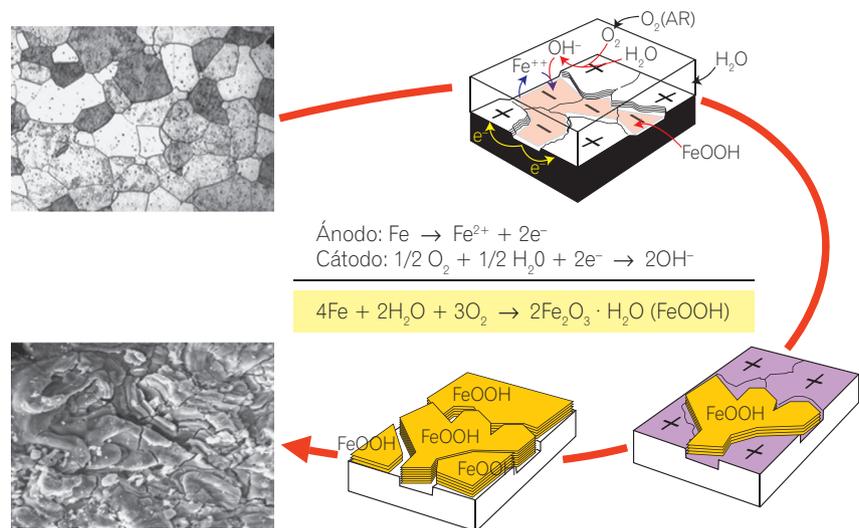
Pero después de un tiempo y debido a los efectos de polarización (tal como el crecimiento de la capa de herrumbre en las regiones anódicas), la velocidad del proceso de corrosión decae substancialmente. En ese momento se desarrolla un nuevo proceso: las regiones catódicas pasan a comportarse como anódicas, y viceversa. Los cátodos se transforman en ánodos y los ánodos en cátodos. De este modo, se va corroyendo toda la superficie de modo uniforme en un proceso conocido como «corrosión generalizada». La **Figura 1** ilustra este fenómeno.

## ¿Qué afecta la velocidad de corrosión?

Los principales factores que determinan la velocidad de corrosión son:

1. Tiempo de humedecimiento. Corresponde al tiempo transcurrido durante el cual la humedad relativa del ambiente es superior a un valor dado (por ej., el 80%) y la temperatura es superior a 0 °C. De modo práctico, es la fracción del tiempo total de exposición de la estructura durante la cual la superficie ha estado expuesta a la humedad debido a lluvia, rocío, etc. Por consiguiente, cuando una superficie de acero desprotegida es sometida a un ambiente seco, como por ej., en el interior de una edificación calefaccionada, no sufrirá mucha corrosión debido a la baja disponibilidad de agua. En estas condiciones no se requiere pintura, a menos que existan razones puramente estéticas o por exigencias antifuego.
2. Contaminación atmosférica. El tipo y la cantidad de contaminantes atmosféricos, tales como el dióxido de azufre, los cloruros, los polvos depositados, etc., ejercen un importante efecto en el desarrollo de la corrosión.
  - a. Sulfatos. Su origen es el gas dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) producido por la combustión de los combustibles fósiles. El dióxido de azufre gaseoso reacciona con el agua existente en la atmósfera, formando ácido sulfuroso que por ser inestable se oxida formando ácido sulfúrico. Los ambientes industriales y las grandes ciudades son importantes fuentes de dióxido de azufre, que por ser un gas muy reactivo, por lo general no se encuentra muy lejos de las fuentes de emisión.

**Figura 1**  
Representación esquemática del mecanismo de corrosión



- b. Cloruros. Están presentes en los ambientes marinos. Las concentraciones más altas de cloruros se encuentran en las regiones costeras y su concentración disminuye considerablemente cuando nos distanciamos de la región de impacto de las olas del mar en la playa hasta cerca de 3 km continente adentro. En este intervalo, las partículas contenidas en el aerosol marino se sedimentan por gravedad y también se filtran en la vegetación, en las edificaciones, etc.

Los sulfatos y los cloruros promueven el aumento de la velocidad de corrosión del acero. Reaccionan con la superficie del acero, produciendo sales ferrosas solubles que pueden concentrarse en picaduras que a su vez son muy agresivas para el acero.

En un mismo ambiente podemos observar grandes variaciones en la velocidad de corrosión de los componentes estructurales, en partes de una misma estructura. Esto puede explicarse por el efecto de la protección, la dirección principal de los vientos, etc. Son estos «microclimas» que envuelven la estructura, los que determinan en último análisis, la velocidad de corrosión de sus componentes.

La existencia de grandes variaciones ambientales en las diferentes atmósferas hace que la velocidad de corrosión no pueda ser generalizada en forma amplia. La Norma ISO 9223:1992 trata de la categorización de la corrosividad ambiental atmosférica y presenta ejemplos de diferentes ambientes típicos. La **Tabla 1** muestra datos extraídos de esta Norma.

3. Corrosión localizada. Pueden darse varios tipos de corrosión localizada aunque en el caso de las estructuras metálicas, estas en general no son muy importantes.

- a. Corrosión bimetalica (o «galvánica»). Cuando dos metales disimilares están unidos eléctricamente (por ej., por pernos o soldadura) y están sometidos a un mismo electrolito, fluye una corriente eléctrica entre los metales y el proceso de corrosión se acentúa en el metal anódico (es decir, en el menos noble). Algunos metales y sus aleaciones (por ej., el cobre y los aceros inoxidable) promueven la corrosión de los aceros estructurales, mientras que otros (por ej., el magnesio y el cinc) protegen el acero de la corrosión. La tendencia que presentan metales y aleaciones disimilares en lo que respecta a la corrosión bimetalica depende en parte de su respectiva posición en la serie galvánica: cuanto más distantes están, tanto mayor es su tendencia a esta forma de ataque. La **Tabla 2** reproduce una serie galvánica general y simplificada. La corrosión bimetalica es mucho más seria en estructuras inmersas en agua o enterradas, pero en ambientes menos agresivos (atmósferas de baja y mediana agresividad), los aceros inoxidable podrían conectarse a aceros estructurales sin grandes problemas. En situaciones de gran riesgo, debemos tratar de aislar eléctricamente los dos metales, de modo de impedir el flujo de electrones. Otra solución eficaz es la utilización de un sistema de

**Tabla 1**  
**Categorías de corrosividad atmosférica y ejemplos típicos de ambientes**

Categoría de corrosividad	Pérdida de espesor (después de un año)		Ejemplos de ambientes típicos	
	Acero al carbono	Cinc	Exterior	Interior
<b>C1</b> muy baja	≤ 1,3	≤ 0,1	–	Edificios calefaccionados con atmósferas limpias (por ej., oficinas, tiendas, escuelas, hoteles).
<b>C2</b> baja	> 1,3 a 25	> 0,1 a 0,7	Atmósferas con bajo nivel de contaminación. La mayor parte de las áreas rurales.	Edificios no calefaccionados en los que puede haber condensación (almacenes, gimnasios cubiertos, etcétera).
<b>C3</b> media	> 25 a 50	> 0,7 a 2,1	Atmósferas urbanas e industriales con contaminación. moderada por dióxido de azufre. Áreas costeras de baja salinidad.	Ambientes industriales de alta humedad y algún grado de contaminación atmosférica (lavanderías, cervecerías, industria láctea, etcétera).
<b>C4</b> alta	> 50 a 80	> 2,1 a 4,2	Áreas industriales y costeras con moderada salinidad.	Industrias químicas, piscinas, etcétera.
<b>C5</b> industrial muy alta	> 80 a 200	> 4,2 a 8,4	Áreas industriales con alta humedad y atmósfera agresiva.	Edificios o áreas con condensación casi permanente y con alta contaminación.
<b>C6</b> marina muy alta	> 80 a 200	> 4,2 a 8,4	Áreas costeras y <i>offshore</i> con alta salinidad.	Edificios o áreas con condensación casi permanente y con alta contaminación.

pintura adecuado de toda la unión; y en caso que esto no sea posible, se pinta solamente el componente más noble, esto es, el cátodo.

- b. Corrosión por picaduras. En algunas circunstancias específicas, el ataque original a las regiones anódicas no es controlado y continúa profundizándose en el metal, formando una picadura de corrosión. Las picaduras en los aceros estructurales acontecen en la mayoría de los casos en condiciones de humedad continua o en ciertos suelos altamente agresivos, pero no en la atmósfera.
- c. Corrosión por grietas. Las grietas se forman generalmente por una mala ingeniería de detalle del proyecto y en la deficiente operación de soldadura. El oxígeno disponible dentro de la grieta se consume rápidamente por el proceso de corrosión y, debido a la dificultad de reposición (es decir, la dificultad en la difusión de oxígeno al interior de la grieta), no se repone. El lado externo de la grieta, en contacto con el oxígeno atmosférico, se convierte en un gran cátodo y la parte interna de la grieta se transforma en un ánodo localizado, donde se inicia y avanza la corrosión a alta velocidad.

**Tabla 2**  
**Serie galvánica simplificada. Cuando se encuentran en contacto bimetalico, los metales se corroen más lentamente a medida que bajan en la tabla**

<b>Anódico (Más propicio a la corrosión)</b>
Magnesio
Cinc
Aluminio
Acero al carbono y aceros de alta resistencia y baja aleación
Hierro fundido
Plomo
Estaño
Cobre, Latón, Bronce
Níquel (pasivo)
Titanio
Aceros inoxidables 430/304/316 (pasivos)
<b>Catódico (Menos propicio a la corrosión)</b>

**¿Cómo puede prevenirse la corrosión? Efecto del detallamiento del proyecto**

En general, una cuidada ingeniería de detalle del proyecto tiene un efecto importante en el control de la corrosión. La prevención de la corrosión nace con el trabajo del calculista y es en gran medida la manera más económica de lograr la vida útil de la estructura a costo mínimo a lo largo del tiempo. Es importante resal-

tar que en interiores secos no se requiere precaución alguna. Los principales puntos a considerar son los siguientes:

**Humedad y suciedad retenida**

- a. Evite la formación de cavidades y grietas. Si no hay alternativa, utilice un sellante (epoxídico, poliuretánico o silicona) para cerrar la grieta.
- b. Por regla general es preferible usar uniones soldadas en lugar de atornilladas.

- c. Disponga espacios de drenaje para el escurrimiento del agua, donde sea necesario.
- d. Cierre las vigas cajón, excepto si fueran galvanizadas por inmersión en caliente.
- e. Permita la libre circulación del aire en torno a la estructura.

### Contacto con otros materiales:

- a. En lo posible, evite conexiones bimetálicas. En caso de necesidad, disponga aislamiento eléctrico entre los componentes.
- b. Disponga un recubrimiento adecuado de la armadura metálica, en el caso de las estructuras de concreto armado.
- c. Separe el acero y la madera con polímeros adecuados o pintura.

### Ingeniería de detalle del proyecto

Debe garantizar que el sistema de protección seleccionado pueda ser aplicado en forma eficiente:

- a. Para componentes sellados no debe usarse galvanización en caliente. Estos componentes deben ser fabricados con adecuadas aberturas y drenajes para el escurrimiento de los líquidos utilizados en el proceso.
- b. Todo componente o subconjunto debe permitir acceso para inspección y mantenimiento (pintura, metalización, etc.).

### Factores generales

Es más fácil proteger grandes superficies planas o de geometría simple que las de formas complicadas. Las estructuras complejas, al igual que formas más complejas, deben permitir un fácil acceso para la pintura inicial y para trabajos posteriores de mantenimiento.

La **Figura 2** presenta algunas sugerencias útiles de detallamiento para minimizar la corrosión.

### Preparación de la superficie: ¿Por qué es necesaria y cómo se hace?

La preparación de la superficie constituye una etapa importantísima en la ejecución de la pintura y está directamente relacionada con su buen desempeño.

La preparación de la superficie se efectúa considerando dos objetivos principales:

**Figura 2**  
**Sugerencias para el detallamiento a objeto de minimizar la corrosión**

Problema	Solución típica	Problema	Solución típica
La humedad y suciedad pueden acumularse en la fisura	Utilice perfil T u otra geometría	Humedad penetra en la fisura	Utilice cordón de soldadura o sellante
Potencial de corrosión (fisura)	Elimine la fisura mediante soldadura o sellante (epoxi o poliuretano)	Condición desfavorable	Condición favorable
Cantos vivos y soldadura discontinua	Cantos redondeados y soldadura continua	Los refuerzos crean acumulación de agua y de suciedad	Elimine la acumulación de agua y suciedad
Cuidado con la acumulación de agua y de suciedad	Cree situaciones que eviten la acumulación de suciedad y agua		
Humedad y suciedad pueden acumularse en la fisura	Use sellante para dificultar la entrada de agua	Agua retenida	No acumular agua
La chapa de base y los bulones de anclaje a nivel del suelo pueden producir retención de agua	La chapa de base encima del suelo sobre la base de concreto favorece la protección, inclinación para el drenaje de agua	Soldadura en la base produce grieta	Soldadura del tope de la unión
		Los rigidizadores impiden el drenaje	Deje espacio de drenaje
		Formación de grieta	Eliminación de grieta

1. Limpieza superficial: Se trata de la remoción en la superficie de materiales que podrían impedir el contacto directo de la pintura con el acero, tales como diferentes polvos, grasas, aceites, combustibles, herrumbre, cascarilla de laminación, residuos de pintura, etc. El nivel requerido de limpieza superficial variará de acuerdo a las restricciones operacionales existentes, del tiempo y de los métodos disponibles para la limpieza, del tipo de superficie presente y del sistema de pintura escogido, ya que las pinturas poseen diferentes grados de adherencia sobre las superficies metálicas.

2. Anclaje mecánico: El aumento de la rugosidad superficial proporciona un aumento de la superficie de contacto entre el metal y la pintura, contribuyendo de este modo al aumento de la adherencia. El perfil de rugosidad especificado está relacionado con el espesor de la capa seca.

La cascarilla de laminación es un contaminante muy especial, cuyo efecto dañino suele ignorarse muchas veces, razón por la cual trataremos este asunto con algún detalle.

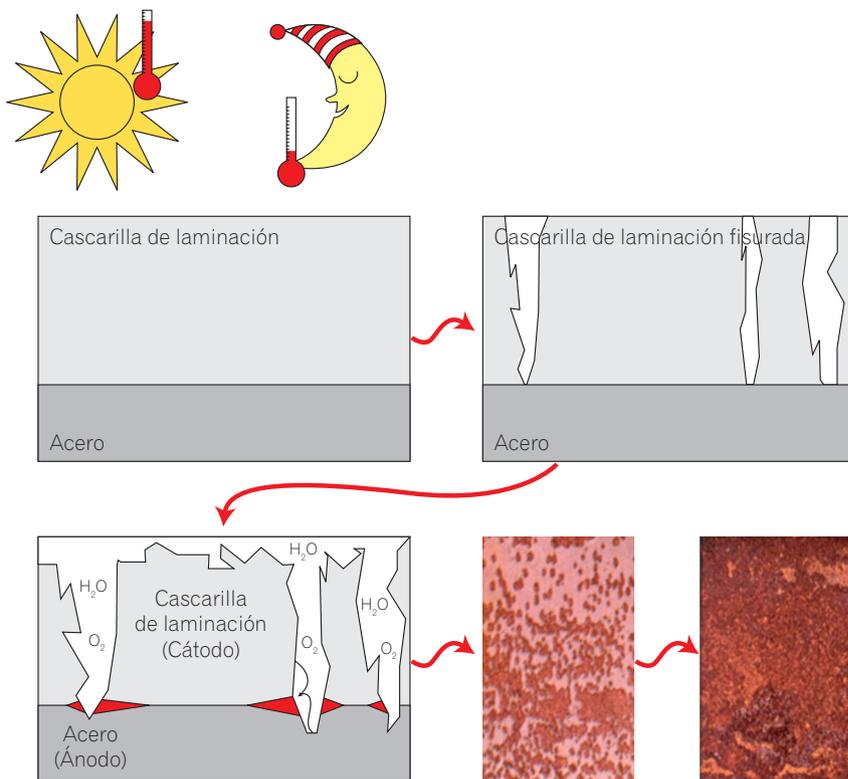
El calentamiento del acero al carbono a temperaturas entre 575 °C y 1.370 °C provoca la formación de una capa de óxidos denominada cascarilla de laminación. Esta película está formada por tres capas de óxidos sobrepuestos: wustita (FeO), magnetita (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) y hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Los planchones, tochos, bloques, chapas, alambrones y perfiles se laminan a temperaturas superiores a 870 °C —en general próximas a los 1.000 °C—. La cascarilla de laminación formada es una película gris-azulada, muy dura, adherente y lisa, que recubre completamente el acero y cuyo espesor medio puede variar entre 10 μm y 1.000 μm.

Para muchos, este revestimiento natural es señal de la existencia de un óptimo revestimiento de base para la pintura. Desafortunadamente ésta es una idea errónea, muy diseminada en el medio técnico.

Debido al hecho de que la cascarilla de laminación posee un coeficiente de dilatación diferente al del acero, ella termina por romperse durante los ciclos naturales de calentamiento y enfriamiento, permitiendo la penetración de agua, oxígeno y diversos contaminantes. La presencia de electrolitos causa la formación de una pila, por lo que el acero se oxida y sobre la cascarilla de laminación se origina la reacción de reducción del oxígeno. Pasado algún tiempo de ataque, la herrumbre avanza por debajo de la cascarilla de laminación, expulsándola de la superficie

**Figura 3**  
**La cascarilla de laminación no protege al acero**



del acero. La **Figura 3** muestra este fenómeno.

Otro problema de la cascarilla de laminación es que siendo muy lisa, no ofrece la necesaria rugosidad para un perfecto anclaje mecánico de la pintura.

Por consiguiente, la cascarilla de laminación no protege al acero contra la corrosión atmosférica. Ella debe ser removida antes de iniciarse el proceso de pintura, puesto que una vez fisurada retiene los componentes necesarios para el desarrollo del proceso corrosivo. La pintura sobre la cascarilla de laminación no evitará que el proceso de corrosión continúe, ya que toda pintura, sea cual sea, es permeable al paso del oxígeno y del vapor de agua. La herrumbre se expandirá y terminará por romper la película de pintura.

Otros contaminantes superficiales, como aceites, grasas, pinturas de marcación, lubricantes de corte, etc., afectarán seriamente la adherencia de los revestimientos aplicados sobre el acero y deben ser removidos. Un error muy común de evaluación es considerar que la operación de limpieza siguiente eliminará el contaminante no retirado hasta entonces. Esta práctica hace que los residuos continúen sobre la superficie metálica, perjudicando la adherencia del recubrimiento.

Se han propuesto diversos métodos de limpieza de la superficie y han sido des-

criptos muy bien en la Norma ISO 8501-1. Esta Norma se refiere, esencialmente, a la apariencia de la superficie del acero antes y después de la limpieza manual, la manual motorizada, a chorro abrasivo, etc.

Los padrones de grado de corrosión han sido definidos con fotografías del estado de intemperismo en que el acero se encuentra para ser sometido a pintura:

- **A:** superficie con cascarilla de laminación aún intacta.
- **B:** superficie con cascarilla de laminación notoria y presencia de herrumbre.
- **C:** superficie con corrosión generalizada y sin cascarilla de laminación.
- **D:** superficie con corrosión generalizada y con picaduras profundas de corrosión.

También han sido presentados los grados de limpieza. Como ejemplos, tenemos:

- St 2: Limpieza manual, ejecutada con herramientas manuales, tales como cepillos, raspadores, lijas y pajas de acero.
- St 3: Limpieza mecánica efectuada con herramientas mecanizadas, tales como cepillos rotatorios, neumáticos o eléctricos.

- Sa 1: Chorreado ligero (*brush off*). La superficie resultante deberá encontrarse totalmente libre de aceites, grasas y materiales tales como cascarilla de laminación, pintura y herrumbre suelta. Pueden quedar restos de cascarilla de laminación y herrumbre por estar firmemente adheridos. El metal deberá ser sometido entonces a chorreado abrasivo hasta que quede expuesto el metal base en varios puntos de la superficie bajo la capa de cascarilla de laminación.
- Sa 2: Llamado chorreado comercial. La superficie resultante del chorreado puede presentar manchas y pequeños residuos debido a la herrumbre, cascarilla de laminación y pintura. Al menos 2/3 del área deberá quedar libre de residuos visibles, mientras el resto serán manchas y residuos.
- Sa 2 1/2: Llamado chorreado al metal casi blanco; es definido como una superficie libre de aceite, grasa, cascarilla de laminación, herrumbre, pintura y otros materiales, pero puede presentar pequeñas manchas claras debido a residuos de herrumbre, cascarilla de laminación y pintura. Al menos el 95% del área deberá quedar libre de residuos visibles y el resto con materiales como los arriba mencionados.
- Sa 3: Llamado chorreado al metal blanco. Después de su limpieza, el acero deberá presentar un color metálico uniforme, blanco-grisáceo, al haberse eliminado el 100% de cascarilla de laminación y herrumbre. La superficie resultante estará libre de aceites, grasas, cascarilla de laminación, pintura, herrumbre y cualquier otro depósito.

La superficie metálica deberá lavarse previamente con agua y tensoactivos neutros, fregándola con un cepillo de nylon. Después del lavado, se seca la superficie naturalmente o con aire comprimido limpio (libre de aceite) y seco.

Esta precaución es necesaria, puesto que las operaciones de cepillado y chorreado no eliminan los aceites, grasas y sales de la superficie.

El método de chorreado (granallado) es utilizado ampliamente en la pintura industrial y los fabricantes de estructuras metálicas lo emplean habitualmente. Se realiza mediante el impacto de partículas generalmente abrasivas, impelidas a alta velocidad contra la superficie a ser limpiada. Esta técnica ofrece dos grandes ventajas:

1. Elimina todas las impurezas superficiales, permitiendo el contacto del revestimiento con el sustrato.

2. Le confiere rugosidad a la superficie, permitiendo así el anclaje del revestimiento.

Pueden utilizarse diversos materiales como abrasivos: arena, granallas de acero, vidrio, hierro fundido, escorias y otros.

La granalla de acero es el agente abrasivo normalmente utilizado en las cabinas cerradas de chorreado. Se fabrica con aceros especiales, muy duros. El formato de sus partículas puede ser redondo (*shot*) o angular (*grit*). Las redondas pueden ser recicladas hasta 450 veces y dejan un perfil bastante redondeado. Las angulares pueden ser recicladas hasta 350 veces y dejan un perfil anguloso e irregular.

## Pintura: ¿qué es y cómo se aplica?

La pintura es el principal medio de protección de las estructuras metálicas.

Las pinturas son suspensiones homogéneas de partículas sólidas (pigmentos) dispersas en un líquido (conocido como vehículo), en presencia de otros componentes en menores proporciones, llamados aditivos.

Los pigmentos son polvos orgánicos o inorgánicos de fina granulometría (aproximadamente 5 micrones de diámetro). En suspensión en la pintura líquida son aglomerados por la resina después del secado, formando una capa uniforme sobre el sustrato. Los pigmentos le confieren el color, la opacidad y cohesión, la consistencia, dureza y resistencia de la película, inhibiendo el proceso corrosivo.

Algunos de los pigmentos comúnmente utilizados en las pinturas de protección del acero al carbono son los siguientes:

- Fosfato de cinc. Es un pigmento que en contacto con agua se disuelve parcialmente, liberando los aniones de fosfato que pasivan localmente la superficie del acero, formando fosfatos de hierro.
- Cinc metálico. Se emplea cinc metálico de alta pureza disperso en resinas epoxídicas o etil silicato. Las pinturas ricas en cinc también se denominan «galvanización en frío» y le confieren protección catódica al sustrato de acero (el cinc se corroe, protegiendo el acero en un proceso idéntico al de la protección que ofrece la galvanización tradicional). Un rasguño en la pintura y el cinc comienza a corroerse, protegiendo el acero.
- Óxido de hierro. Este es un pigmento rojo que no tiene ningún mecanismo

de protección anticorrosivo por pasivación, alcalinización o protección catódica. Pero por ser sólida y maciza, la partícula actúa como barrera contra la difusión de elementos agresivos, tales como el agua y el oxígeno. Este pigmento es muy utilizado en las pinturas de fondo, no es tóxico, tiene buen poder de tinción y ofrece buen cubrimiento.

- Aluminio y otros. El aluminio laminar y otros pigmentos también laminares, tales como la mica, talco, óxido de hierro micáceo y ciertos caolines actúan por la formación de hojas microscópicas, sobrepuestas, constituyendo una barrera que dificulta la difusión de elementos agresivos. Cuanto mejor es la barrera, tanto más durable será la pintura. La combinación de resinas bastante impermeables con pigmentos laminares ofrece una óptima barrera contra la penetración de los agentes agresivos.

Los solventes tienen la finalidad de disolver la resina y, al disminuir la viscosidad, facilitan la aplicación de la pintura. Los solventes más comunes utilizados en las pinturas son los líquidos orgánicos y el agua.

Los ligantes más comunes son las resinas y los óleos, aunque también pueden ser inorgánicos, tales como los silicatos solubles. Tienen la función de envolver las partículas de pigmento y mantenerlas unidas entre sí y el sustrato. La resina proporciona impermeabilidad, continuidad y flexibilidad a la pintura, además de adherencia entre ésta y el sustrato. Las resinas se solidifican por simple evaporación del solvente o por polimerización, con o sin intervención del oxígeno del aire. La resina en algunos casos es frágil y no tiene buena adherencia. En estos casos, se le agregan los llamados plastificantes, que al no ser volátiles, permanecen en la película después del secado.

Las clasificaciones más comunes de las pinturas se basan en el tipo de resina empleada o el pigmento utilizado.

Las pinturas de fondo, conocidas como imprimadores (*primers*) se clasifican habitualmente de acuerdo al principal pigmento anticorrosivo participante, mientras que las pinturas intermedias y de acabado se clasifican de acuerdo a la resina empleada. Por ejemplo, epoxídicas, acrílicas, alquídicas, etcétera.

Los tipos más importantes de pinturas para proteger el acero al carbono, clasificadas según el tipo de resina, son:

- Alquídicas. Conocidas como esmaltes sintéticos, son pinturas monocomponentes de secado al aire. Se utilizan en interiores secos y abrigados, o en

exteriores no contaminados. Como las resinas utilizadas son saponificables, no resisten la humedad constante o inmersión en agua.

- **Epoxídicas.** Son pinturas bicomponentes de secado al aire. La cura se da por la reacción química entre los dos componentes. El componente A es, por lo general, a base de resina epoxídica, y el B, el agente de cura, puede ser a base de poliamida, poliamina o isocianato alifático. Son más impermeables y más resistentes a los agentes químicos que los alquídicos. Resisten la humedad, la inmersión en agua dulce o salada, lubricantes, combustibles y diversos productos químicos. Las epoxídicas a base de agua tienen la misma resistencia que las formuladas a base de solventes orgánicos. De modo general, no son indicadas para la exposición a la intemperie (acción del sol y de la lluvia), porque pierden color y brillo (calcinación).
- **Poliuretánicas.** Son pinturas bicomponentes en que el componente A está basado en resina de poliéster o resina acrílica y el B, el agente de cura, es a base de isocianato alifático. Las pinturas poliuretánicas son bastante resistentes al intemperismo. Por lo tanto, son indicadas para la pintura de acabado en estructuras expuestas a la intemperie. Son compatibles con primers epoxídicos y resisten por muchos años con menor pérdida de color y brillo originales.
- **Acrílicas.** Son pinturas monocomponentes a base de solventes orgánicos o de agua, y, al igual que las pinturas poliuretánicas, son aptas para pintura de acabado. Son pinturas bastante resistentes a la acción del sol.

Las pinturas de fondo se aplican directamente sobre la superficie metálica limpia. Tienen por finalidad promover la adherencia del esquema al sustrato y contienen habitualmente pigmentos inhibidores de la corrosión. Son utilizadas para la protección de los aceros estructurales y son clasificadas de acuerdo a los pigmentos inhibidores adicionados a su composición. Como ejemplos, tenemos las pinturas de fondo a base de fosfato de cinc, de cinc metálico o de aluminio.

Las pinturas de fondo son formuladas con altos contenidos de pigmentos y, por consiguiente, son semibrillantes u opacas.

Cada uno de estos pigmentos inhibidores puede ser incorporado a una cierta variedad de ligantes, generando, por ejemplo, pinturas de fondo alquídico a base de fosfato de cinc, pinturas epoxídicas a base de fosfato de cinc, etcétera.

Las pinturas intermedias no tienen las mismas propiedades que las pinturas de fondo anticorrosivas, pero contribuyen a la protección confiriéndole espesor al sistema de pintura empleado (protección por barrera). De modo general, cuanto más espesa es la capa seca, tanto mayor es la vida útil del revestimiento, por lo que pueden aplicarse varias manos hasta lograr el espesor adecuado.

Las pinturas intermedias y de acabado se clasifican de acuerdo a sus ligantes, como por ejemplo las epoxídicas, vinílicas, poliuretánicas, etcétera.

Las pinturas de acabado tienen la función de proteger el sistema contra el medio ambiente y también dar color y brillo adecuados. Deben ser resistentes a la intemperie, a agentes químicos y tener colores estables. Generalmente son pinturas brillantes con buena resistencia a la pérdida de color y brillo.

Las diversas capas de pintura naturalmente deben ser compatibles entre sí. Pueden pertenecer a la misma familia o ser muy diferentes. Una precaución que siempre ha de ser adoptada es que todas las pinturas del sistema ojalá sean del mismo fabricante. Esto minimizará la posibilidad de futuros defectos, tales como delaminación (descoloramiento).

Los aditivos mejoran ciertas propiedades específicas de las pinturas. Existen aditivos antinata, secantes, plastificantes, antimoho, anti-sedimentantes, nivelantes, tixotrópicos, etc.

Un mismo acero, pintado con tipos diferentes de pinturas, puede presentar comportamientos muy diferenciados cuando se encuentra expuesto a un mismo medio agresivo.

Esta diferencia puede explicarse admitiendo que las pinturas empleadas tienen diferentes mecanismos de acción contra la corrosión. Estos mecanismos, de manera general son clasificadas en:

- **Protección por barrera:** La pintura además de ser lo más impermeable posible, ha de aplicarse en grandes espesores. Las pinturas de gran espesor, llamadas HB (high build), tienen la ventaja de ahorrar mano de obra para su aplicación. Además de las pinturas de gran espesor, las que ofrecen una mejor protección por barrera son las bituminosas y las de aluminio. El inconveniente de la protección por barrera es que cuando se daña la película, la corrosión se extiende bajo la película por aeración diferencial. Así, es siempre recomendable que se utilicen pinturas de fondo con mecanismos de protección catódica o anódica.

- **Protección anódica:** La protección de las regiones anódicas la proporcionan los pigmentos anticorrosivos, todos de carácter oxidante. La protección puede lograrse mediante la disolución del pigmento o por acción oxidante.

- **Protección catódica:** La protección la confiere la formación de pares galvánicos entre el acero al carbono y las partículas de cinc en polvo (éstas son las llamadas pinturas ricas en cinc). En ellas se corroe el cinc, protegiendo el sustrato del acero al carbono. El contenido mínimo recomendable de cinc en la película seca es del 85% (el contacto eléctrico es fundamental para mantener la protección).

En la elaboración de un sistema de pintura han de considerarse todos los datos: el ambiente, el sustrato, la preparación de la superficie, las pinturas, la secuencia de aplicación, el número de manos, los espesores, los tipos de aplicación y a qué condiciones de trabajo estará sometida la superficie. Cuanto mejor es la preparación de la superficie y mayor el espesor, tanto más duradera será la protección que el sistema ofrecerá al acero. La buena preparación de la superficie cuesta más, pero la pintura durará más.

La **Tabla 3** presenta algunas directrices para la preparación superficial y los sistemas de pintura realizados en ambientes de diferentes agresividades.

Las orientaciones presentadas son genéricas; le cabrá al profesional hacer las consultas previas y detalladas a los fabricantes de pinturas y los que las aplican.

---

## Revestimientos metálicos, ¿de qué trata la galvanización y cómo es aplicada?

---

Los cuatro métodos más usados para la aplicación de revestimientos metálicos sobre superficies de acero son: La galvanización en caliente, la metalización, la electrodeposición y la sherardización. Los últimos dos procesos no son utilizados en estructuras de acero, pero se aplican a tornillería y otros ítems pequeños.

De modo general, la protección ofrecida por el revestimiento metálico depende de la selección del revestimiento y su espesor y no es muy influenciada por el método de aplicación.

### Galvanización en caliente

El método más común de aplicación de un revestimiento metálico es la galvanización en caliente.

**Tabla 3**  
**Sistemas de pintura recomendados para ambientes de diferente agresividad**

Ambiente	Tipo	Pintura	Manos	Espesor seco por mano (µm)	Espesor seco total (µm)	Costo	Expectativa de durabilidad (años)	Observaciones
Rural 1	Fondo y acabado	Alquídica doble función	1	75	75	Bajo	3 a 6	-
Rural 2	Fondo y acabado	Primer alquídico Esmalte alquídico	1 2	40 40	120	Medio	4 a 7	-
Rural 3	Fondo acabado	Primer Epoxy Esmalte Epoxy	1 2	40 40	120	Medio	6 a 9	Se calcina
Urbano 1	Fondo acabado	Primer alquídico Esmalte alquídico	2 2	40 40	160	Bajo	4 a 7	-
Urbano 2	Fondo y acabado	Colores Epoximástico	1	120	120	Medio	6 a 9	Se calcina
Urbano 3	Fondo y acabado	Poliuretano doble función	2	70	140	Alto	7 a 10	Resistente a la calcinación
Industrial 1	Fondo y acabado	Colores Epoximástico	2	125	250	Medio	6 a 9	Se calcina
Industrial 2	Fondo acabado	Primer Epoxy Esmalte Epoxy	1 2	75 100	275	Medio	6 a 9	Se calcina
Industrial 3	Fondo acabado	Primer Epoxy Esmalte Poliuretano	1 2	125 75	275	Alto	7 a 10	Resistente a la calcinación
Marítimo 1	Fondo intermedia acabado	Primer Etil-Silicato de Cinc Epoxy-Poliamida (tie-coat) Esmalte Poliuretano	1 1 2	75 40 75	265	Alto	8 a 12	Resistente a la calcinación
Marítimo 2	Fondo intermedia acabado	Primer Epoxi rico en cinc Esmalte Epoxi Esmalte Poliuretano	1 1 1	75 125 75	275	Alto	7 a 11	Resistente a la calcinación
Marítimo 3	Fondo acabado	Primer Epoxy Esmalte Poliuretano	2 1	125 50	300	Alto	6 a 10	Resistente a la calcinación

El proceso comprende las siguientes etapas:

1. Los aceites y las grasas se eliminan mediante el uso de un agente desengrasante adecuado.
2. El acero es sometido en seguida a un decapado ácido, con el objetivo de remover la cascarilla de laminación y la herrumbre. Por lo general se utiliza ácido clorhídrico inhibido. Esta etapa puede ser precedida por un chorreado abrasivo, hecho a objeto de remover gran parte de la cascarilla de laminación y formar rugosidad en el material. De cualquier modo, estas superficies siempre se someten a decapado.
3. La superficie de acero es sumergida en un fundente a fin de asegurar el buen contacto entre el acero y el cinc líquido durante el proceso de galvanización.
4. El componente luego es sumergido en un baño de cinc líquido a una temperatura próxima a los 450 °C. A esta temperatura reacciona el cinc con el acero, formando una serie de aleaciones Zn/Fe que se adhieren muy bien a la superficie del acero.
5. Cuando el componente de acero es retirado del baño, se deposita una capa

de cinc relativamente puro encima de la última capa de la aleación Zn/Fe.

Al solidificarse el cinc adquiere un brillo metálico característico. El espesor del revestimiento depende de varios factores, incluyendo la dimensión y el espesor del componente y la previa preparación de la superficie. Se logran espesores mayores en los aceros que pasaron por la etapa de chorreado abrasivo.

Los elementos químicos silicio y fósforo presentes en el acero también ejercen un gran efecto en el espesor y la apariencia del revestimiento. El espesor de la capa depositada varía principalmente con el contenido de silicio del acero y con el tiempo de inmersión en la cuba. Estos revestimientos más espesos tienen algunas veces una coloración más oscura de la que adquieren los aceros con menores concentraciones de estos elementos de aleación.

Debido al hecho de que el proceso básicamente depende de la inmersión del componente en un baño líquido, la dimensión del componente puede ser un factor limitante en la aplicación del proceso. La inmersión en dos fases (primero por un lado, y luego por el otro) puede minimizar este tipo de problema.

El detalle de la pieza debe considerar espacios y drenajes adecuados para permitir el escurrimiento de todos los líquidos existentes en cada etapa del proceso.

En muchas aplicaciones, la galvanización en caliente es utilizada sin ningún tipo de protección adicional. No obstante, puede aplicarse pintura en aras de una durabilidad extra, o cuando existen requerimientos de orden estético especial. La combinación de un revestimiento metálico con un sistema de pintura es conocida como «sistema dúplex». Las pinturas aplicadas sobre revestimientos galvanizados necesitan una adecuada preparación de superficie para lograr una buena adherencia de la pintura al sustrato, tal como un chorreado abrasivo ligero para aumentar la rugosidad superficial y mejorar el anclaje y la aplicación de agentes químicos de ataque al cinc.

### Uso de aceros patinables

Los aceros patinables son aceros estructurales de alta resistencia mecánica y baja aleación, de buena soldabilidad y una buena resistencia a la corrosión atmosférica, lo que los exime de pintura en varios ambientes.

Ellos contienen hasta el 2½% de elementos de aleación (cobre, níquel y cromo).

Su exposición al aire, si las condiciones ambientales son favorables, hace que desarrollen una herrumbre adherente y muy poco porosa, llamada pátina.

Esta capa de herrumbre actúa como una barrera que, con el tiempo, hace que la velocidad de corrosión del acero se reduzca hasta un pequeño valor residual, usualmente después de los cinco años de exposición.

En los aceros estructurales convencionales se forman capas de herrumbre que eventualmente se tornan poco adherentes y se desprenden fácilmente de la superficie metálica. La velocidad de corrosión avanza en una serie de incrementos que, de modo simplificado, pueden ser representados por una recta, cuyo coeficiente angular está directamente relacionado con la agresividad del ambiente. En el caso de los aceros patinables, el proceso de formación de herrumbre se inicia en la misma forma, pero ahora los elementos de aleación presentes en el acero promueven la generación de una capa de herrumbre mucho menos porosa y adherente. Con el paso del tiempo, esta capa de herrumbre se torna porosa y la velocidad de corrosión decae mucho. La **Figura 4** ilustra el fenómeno.

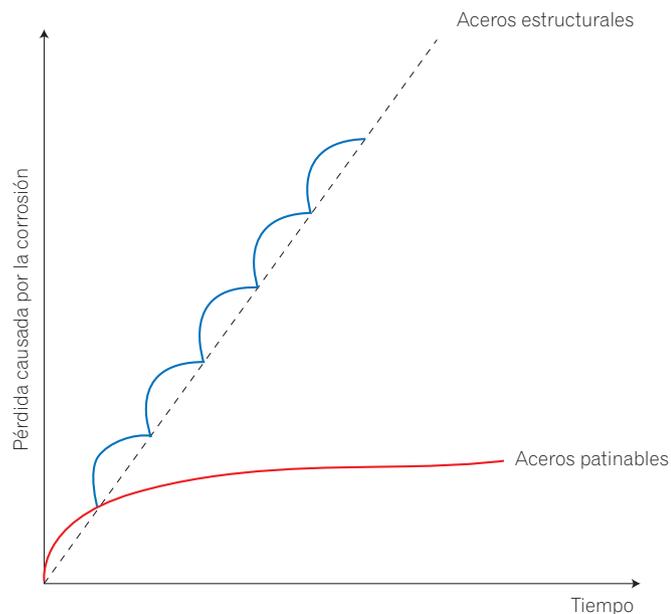
Muchas normas internacionales clasifican los aceros patinables; dentro de esta categoría de aceros se destaca el Cor-Ten, que fue el producto pionero en este segmento, habiendo sido creado por la United States Steel Corporation en 1932.

### Formación de la pátina

La formación de la pátina es función de tres tipos de factores. Los primeros que cabe destacar están relacionados con la composición química del mismo acero. Los principales elementos de aleación que contribuyen a aumentar su resistencia a la corrosión atmosférica y favorecen la formación de la pátina, son el cobre y el fósforo. El cromo, el níquel y el silicio también ejercen efectos secundarios. Pero cabe observar que el fósforo ha de mantenerse en contenidos bajos (menores que el 0,1%), bajo pena de perjudicar ciertas propiedades mecánicas del acero y su soldabilidad.

En segundo lugar están los factores ambientales, entre los cuales sobresalen la presencia de dióxido de azufre y de cloruro de sodio en la atmósfera, la temperatura, la fuerza de los vientos (dirección, velocidad y frecuencia), los ciclos de humedecimiento y sequedad, etc. En lo que respecta a la presencia del dióxido de azufre, hasta ciertos límites, este favorece el desarrollo de la pátina y el cloruro de sodio en suspensión en atmósferas marítimas perjudica sus propiedades

**Figura 4**  
**Pérdida de masa causada por la corrosión en aceros estructurales y patinables no pintados**



protectoras. No se recomienda utilizar aceros patinables no protegidos en ambientes industriales donde la concentración de dióxido de azufre atmosférico es superior a  $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y en atmósferas marinas donde la tasa de deposición de cloruros exceda los  $300 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{día}$ .

### Precauciones y limitaciones

Han de observarse los puntos siguientes a fin de maximizar los beneficios que ofrece el uso de los aceros patinables:

1. Evite el contacto con superficies absorbentes (por ej., concreto), las situaciones de humedecimiento prolongado, la utilización en suelos agresivos, el contacto con metales disímiles y, finalmente, las condiciones de alta agresividad ambiental, como las descritas más arriba.
2. Los aceros patinables pueden ser soldados mediante el uso de todas las técnicas habituales, los electrodos deberán ser compatibles con la composición química de estos aceros a fin de minimizar el desarrollo de corrosión bimetalica en el cordón de soldadura. Los tornillos estructurales adecuados aparecen en la Norma ASTM A325 Tipo 3 (Cor-Ten X). Cuando se admite la utilización de tornillos de menor resistencia, estos pueden ser confeccionados en Cor-Ten A o aceros inoxidables. Los tornillos, tuercas y arandelas galvanizados en caliente, sherardizados o revestidos con cinc electrodepositado no deben emplearse en conjunto con los aceros patinables, pues los revestimientos de cinc se consumirían

rápidamente, exponiendo un tornillo que, repetimos, es menos noble que el acero patinable. El tornillo se corroería intensamente.

3. El procedimiento de pintura adecuado para los aceros patinables por lo general no es diferente del empleado en los aceros estructurales comunes. Requieren la misma preparación superficial y el mismo esquema de pintura aplicado al acero estructural. No hay diferencias.

### La especificación de un sistema de protección

Para una estructura dada, deben predefinirse los siguientes factores:

- La expectativa de vida de la estructura, así como la posibilidad de intervenciones periódicas de mantenimiento.
- El ambiente que circunda a la estructura.
- La dimensión y la forma de los componentes estructurales.
- Las posibilidades de tratamiento que puede proporcionar el fabricante de la estructura, o las que existen en el sitio de la construcción/montaje para obras *in situ*.
- El costo, esto es, el dinero disponible para implementar la protección.

Estos y otros hechos deben ser cuidadosamente considerados antes de adoptar las decisiones respecto a:

- Tipos de recubrimientos a utilizar.

- El método de preparación de superficies.
- Los métodos de aplicación.
- El número de capas de revestimiento y el espesor de cada capa.

En general, cada caso debe ser decidido por sus propios méritos, aunque los puntos siguientes pueden ser una ayuda para la toma de decisiones:

- Los requisitos de protección son mínimos en el interior de edificaciones calefaccionadas. La estructura, cuando está en un ambiente de este tipo, no requiere protección alguna.
- La durabilidad de los sistemas de pintura aumenta considerablemente cuando se efectúa la limpieza superficial mediante chorreado abrasivo. La limpieza manual (o motorizada) no ofrece la misma calidad que genera el chorreado con partículas abrasivas.
- El chorreado abrasivo con partículas esféricas (shot) es el método más adecuado para la mayoría de los sistemas de pintura, pero el chorreado con partículas angulares (grit) es esencial para el proceso de metalización y también para algunos primers, tales como el silicato de cinc.

- El lugar de aplicación del revestimiento (es decir, en la fábrica de la estructura o en obra) y las condiciones ambientales para la aplicación, como por ejemplo, el rango de temperatura, humedad relativa mínima, etcétera.
- Detallamiento del tratamiento de soldaduras, conexiones, etcétera.
- Procedimientos para la reparación de componentes dañados.

### Normas relevantes

1. ISO 1461:-, Hot dip galvanized coatings on fabricated ferrous products - Specifications (por publicar - revisión de la ISO 1459: 1973 y de la ISO 1461: 1973).
2. ISO 8501-1:1988, Preparation of steel substrates before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness - Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings.
3. ISO 9223:1992, Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres - Classification
4. ISO 9226:1992, Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of Atmospheres - Determination of corrosion rate of standard specimens for the evaluation of corrosivity.
5. ISO 12944-1: 1998, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 1: General introduction.
6. ISO 12944-2: 1998, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 2: Classification of environments.
7. ISO 12944-3: 1998, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 3: Design considerations.
8. ISO 12944-4: 1998, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 4: Types of surface and surface preparation.
9. ISO 12944-5: 1998, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 5: Protective paint systems.
10. ISO 12944-6: 1998, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 6: laboratory performance test methods.
11. ISO 12944-7: 1998, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 7: Execution and supervision of paint work
12. ISO 12944-8: 1998, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems - Part 8: Development of specifications for new work and maintenance.
13. ISO 14713:-, Protection against corrosion of iron and steel, in structures - Guidelines (por publicar).

### ¿Cómo escribir una especificación de protección?

La especificación ha de redactarse de modo de generar una instrucción clara y precisa de lo que deberá hacerse. Debe ser escrita en una secuencia lógica, comenzando con la preparación de la superficie, pasando por cada una de las pinturas (o revestimientos metálicos) a aplicar y, finalmente, yendo al detallamiento de áreas específicas, como por ejemplo, las soldaduras. Debe ser sucinta, sin dejar de abordar todo el contenido fundamental. La información más importante debe ser la siguiente:

- El método de preparación de superficie, y el patrón requerido.
- El intervalo máximo entre la preparación de la superficie y la aplicación del primer.
- Los tipos de pintura (o de revestimiento) a ser empleados.
- El método (o los métodos) de aplicación a ser utilizados.
- El número de capas a aplicar y el intervalo entre la aplicación de las capas.
- Los espesores húmedo y seco de cada capa.

## HEAVY EQUIPMENT SERVICES CO

2000 **FUCHS MHL350 (Rubber)** 50' reach, hydraulic cab, gen set, and grapple  
 2000 **FUCHS MHL360 (Rubber)** 59' reach, hydraulic cab, gen set, and grapple  
 2001 **CAT M318 MH (Rubber)** 35' reach, hydraulic cab, gen set, and grapple  
 1999 **CAT M320 MH (Rubber)** 38' reach, hydraulic cab, gen set, and grapple  
 2001 **CAT 345BL MH (Crawler)** 54' reach, hydraulic cab, gen set, and grapple  
 2001 **LIEBHERR R934EW (Crawler)** 49' reach, 4' cab riser, gen set and grapple  
 1998 **LIEBHERR A932HD (Rubber)** 47' reach, 4' cab riser, gen set and grapple  
 1995 **LIEBHERR R984 (Crawler)** 70' reach, hydraulic cab, gen set and grapple



[www.hescomachinery.com](http://www.hescomachinery.com)  
 Call **JOHN DAVIS** 001-952-944-3611  
 Call **ROBERTO AYRES** 001-239-571-4956