



GERDAU
CORSA
El futuro se moldea

PRINCIPIOS DE PROTECCIÓN
DE ESTRUCTURAS METÁLICAS
EN SITUACIÓN DE CORROSIÓN Y FUEGO

Gerdau Corsa. El futuro se moldea.

gerdaucorsa.com.mx



INTRODUCCIÓN

Si bien, algunos materiales estructurales y de construcción son incombustibles, su resistencia se reduce considerablemente ante la presencia del fuego o de calor extremo. El acero es un excelente conductor de calor, de tal manera que algunos elementos estructurales sin protección adecuada, pueden transmitir el suficiente calor para que el complemento de alguna estructura llegue a fallar y en casos extremos, la misma estructura.

Es sabido que existen algunos aceros resistentes a la corrosión, o mejor dicho, la oxidación es parte del recubrimiento para frenar la corrosión. Estos aceros son de especial aplicación para la industria de la construcción, los aceros más comunes no cuentan con este tipo de tratamiento, por lo que hay que darle el debido recubrimiento según su uso para garantizar el buen comportamiento y vida útil de la estructura.



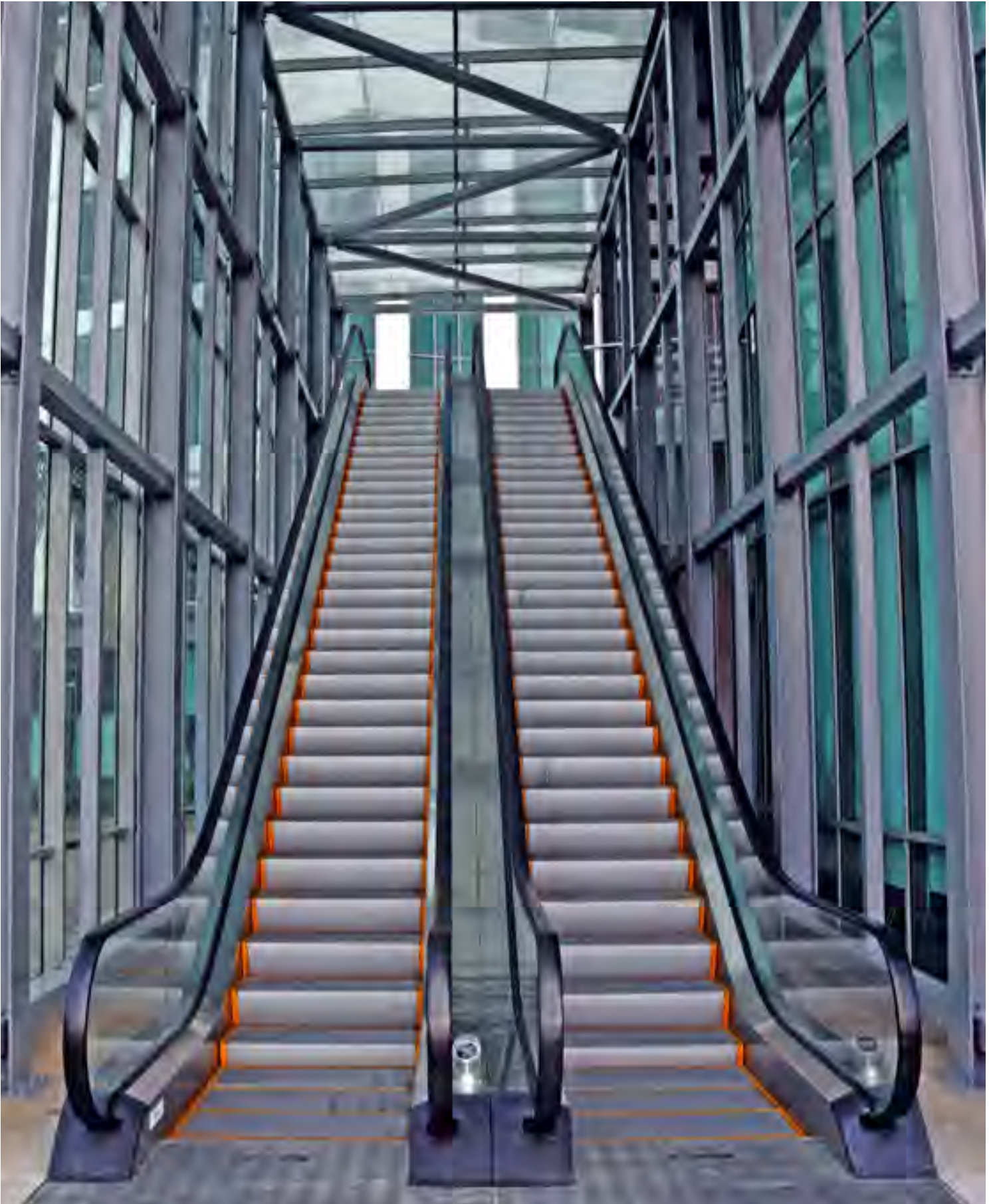
Elaboración:
Fábío Domingo Pannoni, M. Sc., Ph. D.

Coordinación Técnica:
Gabriel Abraham Guerra.
Carlos Cházaro Rosario.

Diseño Editorial:
Valeria Giselle Uribe Pérez.
Artroom Innovative Thinking.

ÍNDICE

- 1.- Introducción
- 2.- Producción de acero
- 3.- ¿Cómo se presenta la corrosión?
- 4.- Aceros patinables
- 5.- ¿Cómo prevenir la corrosión?
- 6.- Preparación de la superficies y pintura
- 7.- ¿Por qué proteger el acero del fuego?
- 8.- Normativa relacionada en México



1. PRODUCCIÓN DEL ACERO

El acero es una aleación hierro-carbono, con un contenido máximo de carbono del 2%, que contiene pequeñas cantidades de otros elementos químicos tales como el manganeso, silicio, fósforo, azufre, etc. La concentración de carbono en el acero, ejerce un profundo efecto en sus propiedades mecánicas, al transformarlo en varias etapas, propicia en conjunto con otros elementos de aleación, la producción de un gran número de productos. Esta aleación es la más versátil y más importante de las aleaciones metálicas conocidas y es producida en más de 3,500 especificaciones diferentes, cada una atendiendo a una o más aplicaciones.

El proceso más común de la producción de los aceros es la que pasa por el alto horno seguido del convertidor al oxígeno. Cerca del 60% de los aceros son producidos por esta vía. El mineral de hierro, el coque y los variados fundentes son las principales materias primas en este proceso, para realizar la eliminación del oxígeno del mineral, que es reducido así, en hierro. Esta reducción es producto de la combinación del carbono presente en el coque con el oxígeno del mineral, en una reacción exotérmica; la combustión del carbón con el oxígeno del aire suministra el calor necesario para fundir el material reducido, y el afino subsecuente en el convertidor al oxígeno, a modo de producir un acero que, conformado, es transformado en una enorme variedad de objetos.

Otra de las rutas para la producción de acero es la vía del horno de reducción directa, seguida del horno eléctrico de arco. Cerca del 34% de los aceros en el mundo son producidos por esta vía. Durante el proceso de fusión otros elementos químicos son adicionados al acero, a modo de atacar determinada composición química. Enseguida, el acero pasa por un proceso simplificado de refino en un horno cuchara. El Horno de Reducción Directa es alimentado con mineral de hierro, mezcla que desciende en forma continua por efecto de gravedad. En la parte media del reactor, se inyecta el gas reductor, rico en monóxido de carbono e hidrógeno, que fluye del interior del reactor en contracorriente a la mezcla de mineral. El hierro prerreducido resultante puede según los procesos ser obtenido en forma de hierro esponja.

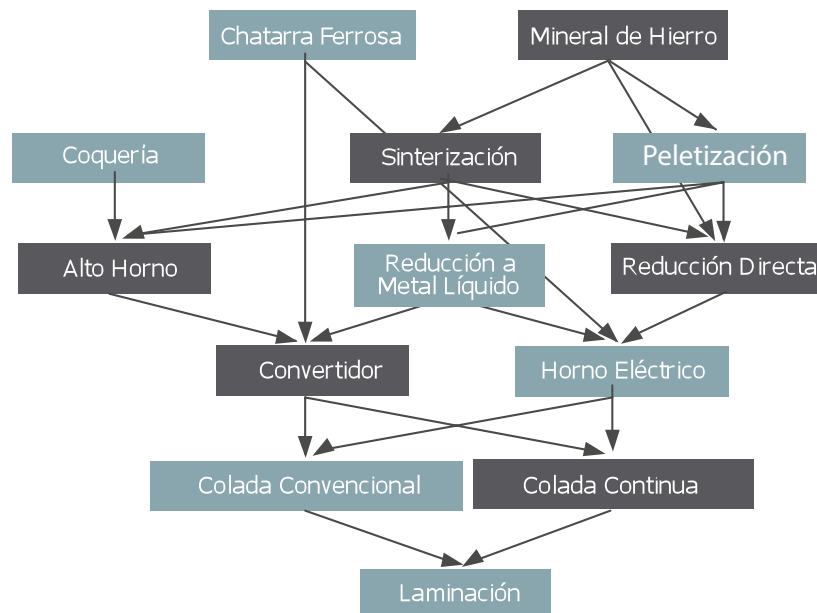


FIGURA 1. Rutas de producción del acero.

2. ¿CÓMO SE PRESENTA LA CORROSIÓN?

Los materiales raramente son encontrados en estado puro, casi siempre son encontrados en combinación con otros elementos no metálicos presentes en el ambiente. Los minerales son, de modo general, las formas oxidadas de un metal.

Con raras excepciones, cantidades significativas de energía deben ser previstas para reducir los minerales a metales puros. La fundición y conformación posterior de metal envuelven procesos donde más energía se gasta.

La corrosión se define como el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. De manera más general, puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad del fluido en contacto con el metal y de las propiedades de los metales en cuestión. Otros materiales no metálicos también sufren corrosión mediante otros mecanismos.

La corrosión afecta de varias maneras: utilización de mayores coeficientes de seguridad, necesidad de mantenimiento preventivo y correctivo, utilización de materiales más nobles y caros, cierre temporal de la utilización de equipos o de la estructura, producto de la contaminación, la pérdida de la eficiencia, la pérdida de credibilidad, etc. Obviamente todos estos puntos envuelven aspectos económicos. Por lo tanto, hay muchas razones para evitar la corrosión.

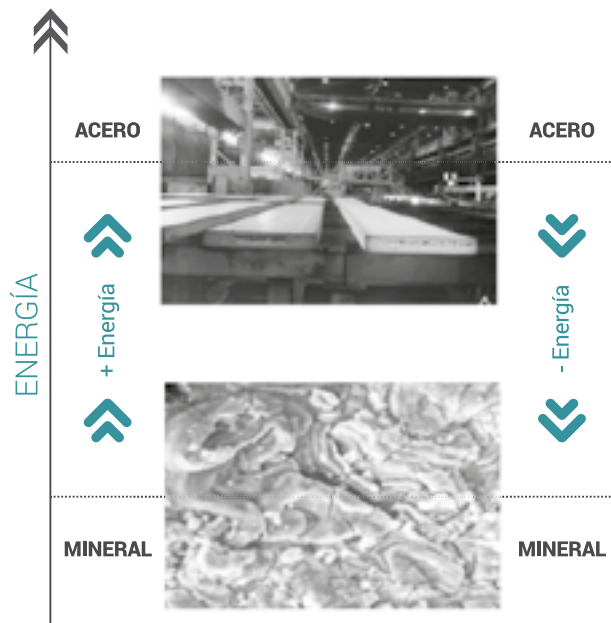


Figura 2. La corrosión implica la disminución de energía libre.

La corrosión puede ocurrir de varias formas, y su clasificación puede ser hecha a través de la apariencia de metal corroído. Las formas más comunes de corrosión que le afectan al acero son:

- **CORROSIÓN UNIFORME**
- **CORROSIÓN LOCALIZADA**

- A) Macroscópica**
- Galvánica
 - Agrietamiento
 - Picadura
 - Ataque Selectivo
 - Microbiológica
- B) Microscópica**
- Intergranular
 - Bajo Tensión

Un ataque uniformemente distribuido por grandes regiones de superficie metálica es ciertamente la forma más común de corrosión. Ésta se distribuye, en general, por grandes áreas de superficie metálica y se puede estimar la velocidad con la que avanza por ser uniforme. La corrosión galvánica puede ocurrir cuando 2 metales diferentes, en contacto eléctrico (o conectados por un conductor eléctrico), son expuesta una solución conductora de electricidad. Una diferencia de potencial eléctrico existente entre diferentes metales o conexiones acaba por proporcionar un potencial termodinámico necesario para la preservación del proceso de corrosión.

Las condiciones ambientales dentro de una grieta pueden, con el tiempo, tornarse muy diferentes de aquellas encontradas en una superficie próxima, limpia y expuesta la ambiente externo. Un ambiente mucho más agresivo puede desenvolverse y causar la corrosión localizada en el interior de la grieta. Las grietas ocurren, por ejemplo, en barrenos para tornillos, puntos de soldadura discontinua y remaches, sin embargo, también pueden ser ocasionadas por depósitos de suciedad, productos de corrosión, etc.

Gran parte de la corrosión envuelve reacciones electroquímicas. A continuación detallaremos el mecanismo de este tipo de reacción.

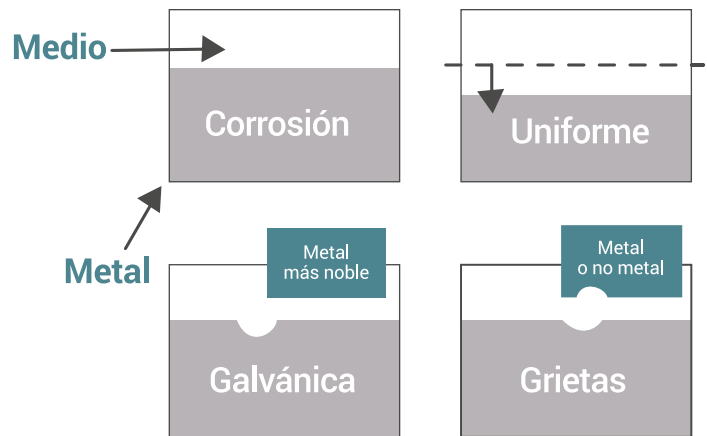


FIGURA 4.- Formas comunes de corrosión.

3.1 MECANISMO ELECTROQUÍMICO

Los fenómenos de corrosión de metales envuelven una gran variedad de mecanismos y estos pueden ser reunidos en 4 grupos.

- **Corrosión en medios acuosos (90%).**
- **Oxidación y corrosión caliente (8%).**
- **Corrosión en medios orgánicos (1.8%).**
- **Corrosión por metales líquidos (0.2%).**

Entre paréntesis está indicada, de manera estimada, la incidencia de cada uno de los tipos de corrosión. Se nota que la mayor incidencia es en medios acuosos, esto se espera una vez que la mayoría de los fenómenos de corrosión ocurre en el medio ambiente, donde el agua es el principal solvente. La misma corrosión atmosférica, es una corrosión generalizada de gran incidencia, ocurre a través de la condensación de la humedad en la superficie del metal.

Es aceptable, actualmente, que los dos primeros grupos son caracterizados por procesos esencialmente electroquímicos. En la naturaleza de los procesos que ocurren en los dos últimos grupos podrá ser precisada ya que sus mecanismos aun no han sido debidamente establecidos.

Una reacción es considerada electroquímica si ésta estuvo asociada al paso de corriente eléctrica a través de una distancia finita, mayor que la distancia interatómica. Este paso de corriente envuelve un movimiento de partículas cargadas, iones, electrones o ambos. De esa manera, en la mayoría de las reacciones que se manifiestan en una superficie metálica, ocurre el paso de corriente a través del metal, y la reacción es electroquímica en su naturaleza.

La distancia que la corriente eléctrica viaja en una reacción de corrosión electroquímica puede variar bastante, de una dimensión del tamaño de un grano (micrométrica), como en el caso de una disolución de un metal en una solución ácida, hasta kilómetros de distancia, como en el caso de la corrosión por corrientes de fuga de tubos enterrados en vigilancias de una entrada de fierro electrificada.

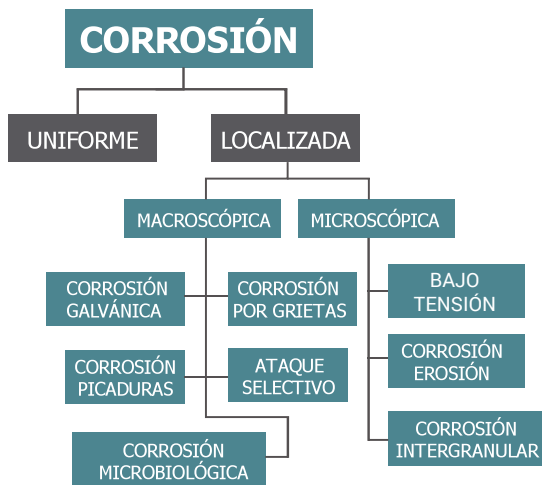


FIGURA 3. ¿Cómo se presenta la corrosión?

En la mayoría de las reacciones electroquímicas los iones se mueven a través de un electrolito líquido, normalmente acuoso. En tanto, en reacciones de oxidación (por ejemplo la reacción a temperaturas elevadas de un metal y el oxígeno atmosférico), no se tiene electrolito líquido y el movimiento de iones ocurre a través de la película de óxido metálico que se forma en la superficie del metal. Este óxido funciona como un electrolito sólido y garantiza la reacción electroquímica de la naturaleza.

Una de las experiencias clásicas, que ilustra de forma muy clara las reacciones electroquímicas envueltas en un proceso de corrosión de acero al carbono es la de una gota salina. En esta experiencia una gota de una solución NaCl 3% es vertida sobre una superficie finalmente lijada de acero al carbono. La solución también contiene una pequeña cantidad de indicadores de ferrocianuro de potasio, que se torna azul en presencia de iones ferrosos, e indicador de fenolftaleína que se torna rosa en presencia de hidróxidos. Buscando una gota por encima, se observa al inicio, la aparición de pequeñas áreas tanto de color azul como de color rosa, distribuidas aleatoriamente sobre la superficie del acero.

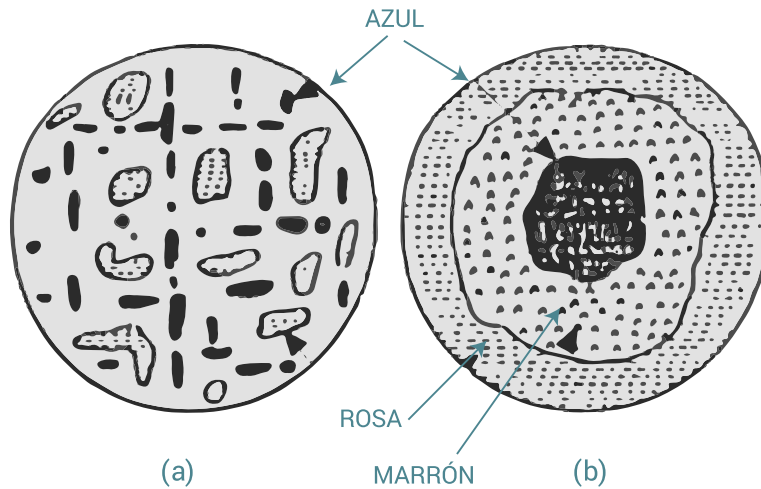


FIGURA 4. - Formas comunes de corrosión.

Después de cierto tiempo, la distribución de estas áreas se altera, formándose el área rosa en la periferia de la gota, el área azul en el centro y entre las dos áreas un precipitado color marrón.

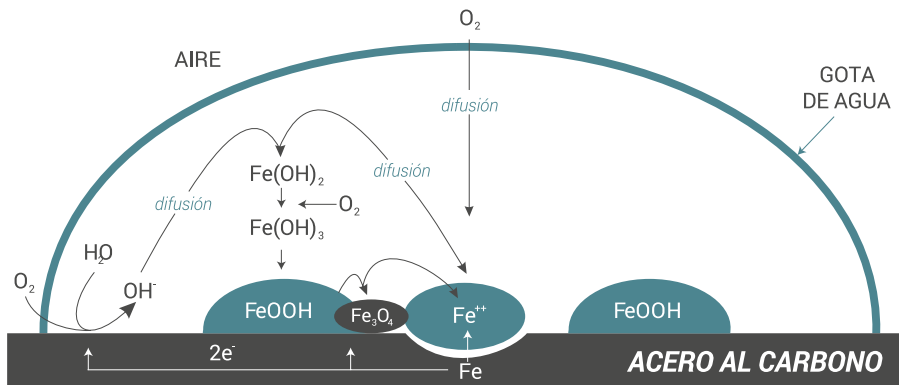


FIGURA 6. - El experimento de la gota salina: reacciones fundamentales.

3.2 PRINCIPALES FORMAS DE CORROSIÓN

3.2.1 Corrosión Uniforme

La corrosión uniforme es el fenómeno de corrosión más importante, común, simple y conocido. Este tipo de corrosión ocurre en metales y aleaciones relativamente homogéneas expuestas a ambientes también homogéneos. Esta homogeneidad de comportamiento puede ser, en efecto, tanto el reflejo de la homogeneidad intrínseca del material (ausencia de defectos estructurales o de inclusiones, por ejemplo), acerca de la selectividad del ambiente con respecto a estos defectos. Los aceros al carbono expuestos a la atmósfera y aleaciones de cobre expuestas a las aguas naturales son buenos ejemplos de materiales que pueden sufrir este tipo de ataque.

La velocidad de la corrosión uniforme es, en general, expresada en términos de pérdida de masa por unidad de superficie y por unidad de tiempo, o por la pérdida del espesor del metal corroído en función del tiempo.

En ciertos casos particulares, la corrosión uniforme puede ser muy acelerada por la acción de agentes externos. Es el caso de un fenómeno conocido como "Corrosión por corrientes de fuga".

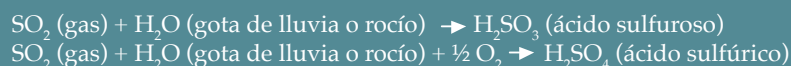
Como se ha visto anteriormente, la corrosión resulta de la existencia simultánea de dos reacciones electroquímicas distribuidas uniformemente sobre la superficie del material: la reacción anódica, que corresponde a la oxidación del metal (paso del ión a la solución), y la reacción catódica, que corresponde a la reducción del oxidante presente en el medio (O_2 disuelto, H^+ , etc).

La corrosión atmosférica de los aceros al carbono, como el nombre lo indica, se refiere a la reacción del oxígeno, un componente de la atmósfera, la temperatura ambiente, con el metal, estando la superficie recubierta por una película (macroscópica o microscópica), de agua y agentes contaminantes disueltos, llamados electrolitos.



3.2.1.1 Especies Contaminantes Contenidas en la Atmósfera

Los principales contaminantes contenidos en la atmósfera son el dióxido de azufre (SO_2), los diferentes óxidos de nitrógeno (NOX), los cloratos y los polvos que se depositan en la superficie metálica. Desde el punto de vista de la corrosión, los cloratos (presentes esencialmente en las regiones marinas), y los SO_2 (provenientes de la quema de los combustibles fósiles, como el carbón de la actividad volcánica), son las especies más importantes. El SO_2 es el responsable de las lluvias ácidas, por que al reaccionar con el agua forma un ácido sulfuroso (H_2SO_3) o bien, en presencia con el agua y el oxígeno (en presencia de catalizadores como los iones ferrosos), ácido sulfúrico (H_2SO_4), de acuerdo con las reacciones:



La reacción del ácido sulfúrico con un acero al carbono resulta en sulfato ferroso, promoviendo la disolución del hierro:



Los óxidos de nitrógeno, que son formados durante la combustión a alta temperatura (en motores Diesel, por ejemplo), tiene influencia menos acentuada.

3.2.1.2 Humedad Relativa del Aire

La humedad relativa del aire determina el porcentaje de humedad a partir del cual ocurrirá el fenómeno de condensación, necesaria para la formación de una película de electrolito sobre la superficie metálica.

Esta condensación ocurre, al principio, en humedades relativas del 100%, sin embargo, puede, bajo ciertas condiciones, manifestarse sobre la superficie metálica con humedades inferiores. Esto ocurre particularmente cuando la temperatura del metal es menor que la temperatura del aire del ambiente, cuando la superficie es porosa (causada por el fenómeno de tensión superficial, que disminuye la presión de saturación dentro del poro), o cuando la superficie contiene depósitos de sales.

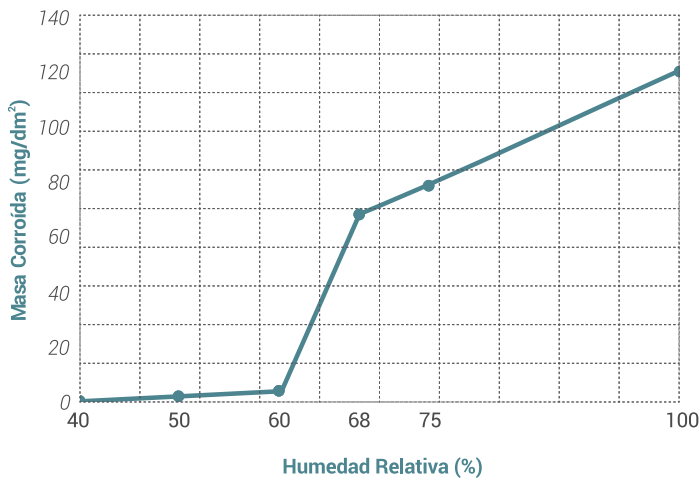


FIGURA 7.- Influencia de la humedad relativa en el proceso de corrosión atmosférica.

La presencia de sales depositadas ejerce una doble acción, por un lado, reduce el valor de la presión de saturación, y por el otro, crea una situación desfavorable, por estas sales, disueltas en el agua condensada, a la formación de un electrolito particularmente agresivo.

La figura 7 muestra la evolución de la corrosión de un acero al carbono en función de la humedad relativa, para una atmósfera contaminada con el 0.01% de SO₂ y con un periodo de exposición de 55 días. La gráfica evidencia que la corrosión se acelera cuando la humedad relativa supera el 60%.

3.2.1.3 Características de la Corrosión Atmosférica

Las normas ISO 9223 “Corrosión en metales y aleaciones” e ISO 9226, definen los criterios relativos de características de una atmósfera y su grado corrosivo, determinado a partir de la velocidad de corrosión de metales expuestos.

Son 3 los parámetros utilizados en la clasificación de una atmósfera:

- La duración de la exposición en una determinada humedad (tiempo de humedecimiento), τ : periodo en el cual la humedad relativa es superior al 80% y la temperatura es superior a 0 °C. Son descritas 5 categorías, τ_1 (<10 h.año-1), a τ_5 (> 5500 h.año-1).
- La concentración de SO₂ atmosférico, dado en μ g.m³: son descritas en 4 categorías, P0 (<12 μ g.m³), a P3 (90 < P < 250 μ g.m³). Una atmósfera rural no contaminada presenta un valor medio anual de 5 μ g.m³, a diferencia de una atmósfera industrial que posee un valor medio anual de 27 μ g.m³.
- La concentración de iones de clorato, dada como la velocidad de declaración, en mg.m⁻².día-1. Son descritas 4 categorías, S0 (< 3 mg.m⁻².día-1), a S3 (300 < S < 1500 mg.m⁻².día-1).

La siguiente tabla ilustra el grado corrosivo de una atmósfera según la norma ISO 9226 en función de las velocidades de corrosión observadas para diferentes valores de τ , P y S, para los aceros al carbono.

GRADO CORROSIVO DE LA ATMÓSFERA	V _{corr. inicial} (μ m.año ⁻¹)	V _{Corr. Estacionaria} (μ m.año ⁻¹)
C1 Muy baja	<1.3	<0.1
C2 Baja	1.3 - 25	0.1 - 1.5
C3 Media	25 - 50	1.5 - 6
C4 Alta	50 - 80	6 - 20
C5 Muy alta	80 - 200	20 - 90

3.2.1.4 Mecanismo de Corrosión Atmosférica del acero al Carbono

La corrosión atmosférica del acero al carbono puede ser descrita esquemáticamente por la reacción:



El compuesto FeOOH, que puede ser considerado como hematita hidratada ($2\text{FeOOH} \leftrightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$), designa de modo genérico la oxidación, que en la realidad, es una mezcla compleja de varias fases cristalinas y amorfas de óxidos e hidróxidos y de hierro, cuya estequiometría corresponde aproximadamente a la fórmula global FeOOH. Los tres principales componentes de la oxidación son, respectivamente lepidocrocita (γ - FeOOH), de estructura romboédrica, goetita (α - FeOOH), de estructura también romboédrica y la magnetita (Fe_3O_4), de estructura cúbica.

La composición de la oxidación varía de acuerdo a las condiciones climáticas y de duración de exposición. Ésta varía morfológicamente y químicamente del interior al exterior de la capa:

- La parte exterior es generalmente porosa y disgregada, siendo constituida principalmente de goetita y lepidocrocita.
- La parte interior, adyacente al metal, es, en general, relativamente densa y más adherente, siendo formada por la magnetita y las fases amorfas de FeOOH.

Cuando la superficie del acero es expuesta a la atmósfera, ésta es rápidamente recubierta por una fina capa de productos corrosivos. Esta reacción se lleva a cabo más rápidamente en las superficies más contaminadas por los contaminantes existentes, tales como los iones de clorato.

Inicialmente, el oxígeno contenido en el aire, pasa a través de una película líquida, y es reducido en iones de OH⁻ en la superficie metálica, en cuanto el hierro es oxidado a iones de Fe²⁺, que convierte la solución en electrolito.

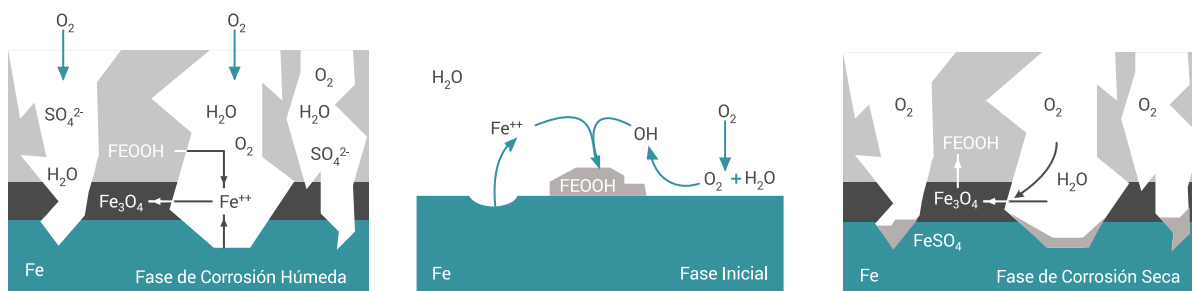
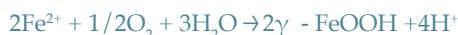


FIGURA 8.- Mecanismo básico de corrosión atmosférica de los aceros al carbono.

Los iones ferrosos en solución reaccionan con los hidroxilos, formando, después una serie de reacciones como γ - FeOOH, según la reacción:



De esta manera, una capa de lepidocrocita se desenvuelve, recubriendo la superficie, disminuyendo los sitios activos donde se presenta oxidación de hierro o ion ferroso. Al mismo tiempo, la difusión del oxígeno está limitada por la capa de lepidocrocita que se formó. Cuando la concentración de oxígeno es pequeña, la lepidocrocita rige, pero a su vez, con los iones de Fe²⁺ en fase acuosa, genera una capa de magnetita según la reacción:



De modo global se tiene:



La oxidación γ - FeOOH se comporta, de esta manera, como un oxidante con respecto al hierro, del mismo modo que el oxígeno.

De acuerdo con la reacción química anterior, la reacción deberá parar cuando toda la oxidación haya sido consumida, sin embargo, la reducción de γ - FeOOH no se presenta cuando el contenido de oxígeno es pequeño.

Durante la fase seca (en donde la película de agua es bastante fina y la concentración de oxígeno es alta), la magnetita reacciona con el oxígeno del aire de acuerdo con:



Así, observamos un fenómeno cíclico entre las fases húmedas y secas, llevando a la transformación de la lepidocrocita en magnetita, con el consumo del metal durante la fase húmeda.

Si los contaminantes como el SO₄²⁻ se encontrarán en la fase acuosa, el consumo del metal se acelerará en la fase húmeda, existiendo la precipitación de FeSO₄ en el fondo de la celda durante la fase seca.

Los ciclos de humedad y secado alternados ejercen, de esta manera, una fuerte influencia en la velocidad media de corrosión del acero.

3.2.1.5 Mecanismo de Corrosión Atmosférica del Acero Patinable

Los aceros de baja aleación y alta resistencia mecánica resistentes a la corrosión atmosférica (conocidos como aceros patinables), son aceros que poseen en su composición ciertos elementos químicos (por ejemplo el cobre), que alterando las características constitucionales y morfológicas de la corrosión formada, propician la formación de una película de óxidos adherentes y protectores llamados de patinado.

El próximo capítulo de este manual trata específicamente esta clase de aceros. La composición y la estructura cristalográfica de la oxidación que se forma sobre los aceros patinables, son similares a las que se forman en los aceros al carbono. En los primeros, todavía, se constata que la presencia en la interface metal/oxidación, de una nueva fase, amorfa, rica en aquellos elementos de aleación entre ellos presentes, el cobre, el fósforo y otros. Es justamente esa capa que, limitando o suprimiendo el agua, el oxígeno y los estimuladores de corrosión

de la superficie metálica, inhibe la disolución de ésta, reduciendo drásticamente la velocidad con la que se procesa la corrosión.

El mecanismo de corrosión atmosférica de los aceros patinables todavía es objeto de intensos estudios en el mundo. Una teoría sobre este proceso que encontró gran aceptación admite que, cuando el acero patinable es expuesto a una atmósfera sulfurosa, los ciclos de humedad y secado alternados a temperaturas relativamente altas (35 – 60°C), el cobre y los otros elementos de aleación constituyentes del acero patinable inhibirán la formación de la magnetita (no protectora), y estimulará, por otro lado, la formación de un óxido amorfo, protector, en la interface metal/oxidación. Esta capa, es muy poco porosa y aísla eficientemente el metal de los componentes agresivos existentes en la atmósfera, como el agua, el oxígeno y los iones exógenos.

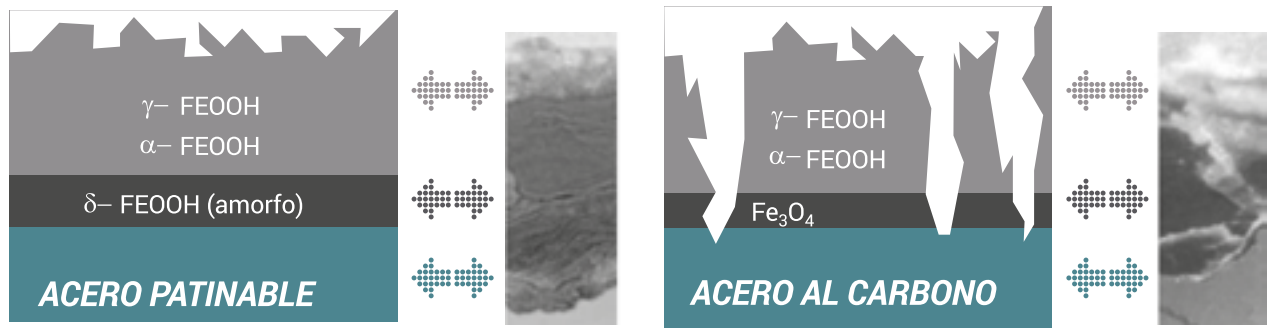


FIGURA 9.- Diferencia en la morfología del óxido formado sobre los aceros estructurales de los aceros patinables.

3.2.2 Corrosión Localizada

Este fenómeno ocurre de diferente forma que la corrosión uniforme, cuando el metal se encuentra expuesto a la presencia de un ambiente que no es homogéneo. Estas diferencias pueden venir de múltiples orígenes, tanto a nivel de material (aleaciones multifacéticas, presencia de inclusiones, defectos localizados en revestimientos protectores, pares bimetálicos, etc.), como al ambiente (variación local de la composición química, grado de acidez “ph” o de temperatura).

3.2.2.1 Corrosión Galvánica

La corrosión galvánica es una de las formas más comunes de ataque en un medio acuoso. Como su propio nombre lo indica, ésta resulta de la formación de una célula, promoviendo un ataque localizado en uno de los componentes.

Las regiones donde se presentan las reacciones anódica (la corrosión metálica), y catódica (reducción del oxidante), son especialmente distintas. Como se menciona anteriormente, esta selección de reacciones es debido a las heterogeneidades existentes en el material, en el medio o en las condiciones físico – químicas de la interface.

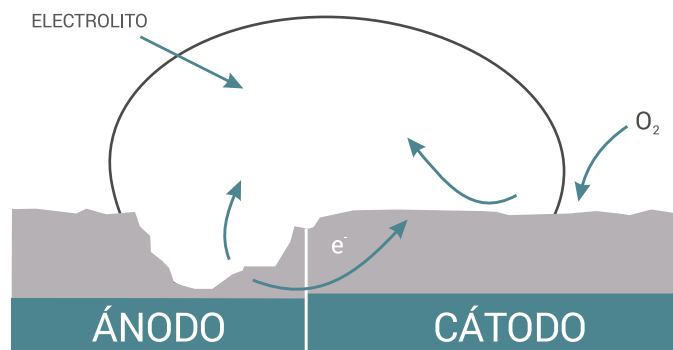


FIGURA 10.- Mecanismo básico de corrosión galvánica.

MATERIAL HETEROGÉNEO

Cada metal o aleación puede ser caracterizada por su potencial de corrosión. Se torna posible, de este modo, establecer lo que se llama de serie galvánica, que fortalece, para un medio considerado, una clasificación de diferentes metales y aleaciones según su potencial de corrosión medido experimentalmente. A partir de estas indicaciones, se torna posible estimar la célula que será creada por el acoplamiento eléctrico de dos metales diferentes. Se observa el aumento en la velocidad de corrosión del metal menos noble (aquella que posee un menor potencial de corrosión), y una disminución de la velocidad de corrosión del metal más noble (el que presenta el mayor potencial de corrosión), en un determinado medio.

Este efecto puede ser utilizado como ventajas en la protección de un metal o aleación frente a la corrosión, y es conocido como protección catódica: el material que tiene predominancia de reacción anódica

(el ánodo de sacrificio), acaba protegiendo el resto de la estructura, que pasa a ser, preponderantemente, cátodo. Este fenómeno tiene su razón de ser en lo que conocemos como galvanización, que su objetivo es proteger el acero con zinc. Es necesario, distinguir la protección catódica, donde el revestimiento hace el papel de ánodo de sacrificio, de los casos donde el revestimiento es más noble que el material a proteger (como ejemplo tenemos el niquelado o el encobrado de acero). En el primer caso, la cantidad de revestimiento (es decir, el espesor), es la que termina siendo el factor primordial de protección, en cuanto que, en el segundo caso lo que es primordial es la calidad de revestimiento. La corrosión debida al acoplamiento galvánico de dos materiales dependerá de muchos parámetros, tales como la composición de aleaciones, presencia de productos de corrosión, ph y agitación del electrolito, y muy importante, la relación de áreas ánodo/cátodo.

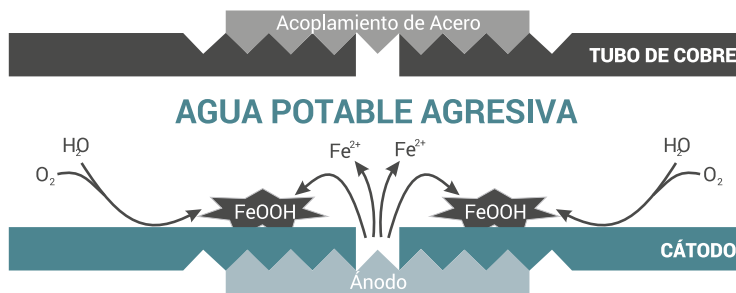


FIGURA 11.- Corrosión galvánica: acero al carbono x cobre.

MEDIO HETEROGÉNEO

El potencial de corrosión es un compromiso que resulta del balanceo entre la reacción de oxidación del metal y la reacción de reducción del oxidante contenido en el electrolito. Cualquier variación local de composición de este último podrá propiciar el surgimiento de la corrosión galvánica. Este es el caso del ataque conocido como célula de aireación diferencial.

Cuando el acero al carbono es colocado en un electrolito neutro (por ejemplo la sal NaCl), se puede observar el ataque poco intenso en las regiones poco aireadas y la reducción catódica en las regiones aireadas. El ph de las regiones aireadas (áreas catódicas), se torna más

alto debido a la reducción del oxígeno, envolviendo la formación de iones de hidroxilo (el que contribuye para pacificar de manera local el material). Si el material es pacificable, la corrosión de las regiones menos ventiladas se puede tornar mucho mayor que las regiones ventiladas. La corrosión por aireación diferencial es la responsable, por ejemplo, por el ataque debajo de la línea de agua de barcos y en estructuras enterradas en el suelo donde la permeabilidad del oxígeno es desigual. En el caso de materiales que no desarrollan una película pasiva, la corrosión de la región menos ventilada no será superior de la que se observa en la región más ventilada.

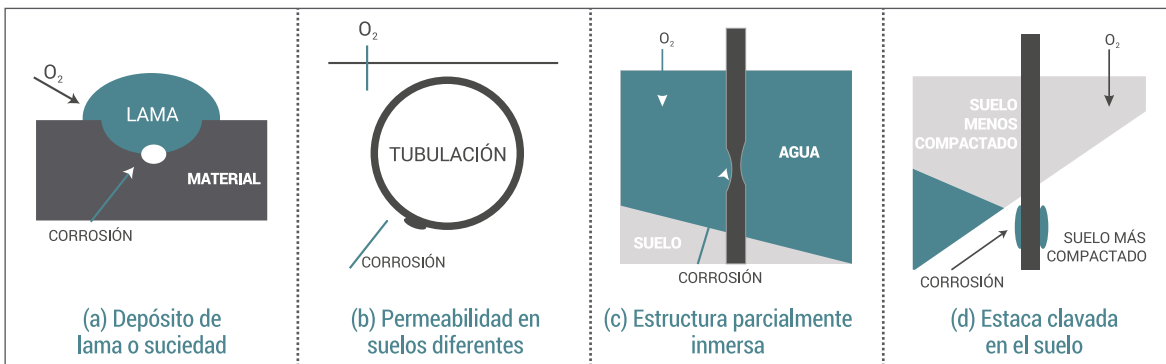


FIGURA 12.- Ejemplos de aireación diferencial.

3.2.3. Corrosión por Picaduras

Esta forma de corrosión se caracteriza por un ataque localizado que está generalmente asociado a la fractura local de una película pasiva que ocurre muchas veces en la presencia de cloratos y de la pasificación incompleta (por ejemplo la utilización de cantidades insuficientes del inhibidor de corrosión). La cantidad de metal perdido por esta forma de ataque es muy pequeño, sin embargo puede ocasionar una perforación rápida de las piezas afectadas. La corrosión por picaduras es un fenómeno bastante frecuente, que afecta los aceros al carbono, aceros inoxidable, aleaciones de níquel, de titanio, de aluminio o de cobre.

Podemos distinguir dos etapas distintas en el proceso de generación de crecimiento de picaduras: **la iniciación, donde ocurre la quiebra localizada de la capa pasiva y el desarrollo de la picadura.**

Existen varios mecanismos que tratan de explicar la iniciación de una picadura, en particular solo son tres las que han sido bien aceptadas.

- **Mecanismo de fractura de la película.** Este mecanismo presupone la existencia de fisuras de origen mecánico en la capa pasiva, que permiten el acceso a la superficie de los iones agresivos (en particular los halógenos), que tiene la tendencia a formar complejos con los iones metálicos.

- **Mecanismo de penetración.** Supone la transferencia de los iones agresivos a través de la película pasiva, ante la interface del metal-óxido. Este proceso puede ser concebido en presencia de películas pasivas muy desordenadas, que no presentan epitaxia en presencia de un campo eléctrico elevado.
- **Mecanismo de absorción.** Comienza con la formación en la superficie, de complejos que son transferidos al medio más rápidamente que los iones de Fe^{3+} no complejados. Ocurrirá en tanto, un afinamiento local de la capa pasiva, antes que ocurra su destrucción, formando una picadura.

El crecimiento de la picadura ocurre entonces, cuando la película pasiva es destruida localmente, generando una enorme densidad de corriente localizada que acumula productos de corrosión y halógenos que, catalíticamente, producen un aumento en la disolución del óxido. La repacificación no podrá ocurrir en estas condiciones, existiendo la precipitación de una película salina. La hidrólisis de los iones metálicos lleva a la acidificación dentro de la picadura, estimulando todavía más el proceso.

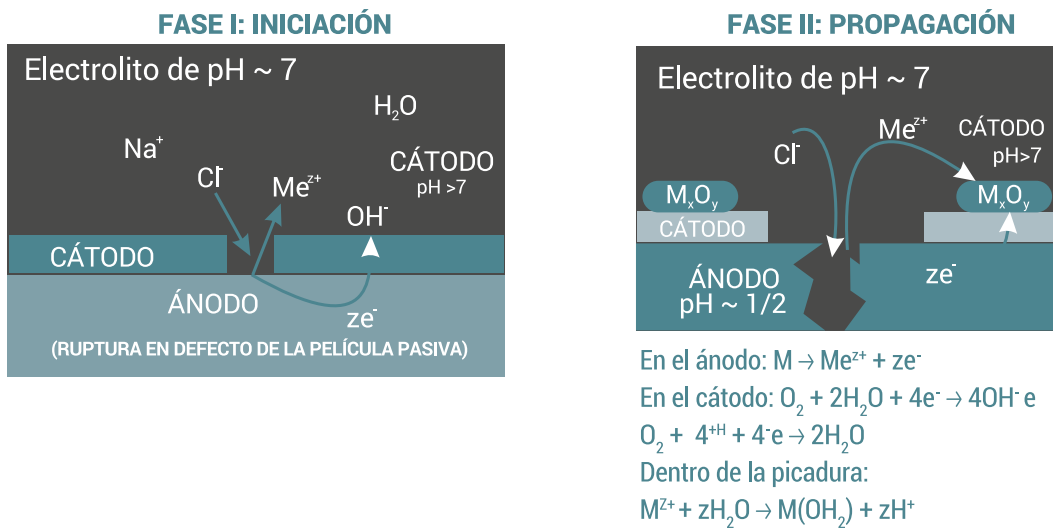


FIGURA 13.- Mecanismo básico de corrosión por picaduras.

3.2.4 Corrosión por Grietas

Este tipo de corrosión presenta grandes analogías con la corrosión por picaduras descrita anteriormente. De la misma manera, se dice respecto a todas las aleaciones que presentan pasivación completa o incompleta (aceros al carbono, inoxidable, aluminio, titanio, etc.), utilizadas en medios ventilados o que contengan un oxidante y, generalmente, en presencia de halógenos (por ejemplo los cloratos). El ataque ocurre en regiones confinadas de pequeño volumen y donde el medio presenta estancamiento, tales como, los intersticios existentes entre dos placas remachadas o atornilladas, regiones sobre juntas, etc.

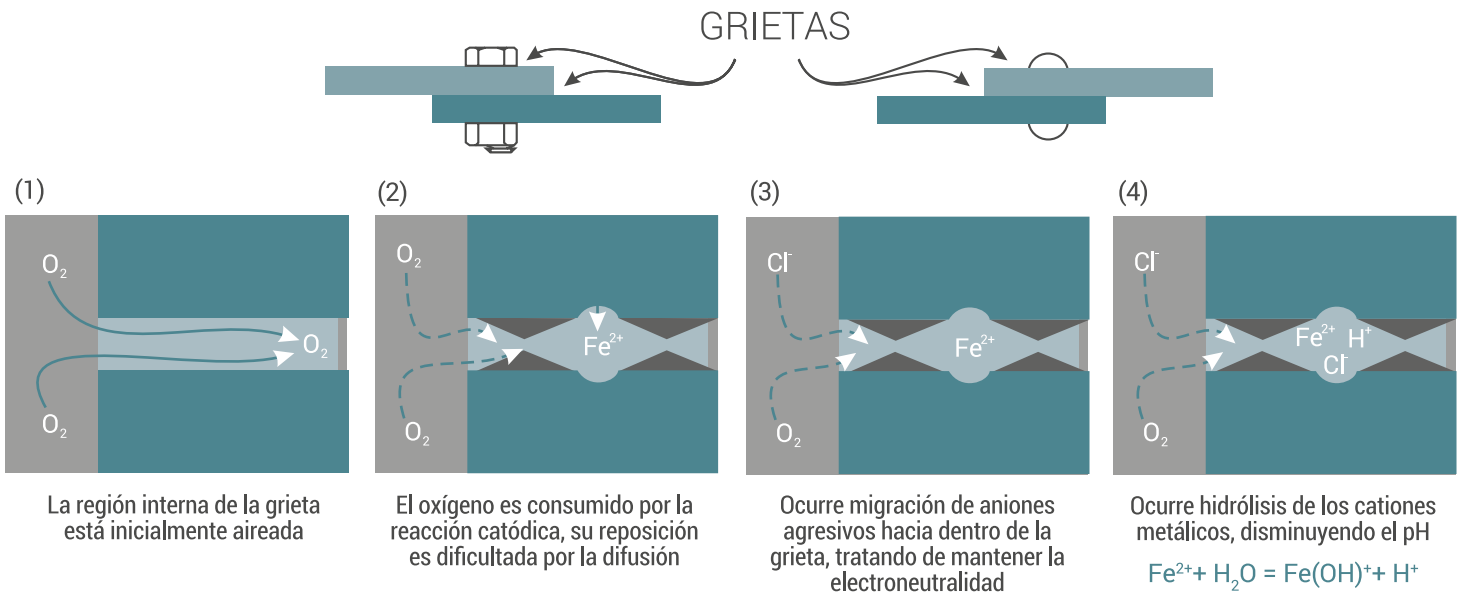
El mecanismo de ataque está relacionado a la alteración localizada del medio confinado.

- En la primera etapa llamada de iniciación, ocurre el consumo del agente oxidante dentro de la grieta a través de la reacción catódica. La renovación del agente oxidante depende de la difusión del agente en un medio confinado, o que torna su reposición limitada. La reacción anódica continúa por los electrones generados en esta región y son consumidos en el proceso catódico que ocurre del lado ventilado de la grieta. De este modo, ocurre un cúmulo de productos de corrosión sobre la formación de cationes metálicos dentro de la región confinada de la grieta. Esta etapa ocurre ocasionando un daño aparente en la estructura.

- Se observa, en un período posterior, la migración de aniones (por ejemplo los cloratos), dentro de la grieta, para que la neutralidad eléctrica sea contenida. En este momento, tenemos un fenómeno comparable al descrito en la picadura, como la ruptura de la pasivación por complejación y aumento catalítico de la disolución de los óxidos.
- Así mismo, como en la corrosión por picaduras, la hidrólisis de los cationes metálicos provoca una caída local de pH, este aumento de acidez en conjunto con el enriquecimiento de aniones (que migran para mantener una electroneutralidad), impide la contención de la pasivación. De este modo, el material se corroe de una manera muy intensa dentro de la grieta.

El efecto de acoplamiento galvánico puede ser superior, en muchas situaciones prácticas, a esta forma de ataque.

El mecanismo de corrosión puede todavía, no producir iones solubles, sin embargo, un óxido voluminoso, que presenta un volumen mucho mayor que el del metal donde se originó, es el que puede provocar una fractura local seguida de una deformación plástica (por ejemplo en el rompimiento de barrenos en las conexiones atornilladas).



La acción simultánea de los bajos pH y los aniones que migran hacia dentro de la grieta crean un ambiente restricto muy agresivo, que impide la repasivación localizada.



4. ACEROS PATINABLES

Todos los aceros contienen pequeñas cantidades de elementos de aleación, tales como carbono, manganeso, silicio, fósforo y azufre, y es porque éstos se integran con el hierro, ya que fueron deliberadamente añadidos para otorgarle determinadas propiedades. De manera general las adiciones de estos elementos son pequeñas y se encuentran entre el 0.5 y 0.7% de la masa total del metal proporcionando que tales elementos no tienen ningún efecto apreciable sobre la resistencia a la corrosión atmosférica. Las pequeñas variaciones que inevitablemente ocurren durante el proceso de fabricación del metal tampoco afectan significativamente sus características.

Sin embargo, existen excepciones, se sabe que hace más de 80 años, por ejemplo se añadían pequeñas cantidades de cobre, fósforo y otros elementos que son benéficos para los aceros, reduciendo la velocidad en que son corroídos cuando están expuestos a la intemperie. Pero el gran estímulo para el empleo de aceros enriquecidos con esos elementos llamados aceros de baja aleación y alta resistencia, que son resistentes a la corrosión atmosférica fue otorgado por una empresa norteamericana United States Steel Corporation que, a principios de 1930 desarrolló un acero cuyo nombre comercial era Cor-Ten.

El acero Cor-Ten fue desarrollado originalmente para la industria ferroviaria, y su gran virtud aparente era el de construir vagones más ligeros. La propiedad de resistir la corrosión fue alcanzada por casualidad, aunque desde finales del siglo XIX ya se conocía la influencia benéfica del cobre y del fósforo.

Desde el lanzamiento de Cor-Ten hasta nuestros días, se desarrollan otros aceros con comportamientos semejantes, que constituyen la familia de aceros conocidos como patinables o patinados. Nombrados en diversas normas tales como las brasileñas NBR y las americanas ASTM, las cuales especifican límites de composición química y propiedades mecánicas, estos aceros han sido utilizados en el mundo sobretodo en la construcción de puentes, viaductos, edificios, silos, torres de transmisión de energía, etc.

Su gran ventaja, además de prescindir de la pintura en ciertos ambientes, es que poseen una resistencia mecánica mayor que los aceros comunes. En ambientes extremadamente agresivos, como las regiones que presentan gran contaminación por dióxido de azufre o aquellas que están próximas a la costa marina, la pintura les proporciona una mayor protección que la que les concede a los aceros comunes.

4.1 DESEMPEÑO DE ACEROS PATINABLES

Lo que distingue al nuevo producto de los aceros comunes, en términos de resistencia a la corrosión, es el hecho de que en ciertas condiciones ambientales de exposición, éste puede desarrollar en su superficie una película de óxido adherente y protector, llamado patinado, que actúa reduciendo la velocidad de ataque de agentes corrosivos presentes en el medio ambiente. Durante los primeros

años de exposición a la atmósfera, existe una pérdida de peso en los materiales por unidad de superficie y crece en función al tiempo de exposición de acuerdo con la expresión $\Delta\mu = \kappa \cdot \tau^{1-\nu}$, donde $\Delta\mu$ es la pérdida de masa por unidad de superficie (mg/cm^2), κ y ν son constantes y τ , es el tiempo transcurrido en meses.

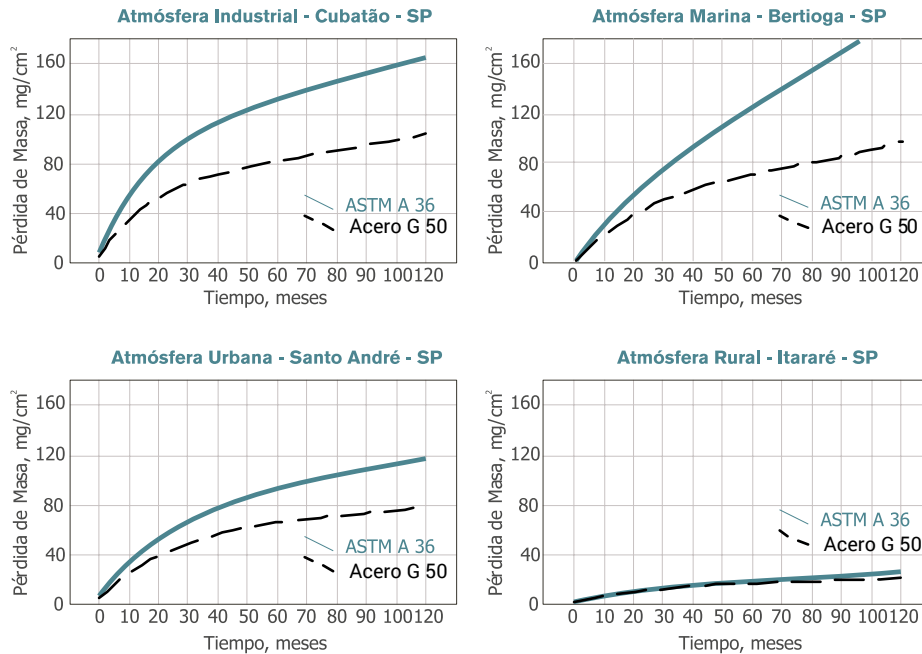


FIGURA 15.- Desempeño del Acero Patinable en algunas ciudades de Brasil.

4.2 ¿DE QUÉ DEPENDE LA FORMACIÓN DEL PATINADO?

La formación del patinado depende de tres tipos de factores, los primeros a destacar están ligados a la composición química del propio acero. Los principales elementos de aleación que contribuyen al aumento de la resistencia a la corrosión atmosférica, favoreciendo la formación del patinado son el cobre y el fósforo (el cromo, el níquel y el silicio, también ejercen efectos secundarios). Sin embargo, cabe mencionar que el fósforo debe mantenerse en bajos niveles (menores que 0.1%), aún y cuando el acero pierde determinadas propiedades mecánicas y su soldabilidad.

En segundo lugar vemos factores ambientales, entre los cuales sobresalen la presencia del dióxido de azufre y de clorato de sodio en la atmósfera, la temperatura, la fuerza, dirección, velocidad y frecuencia del viento, los ciclos de humedad y secado, etc. En cuanto a la presencia de dióxido de azufre, hasta ciertos límites favorece al desarrollo del patinado, caso contrario al clorato de sodio en suspensión en el medio ambiente marítimo, perjudica sus propiedades protectoras. No se recomienda la utilización de aceros patinados 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 medio ambiente marino donde la tasa de disposición de cloratos excede los $300 \text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$.

Los vientos que transportan agentes agresivos hasta la ubicación del metal, tienen un importante efecto en los ciclos de humedad y secado: tales ciclos son considerados esenciales en el desarrollo de la película protectora.

Finalmente, hay factores ligados a la geometría de la pieza, que explican por qué las diferentes estructuras del mismo acero dispuestas de lado a lado pueden ser atacadas de manera distinta. Este fenómeno es atribuido a la influencia de secciones abiertas/fachadas, incorrectos drenajes de agua de lluvia y otros factores que actúan directamente a los ciclos de humedad y secado. En zonas específicas, tales como juntas de expansión, articulaciones y zonas expuestas tienen un comportamiento crítico con corrosión, como ocurre con los aceros al carbono tradicionales.

Los elementos de conexión (placas, tornillos, tuercas, arandelas, remaches y cordones de soldadura, etc.), deben presentar no solo resistencia mecánica compatible con el acero patinado, sino también compatibilidad con la composición química, para evitar el desarrollo de corrosión galvánica.



4.3 CONDICIONES PARA FORMAR EL PATINADO PROTECTOR

De acuerdo a lo anterior, la formación del patinado protector, está en función de varios factores tales como los parámetros climáticos a niveles de contaminación local donde la estructura está expuesta, del grado de un determinado componente estructural y de la composición química del acero. De modo general, la velocidad de la corrosión de los aceros patinados se estabiliza en la mayor parte de su superficie después de 3 ó 4 años de exposición.

Una condición importante para la formación del patinado protector es la existencia de periodos de humedad y secado alternados. En áreas cubiertas de la lluvia, no se logra un patinado color marrón oscuro en la superficie; se logra una capa de óxido marrón amarillo que le da menos protección que una capa bien formada pero más delgada y adherente que la que se forma en los aceros al carbono comunes en las mismas condiciones. Cuando mencionamos a los aceros al carbono nos referimos a los aceros al carbono estructurales de alta resistencia (ASTM A 992), equivalentes en resistencia mecánica a los aceros patinados, usados para la misma finalidad.

En exposiciones internas, no se aprecia la diferencia sistemática entre los aceros patinados y los aceros al carbono estructurales comunes. Las bajas velocidades de corrosión observadas en ensayos comparativos entre aceros patinados y aceros al carbono estructurales comunes, son debidas a la baja corrosividad del medio y no debido a la composición química que diferencia estos aceros. En áreas rurales la velocidad de corrosión también es pequeña para

los dos aceros y el periodo necesario para el desarrollo del patinado protector con buena apariencia, puede ser muy largo.

En áreas urbanas donde los niveles de dióxido de azufre no exceden los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los aceros patinados presentan, muchas veces, velocidades de corrosión muy estables, en valores mucho más próximos de aquellos observados que cuando están expuestos al medio ambiente rural. En esta condición, los aceros al carbono estructurales presentan velocidades de corrosión significativamente mayores que las observadas para los aceros patinados. En áreas industriales más contaminadas con dióxidos de azufre (esto es en regiones con contenidos mayores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), podemos observar velocidades de corrosión significativamente mayores para los aceros patinados, indicando que la película formada ya no es protectora. Aunque la superficie pueda tener una apariencia agradable, marrón oscura, semejante a la que se forma en los aceros patinados, se puede considerar que no es un patinado verdadero, ya que no aísla de modo eficiente al metal del medio.

Los medios ambientes marítimos son considerados críticos para el buen desarrollo del patinado protector. El patinado no se desarrolla plenamente en ambientes marinos agresivos, donde la velocidad de corrosión puede ser bastante alta.

Esto es especialmente válido cuando la estructura se encuentra cerca de la playa y también para superficies protegidas de la lluvia, donde la acumulación de cloratos (que nunca son lavados por la lluvia), acaba promoviendo un gran ataque. La experiencia práctica

en Suecia, muestra que a partir de 1 km de la playa, los cloratos ya no afectan de modo significativo a la formación del patinado.

Bajo condiciones de largos tiempo de exposición a la humedad (o humedad permanente), como una exposición al suelo o al agua, la velocidad de corrosión de los aceros patinados es aproximadamente la misma que para los aceros al carbono estructurales.

Como regla general, los aceros patinables se utilizan en su manera natural, es decir, sin pintura, en ambientes que propicien la aparición del patinado protector. Existen excepciones en las que por motivos estéticos, el acero no puede presentar cierto aspecto deseado o algunas condiciones en las que el acero no puede desarrollar patinado, como ya se ha visto anteriormente.

El desempeño del acero patinado pintado con cierto sistema de pintura, normalmente es superior cuando el mismo sistema es aplicado sobre los aceros al carbono estructurales, desde que el medio promueve la formación del patinado. En estas condiciones la durabilidad del sistema normalmente es superior a la suma de las durabilidades proporcionadas aisladamente por la protección del revestimiento y por la naturaleza del material, es decir, la sinergia de los mecanismos.

Los aceros patinados necesitan de pintura (u otra forma de protección), en ambientes donde el patinado protector no puede formarse en plenitud, tales como:

Medio ambiente

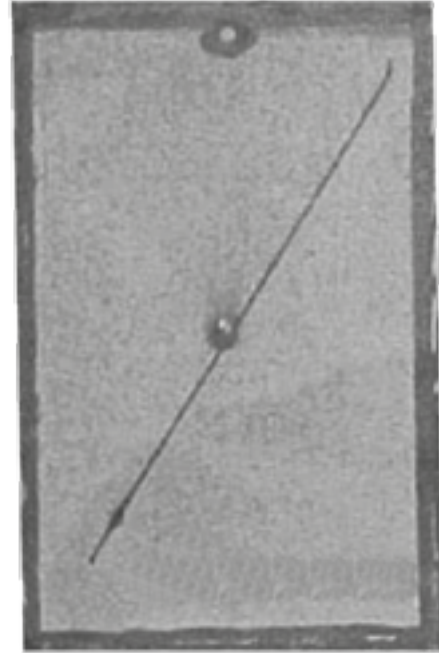
Contenido de gases corrosivos, como, por ejemplo, en áreas industriales con disposición de grandes cantidades de dióxido de azufre, clorato de amoníaco, ácido clorhídrico, etc.

Localidades sujetos a la salinidad

En medios ambientes altamente contaminadas con cloruros, en especial regiones mucho más cercanas al oleaje, o incluso regiones cubiertas, en las que el efecto del lavado por las lluvias provocó que no se asiente (como consecuencia de la acumulación de cloruros), el patinado formado no tiene características protectoras, se recomienda la pintura en toda la estructura realizada con acero patinado, a partir de que éste se encuentre a 1 km de la ola marina. En estos casos, la preparación para la pintura de la superficie será el mismo utilizado en los aceros al carbono estructurales, ya que el patinado protector no puede desarrollarse de manera adecuada en estas condiciones.

Aplicaciones donde el acero permanece continuamente sumergido en agua o enterrado en el suelo, tales como tuberías de agua.

Aplicaciones donde el acero está en contacto directo con maderas o materiales porosos, que pueden retener la humedad permanente en contacto con un metal.



ASTM A 242



ASTM A 36

FIGURA 16.- Comportamiento de un acero al carbono estructural y un acero patinable, expuestos a una atmósfera industrial.



5. ¿CÓMO PREVENIR LA CORROSIÓN?

5.1 LA CORROSIÓN COMIENZA EN LA ETAPA DEL PROYECTO

Los Ingenieros y Arquitectos buscan como principal objetivo proporcionarle a la obra un proyecto adecuado con respecto a su función, fabricación y resistencia mecánica. Muchas de las construcciones tienen ubicaciones en ambientes muy agresivos, lo que nos obliga a poner mucha atención a las medidas de protección. El costo del control de la corrosión dependerá del proyecto y el ingeniero deberá incluir estos aspectos en su diseño.

De manera general, es muy difícil proteger la estructura metálica ante las inclemencias del tiempo, ya sea por un método u otro, si no es proyectado adecuadamente, la corrosión se hará presente mucho más rápido de lo planeado.

Una construcción económica es la que presenta los menores gastos a lo largo de su vida útil. Costos de mantenimiento, principalmente la pintura, constituyen un valor importante en el costo total de la obra, así mismo esto no indica que la construcción más barata en un principio será la más económica.


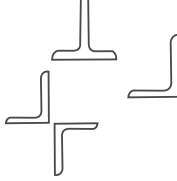
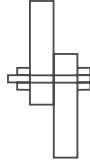

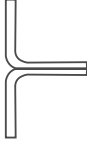

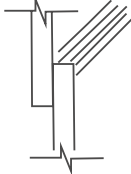
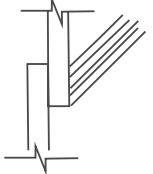
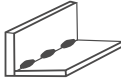

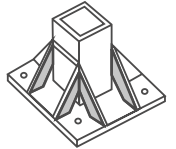
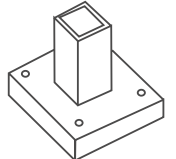
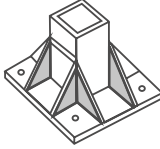
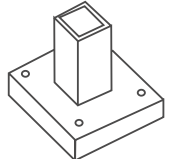
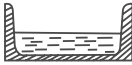

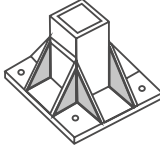
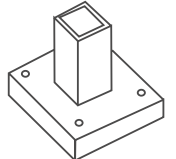
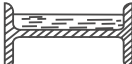
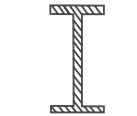
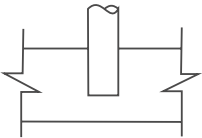
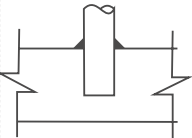
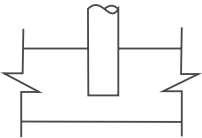
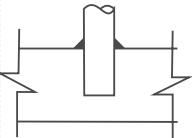


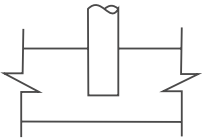
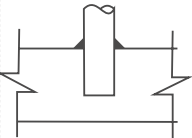
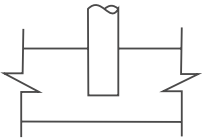
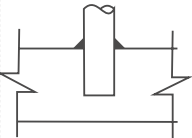


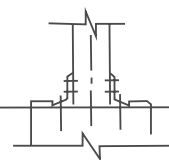
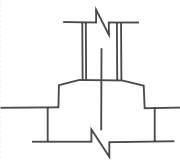
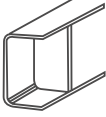
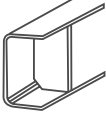
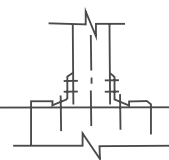
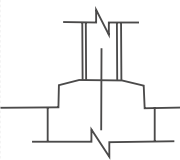
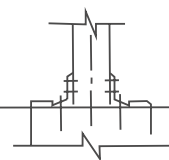
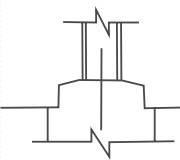
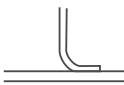
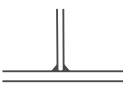
5.1.1 Formas Simples

Entre más simple sea la forma de la construcción, refiriéndonos al proyecto arquitectónico, mejores serán los resultados para la elección de una buena protección contra la corrosión. Uno de los factores más importantes en la proyección del control contra la corrosión es el de evitar grietas, en donde se puede llegar a acumular los depósitos de los solventes y la humedad. Cualquier región donde dos superficies estén muy cerca se considera que es una grieta. Varias situaciones de este tipo deben ser analizadas: tornillos, remaches, ángulos, soldaduras irregulares, brotes de soldadura, discontinuidades, etc.

5.1.2 Evite Humedad Residual

Como ya hemos estado estudiando, la corrosión no puede existir en ausencia de la humedad, es por eso que el ingeniero deberá garantizar que la construcción quede aislada de la humedad tanto como sea posible. Los perfiles deben estar colocados de tal manera que la humedad no se filtre y permita que la pintura se integre de manera adecuada para su mejor mantenimiento.

Evite la creación de cavidades; juntas atornilladas son preferibles a las soldadas de campo, que necesitan más control y pruebas. Se deben generar las condiciones para que una vez que la humedad se deposite, se pueda secar.

PROBLEMA	SOLUCIÓN TÍPICA	PROBLEMA	SOLUCIÓN TÍPICA
LA HUMEDAD Y LA SUCIEDAD PUEDEN ACUMULARSE EN LA GRIETA	UTILIZAR PERFLU T OTRA GEOMETRÍA	LA HUMEDAD PENETRA EN LA GRIETA	USAR CORDÓN DE SOLDADURA COMO SELLADOR
			
CORROSIÓN POTENCIAL (GRIETA)	ELIMINAR LA GRIETA CON SOLDADURA O SELLADOR (EPOXICO O POLIURETANO)	CONDICIÓN DESFAVORABLE	CONDICIÓN FAVORABLE
			
SOLDADURA DE FILETE DISCONTINUA	ESCUADRAS REDONDEADAS Y SOLDADURA CONTINUA	ACUMULACIÓN DE AGUA Y SUCIEDAD EN CARTABONES	ELIMINAR LA ACUMULACIÓN DE AGUA
			
CUIDADO CON LA ACUMULACIÓN DE AGUA Y SUCIEDAD	GENERAR POSICIONES QUE EVITEN LA ACUMULACIÓN DE AGUA Y SUCIEDAD		
			
		LA HUMEDAD Y LA SUCIEDAD SE PUEDEN ACUMULAR EN LA UNIÓN	USE SELLADOR PARA EVITAR LA FILTRACIÓN DE AGUA
		AGUA CONTENIDA	AGUA NO RETENIDA
			
		SOLDAR UN LADO CREA GRIETA	SOLDAR EN TODA LA JUNTA
			
PLACA BASE Y ANCLAJE POR DEBAJO DEL NIVEL DEL SUELO RETIENEN AGUA	PLACA BASE ARRIBA DEL SUELO CON DADO DE CONCRETO PERMITE LA PROTECCIÓN Y DREN DEL AGUA	LOS ATIEZADORES IMPIDEN EL DREN DEL AGUA	DEJAR DRENAJE PARA EL AGUA
			
		CREACIÓN DE GRIETA	ELIMINACIÓN DE GRIETA
			



5.2 CORROSIÓN POR GRIETAS

La corrosión por grietas se puede establecer con la existencia de una grieta que pueda transportar el agua u otro líquido o depósitos de sólidos como barro o lodo. Las juntas deben ser colocadas de modo que propicien líneas limpias continuas. Las juntas soldadas se prefieren en lugar de las atornilladas o las remachadas. Soldaduras bien hechas, con buena penetración, ayudan a evitar porosidades y desarrollo de grietas, que muchas veces se originan en la soldadura intermitente, soldaduras en bruto y salpicaduras. Las lijaduras en bordes, soldaduras y salpicaduras ayudan a prevenir las grietas.

Cualquier punto donde dos superficies están separadas por una pequeña distancia es una celda de corrosión potencial. La humedad entra en la grieta en muchos casos, por ascenso capilar. Donde el líquido está en contacto con el aire, el oxígeno consumido en el proceso de corrosión es rápidamente repuesto, pero en el fondo de la grieta, habrá menos agua que oxígeno. El oxígeno del exterior debe difundirse a través de un electrolito para llegar al fondo de la grieta.

5.3 CORROSIÓN GALVÁNICA

Evite todos los pares bimetálicos posibles. No es verdad decir que al juntar dos metales a una distancia de la serie galvánica provocará problemas de corrosión. Existen muchos ejemplos de metales conectados eléctricamente que nunca presentan problemas. La corrosión solamente ocurrirá en una celda galvánica que esté formada, es decir, si dos metales están situados a una distancia en serie galvánica y conectados eléctricamente están inmersos en un mismo electrolito.

Los efectos galvánicos se presentan cuando una diferencia de potencial medida entre dos metales inmersos en un mismo electrolito particular supera los 0.05 V.

Un medio común se debe prevenir de corrosión galvánica entre dos metales utilizando un aislante térmico. Dentro de los muchos compuestos orgánicos existentes en el mercado algunos resisten altas presiones de contacto exigidas en muchas situaciones. Es importante recalcar que el material aislante no debe ser poroso, ya que éste podría absorber agua y podría provocar el desarrollo de la corrosión por grietas. La utilización de juntas coladas ayuda mucho a la prevención de la corrosión galvánica impidiendo el ingreso de electrolitos. A veces es conveniente introducir una pieza intermedia que puede ser fácilmente sustituida por uno que tenga un potencial intermedio. Un ejemplo de esta situación es el uso de rondanas galvanizadas entre tornillos de acero, conectando placas de aluminio.

Otra solución posible es la utilización de pintura. Se recomienda pintar los elementos principales y los secundarios incluso galvanizados; la pintura del miembro secundario puede agravar la situación, porque puede conducir a un ataque intenso de las picaduras de los poros de la capa.

Tornillos de acero galvanizado unidos a estructuras de aceros patinados

Esta es una solución utilizada frecuentemente. Los aceros patinados, tienen en su composición, elementos químicos tales como cobre, níquel o cromo, que le ofrecen mayor resistencia ante la corrosión atmosférica. Los tornillos utilizados para la unión de estos materiales deben, obligatoriamente, poseer composición química parecida a la de los aceros patinados, de lo contrario pone en riesgo la aparición de corrosión galvánica. Los tornillos de acero al carbono galvanizados también han sido utilizados algunas veces en sustitución a los de acero patinado (ASTM A325 Tipo 3 Grado A).

El galvanizado, siendo más anódico que los aceros al carbono, protegerá la estructura (de los propios tornillos), en cuanto esté presente. Sin embargo, los aceros patinados usados en estructuras, son más catódicos que los aceros al carbono comunes, normalmente para promover un rápido deterioro en la capa del galvanizado del tornillo.

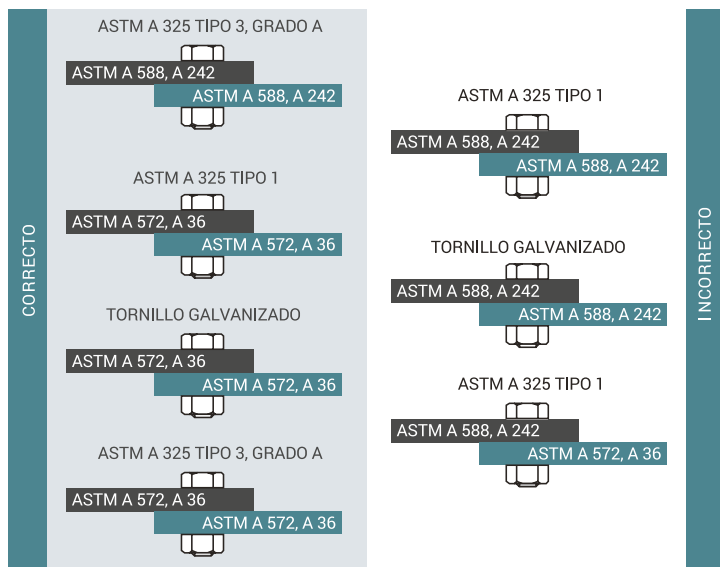


FIGURA 17.- Prácticas correctas e incorrectas de uniones atornilladas.

Aceros inoxidables acoplados con aceros al carbono

Hemos estudiado la serie galvánica que ilustra el comportamiento de algunos metales en conexiones inmersos en agua de mar. Entre más distantes en serie, más rápido será la corrosión del elemento anódico, es decir, el metal tiende a corroerse de modo acelerado cuando está conectado a un metal más catódico que él, en serie galvánica. Por ejemplo, un acero al carbono se corroe más rápido en un medio dado, cuando está conectado a un acero inoxidable.

Aceros inoxidables en condiciones activas y pasivas

Varios tipos de aceros inoxidables aparecen con un lado anódico de la serie galvánica cuando están en condición "activa" y del lado catódico cuando está en condición "pasiva". La resistencia a la corrosión de un acero inoxidable está relacionada a su habilidad de desenvolver una película de óxido pasiva en presencia de oxígeno o varias sustancias oxidantes tales como el ácido sulfúrico. Si la película

de óxido se destruye, el acero inoxidable estará sujeto a corrosión acelerada (condición activa), en presencia de ácidos no oxigenados, como el HCl (ácido clorhídrico). Así mismo, la aplicación correcta de un tipo específico de acero inoxidable, debe incluir la información de qué nivel de oxidación atmosférica dejará al acero en condición activa o pasiva.

Los aceros inoxidables, particularmente de la serie 300, están sujetos a un efecto causado por el tratamiento térmico conocido como sensibilización, que puede ocurrir durante la soldadura y alivio de tensiones normalmente efectuada entre 427°C y 760°C. Durante el soldado, estos aceros inoxidables pueden formar carbonatos de cromo, próximos a los contornos del grano, llevando a un empobrecimiento de contenido de cromo de las regiones cercanas al carbono. Las regiones empobrecidas de cromo, no pueden formar la capa de óxido que le confiere la resistencia a la corrosión (capa superficial). La región de contorno de granos se vuelve susceptible a la corrosión intergranular. Los aceros inoxidables sensibilizados, pueden deteriorarse en suelos o aguas ácidas. Este tipo de ataque puede ser prevenido a través de tratamiento de resolubilización de los carbonatos y repasisación después de la soldadura.

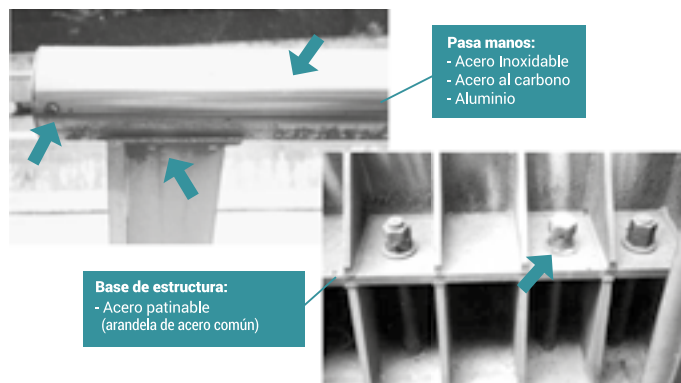


FIGURA 18.- Evite la unión de materiales diferentes.

Evite juntar materiales diferentes

Para prevenir la corrosión es importante la homogeneidad del material. Hay cuatro métodos para evitar la oxidación del acero:

- 1) Mediante aleaciones del hierro que lo convierten en químicamente resistente a la corrosión, es el más satisfactorio pero también el más caro. Un buen ejemplo de ello es el acero inoxidable, una aleación de hierro con cromo o con níquel y cromo. Esta aleación está totalmente a prueba de oxidación e incluso resiste la acción de productos químicos corrosivos como el ácido nítrico concentrado y caliente.
- 2) Amalgamándolo con materiales que reaccionen a las sustancias corrosivas más fácilmente que el acero, quedando éste protegido al consumirse aquellas. Es igualmente satisfactorio pero también costoso. El ejemplo más frecuente es el acero galvanizado que consiste en acero cubierto con zinc. En presencia de soluciones corrosivas se establece un potencial eléctrico entre el hierro y el zinc, que disuelve éste y protege al acero mientras dure el zinc.



- 3) Recubriéndolo electrolíticamente con una capa impermeable que impida el contacto con el aire y el agua, es el más barato y por ello el más común. Este método es válido mientras no aparezcan grietas en la capa exterior, en cuyo caso la oxidación se produce como si no existiera dicha capa. Si la capa protectora es un metal inactivo, como el cromo o el estaño, se establece un potencial eléctrico que protege la capa, pero que provoca la oxidación acelerada del hierro.
- 4) Pinturas, los recubrimientos más apreciados son los esmaltes horneados, y los menos costosos son las pinturas de minio de plomo.

Áreas desfavorables

La velocidad de corrosión resultante de la acción galvánica dependerá, frecuentemente, de las áreas relativas expuestas de dos metales. Por ejemplo, el zinc corroerá cuando está conectado al acero al carbono, volviéndose ánodo de la celda galvánica. Este es el principio de galvanización y de las pinturas ricas en zinc de protección de acero al carbono. Pequeñas áreas anódicas, en combinación con grandes áreas catódicas deben ser evitadas siempre que sea posible. Una pequeña área de zinc, corroerá rápidamente cuando se acopla a una gran área de acero al carbono, aunque el acero reciba poca protección.

La protección de metales menos resistentes, dejando los más resistentes no protegidos no es una acción recomendada. Una inadecuada aplicación de recubrimiento puede reducir en mucho, la vida útil del metal, pues los defectos existentes en la capa superficial, promoverá una disolución acelerada del metal menos noble resultante de la acción galvánica.

Aislamiento de metales diferentes

El ataque galvánico puede ser prevenido a través de la utilización, cuando es posible, de aislantes eléctricos, de modo que se pueda prevenir el contacto eléctrico entre ambas partes. El metal más resistente puede ser aislado del menor, por el uso de arandelas plásticas, fijas con adhesivos especiales, etc. Cerámicas u otros materiales de aislamiento también pueden ser empleados con esa finalidad.

Conexión de materiales nuevos y antiguos

La corrosión galvánica no está limitada a aquellas celdas formadas por materiales totalmente diferentes en contacto eléctrico en un mismo electrolito. La diferencia de composición, o de condiciones superficiales de metales "similares" puede resultar, frecuentemente, en celdas galvánicas. Por ejemplo, un acero al carbono de superficie limpia y típicamente anódico en relación con un acero al carbono oxidado.

5.4 CORROSIÓN POR AIREACIÓN DIFERENCIAL

La corrosión bimetalica es bastante común y destructiva, pero las celdas de aireación diferencial, causadas por diferencias en el nivel de oxigenación del electrolito son todavía más comúnmente observadas y causan estragos todavía mayores.

Una celda de aireación diferencial puede ser desevuelta en cualquier situación donde el agua está en contacto con una superficie. Así que, debe tenerse cuidado para prevenir el ingreso de agua en áreas donde puede ser retenida por largos periodos. Las grietas potenciales causadas por diferencias en el nivel de oxigenación del electrolito son todavía más comúnmente observadas y causan estragos todavía mayores.

Una celda de aireación diferencial puede ser desevuelta en cualquier situación donde el agua está en contacto con una superficie. Así que, debe tenerse cuidado para prevenir el ingreso de agua en áreas donde puede ser retenida por largos periodos. Las grietas potenciales deben ser protegidas con selladores; los componentes deben, habitualmente, poseer agujeros de drenaje. Permitir la ventilación de todo el conjunto para que el agua se pueda evaporar.

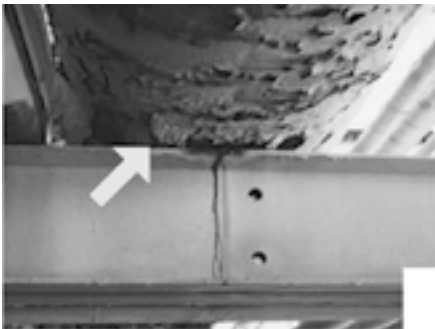
Desechos depositados

Los desechos que absorben y mantienen agua, productos de corrosión, hojas, tejidos y papel en contacto con la estructura promueven la formación de células de aireación diferencial, y deben ser evitadas.

Evite el uso de materiales absorbentes en contacto con las superficies metálicas

Los materiales porosos y absorbentes también han sido utilizados como aislantes térmicos, aislantes acústicos, etc. Estos materiales pueden absorber agua como una esponja, permitiendo que ocurran celdas de aireación diferencial en interface con el material absorbente/metal.

Los materiales absorbentes deben ser evitados en todas las situaciones en que la humedad relativa del ambiente exceda el 60%.



Estructura (pipe - rack):

- Preparación de superficie incorrecta.
- Falta de mantenimiento.

Estructura:

- Acumulación de agua

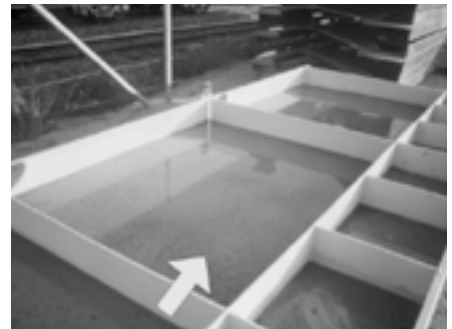


FIGURA 19.- No minimizar el potencial de corrosión.

EL CONTROL DE LA CORROSIÓN COMIENZA EN EL PROYECTO

TEMPERATURA

De modo general, las temperaturas más elevadas promueven el aumento de la corrosión.

Mucho cuidado con los puntos fríos (la condensación de humedad en medios contaminados promueve la generación de electrolitos altamente agresivos).

MOVIMIENTO

Flúidos en movimiento pueden aumentar la velocidad de corrosión.

La corrosión asociada a la erosión puede tornarse significativa cuando el régimen de flujo laminar pasa a turbulento.

TENSIONES

Tensiones térmicas y residuales generadas durante la fabricación.

VIBRACIONES

Mantenimiento (incluyendo el efecto de modificaciones y reparaciones).

CONTROL

La velocidad de corrosión es agravada por contaminantes superficiales, como escorias, polvo, aceites, grasas, etc.

Preparación diferente de la superficie es necesaria para diferentes ambientes.

GEOMETRÍA

- La geometría no debe favorecer la colecta de polvo o líquidos.
- Todas las partes de la estructura deben ser accesibles a la inspección y mantenimiento.
- Evite la creación de grietas.
- Evite soldaduras discontinuas, o defectos en la existencia de escorias no removidas.

METAL	INDUSTRIAL ($\mu\text{m/año}$)	MARINA ($\mu\text{m/año}$)	RURAL ($\mu\text{m/año}$)
ALUMINIO	0.81	0.71	0.025
COBRE	1.19	1.32	0.58
PLOMO	0.43	1.41	0.48
ZINC	5.13	1.60	0.86
ACERO AL CARBONO	13.72	6.35	5.08
ACERO PATINABLE	2.54	3.81	1.27

EL MEDIO AMBIENTE DETERMINA LA AGRESIVIDAD.

- **Atmósfera industrial o urbana:** S, lluvia ácida, cenizas.
- **Atmósfera marina:** Cloruros.
- **Atmósfera rural:** Amoniaco.

COMPATIBILIDAD

Evite el contacto eléctrico entre dos metales distintos en la serie electroquímica.

La fabricación puede crear diferencias de microestructura, promoviendo el ataque.

Los metales en contacto con no metales (plásticos, maderas, etc.) pueden iniciar el proceso de corrosión.

PINTURA Y RECUBRIMIENTOS

Factores a considerar:

- Tipo de sustrato.
- Preparación superficial recomendado.
- Expectativa de vida al primer mantenimiento.
- Facilidad de acceso a las superficies.
- Compatibilidad con otros materiales existentes.
- Calidad de la pintura y del aplicador, etc.

DURACIÓN DE LA PROTECCIÓN

- **Corta duración** (1 a 5 años)
- **Mé dia duración** (5 a 10 años)
- **Larga duración** (+ de 10 años)

REQUISITOS PARA DIFERENTES PINTURAS

- **Materiales monocomponentes**, como las pinturas alquídicas, emulsiones y acrílicas.
- **Materiales bicomponentes**, como primers ricos en zinc, epóxicas y poliuretanas.
- **Sistemas bicomponentes** como metalización seguida de pinturas epóxicas, poliuretanas, etc.

6. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE Y PINTURA

La preparación de la superficie constituye una etapa importantísima en la ejecución de la pintura, que está directamente ligada con su buen desempeño.

La preparación de la superficie se realiza con dos objetivos principales:

- 1.- **Limpieza Superficial:** Se trata de remover de la superficie los materiales que pueden impedir el contacto directo de la pintura con el acero, tales como polvos, combustible, grasas, óxido, residuos de pintura, entre otros. El nivel requerido de limpieza superficial variará de acuerdo a las restricciones operacionales existentes, de tiempo y de acceso a todos los recovecos de la estructura para la limpieza, del tipo de superficie presente y del sistema de pintura escogido, una vez que la pintura posee diferentes grados de adherencia sobre las superficies metálicas.
- 2.- **Anclaje Mecánico:** El aumento de la rugosidad superficial proporciona un aumento en la superficie de contacto entre un metal y la pintura, contribuyendo, de ese modo, en el aumento de la adherencia. El perfil de rugosidad especificado está ligado al espesor de la película seca.

Internacionalmente se ha normalizado la preparación de las superficies metálicas ferrosas, de acuerdo al método de limpieza. De estas normas, las más completas son: la Steel Structure Painting Council (S.S.P.C.), y la Swedish Standard Institute SIS 055900 utilizadas mundialmente como guía para preparación de superficies metálicas ferrosas y que se describen a continuación:

DESCRIPCIÓN	SSPC	SIS 055900
Limpieza con solventes	SP 1	---
Limpieza manual	SP 2	St 2
Limpieza motriz	SP 3	St 3
Limpieza con llama y cepillado	SP 4	---
Chorro abrasivo metal blanco	SP 5	Sa 3
Chorro abrasivo comercial	SP 6	Sa 2
Chorro abrasivo brush off	SP 7	Sa 1
Decapado	SP 8	---
Exposición ambiental y chorro abrasivo	SP 9	---
Chorro abrasivo metal casi blanco	SP 10	Sa 2 1/2



SSPC-SP1 Limpieza con Solventes

La limpieza con solventes es un procedimiento para remover materiales extraños perjudiciales tales como aceite, grasa, manchas y otras contaminaciones de las superficies de acero mediante el uso de solventes, emulsiones, compuestos limpiadores, limpieza con vapor o materiales y métodos similares los cuales involucran una acción solvente o limpiadora.

SSPC-SP2 Limpieza Manual

La limpieza manual es un método para preparar superficies metálicas para pintarlas, removiendo la cascarilla de laminado suelta, la herrumbre y la pintura suelta con cepillo manual, lijado manual, raspado manual otras herramientas de impacto o por combinación de estos métodos.

SSPC-SP3 Limpieza con Herramientas Eléctricas o Neumáticas

La limpieza con herramientas eléctricas o neumáticas es un método para preparar una superficie metálica para pintarla, removiendo la cascarilla de laminado suelta, la herrumbre suelta y la pintura suelta con cepillos eléctricos o neumáticos, impacto eléctrico o neumático, esmeril eléctrico o neumático, o por la combinación de estos métodos.

SSPC-SP4 Limpieza de Acero Nuevo con Llama

La limpieza de acero nuevo con llama es un método para preparar superficies de metales no pintados, pasando la llama de oxiacetileno a gran velocidad, sobre la superficie total y luego cepillado para remover las cascarillas y la herrumbre sueltas. Se intenta que toda la cascarilla y el óxido suelto y otros materiales extraños sean removidos para este proceso, dejando la superficie caliente y seca a la cual se aplica la pintura anticorrosiva antes de que la superficie se enfríe.

SSPC-SP5 Limpieza por Chorro Abrasivo a Metal Blanco

La limpieza por chorro abrasivo es un método para preparar

superficies metálicas para pintarlas removiendo toda cascarilla de laminado, óxido, pintura vieja, mediante el uso de un abrasivo impulsado a través de una tobera o par de ruedas centrífugas.

Una superficie preparada A1 grado metal blanco con chorro abrasivo se define como una superficie con un color uniforme gris blanco metálico, ligeramente rugoso para formar un conveniente perfil de anclaje que permita mejor adherencia de la pintura. La superficie quedará libre de cascarilla de laminado, óxido, productos de corrosión, pintura o cualquiera otra materia extraña. El color de la superficie ya limpia puede ser afectado por el tipo del medio abrasivo usado.

SSPC-SP6 Limpieza por Chorro Abrasivo a Grado Gris Comercial

La limpieza por chorro abrasivo a grado gris comercial se define como el método para preparar superficies de metal para pintarlas, removiendo la cascarilla de laminado, el óxido o las materias extrañas mediante el uso de abrasivos impulsados a través de toberas por aire comprimido o por una rueda centrífuga, hasta el grado aquí especificado.

El acabado final de una superficie que ha sido limpiada mediante chorro abrasivo gris comercial puede definirse como aquella en la cual todo el aceite, la grasa, la suciedad, la cascarilla de laminado y las materias extrañas han sido completamente eliminadas de la superficie y toda la herrumbre, la cascarilla de laminado y la pintura vieja han sido completamente removidas, con la excepción de ligeras sombras, rayas o decoloraciones causadas por manchas de herrumbre y pintura. Si la superficie tiene picaduras, puede encontrarse herrumbre y resto de pintura en el fondo de las mismas.

Por lo menos 2/3 de cada pulgada cuadrada de superficie estará libre de residuos visible y el resto estará limitado a ligeras decoloraciones, ligeras sombras o ligeros residuos como los mencionados anteriormente.

SSPC-SP7 Limpieza por Chorro Abrasivo al Grado Superficial

La limpieza por chorro abrasivo al grado superficial es un método para preparar una superficie de metal para pintarla, por rápida



remoción de la cascarilla de laminado suelta, herrumbre y pintura suelta, por impacto con abrasivos impulsados a través de una tobera por aire comprimido o por una rueda centrífuga, en donde no se pretende que la superficie deba estar libre de cascarilla de laminado, herrumbre y pintura. La cascarilla residual del laminado, la herrumbre y la pintura deberán estar muy delgadas y bien adheridas. Además la superficie debe presentar una ligera rugosidad para suministrar una buena adhesión y unión de la pintura.

El acabado final de la superficie limpia con chorro al grado superficial se define como aquella en la cual toda pintura suelta, cascarilla de laminado suelta y herrumbre suelta sean removidas completamente, pero no la cascarilla, la herrumbre, y la pintura que estén firmemente adheridas.

SSPC-SP8 Limpieza Química Pickling

La limpieza química es un método para preparar superficies metálicas para pintarlas, removiendo completamente la cascarilla de laminado y el óxido, por reacción química o por electrólisis o por los dos métodos. Se entiende que una superficie preparada por este método deberá estar completamente libre de toda cascarilla de laminado, óxido y materias extrañas. Aun más, la superficie deberá estar libre de: tizne, ácido y álcalis sin reaccionar.

SSPC-SP9 Exposición Ambiental seguida de Limpieza por Chorro Abrasivo

La exposición ambiental es un método para remover o desprender la cascarilla de laminado por oxidación natural de las superficies de acero expuestas a la intemperie. La exposición ambiental corroe el acero, debilita y desprende la cascarilla de laminación, dejando la superficie con herrumbre después que se ha quitado la cascarilla de laminación, las superficies deben limpiarse con chorro abrasivo.

SSPC-SP10 Limpieza por Chorro Abrasivo al Grado casi Blanco

Limpieza por chorro abrasivo al grado casi blanco es un método de preparación de superficies metálicas para pintarlas removiendo toda la cascarilla de laminado, la herrumbre, la pintura y las materias extrañas, por el uso de un abrasivo impulsado a través de una tobera o por una rueda centrífuga.

El acabado final de una superficie que ha sido limpiada mediante chorro abrasivo al grado casi blanco se define como aquella en la cual toda pintura suelta, cascarilla de laminado, herrumbre, productos de corrosión, pinturas y otras materias extrañas han sido completamente removidas de la superficie, con la excepción de ligeras sombras, rayas o ligeras decoloraciones causadas por manchas de herrumbre. Por lo menos un 95% de la superficie estará libre de residuos visibles y el resto se limita a las ligeras decoloraciones mencionadas antes.

Preparación de Superficies Metálicas Especiales

Existen metales y aleaciones, como el aluminio, el cobre, el bronce, el acero inoxidable, el hierro galvanizado y otros, que tienen características muy especiales que los diferencian de las superficies metálicas ferrosas.

Estas superficies tienen tratamientos superficiales o son naturalmente resistentes a la corrosión, por lo que no es aconsejable aplicar métodos de limpieza abrasiva, que pueden destruirles la película protectora. Por otro lado, todas ellas son extremadamente lisas en su superficie y muy estables químicamente, lo que dificulta la adhesión de las pinturas que se aplican sobre ellas, por lo que se hace necesario un tratamiento especial, que se explica a continuación:

- Se debe aplicar lavado con solvente o desengrasantes, antes de proceder con el lijado.
- Lijar preferentemente con lija de agua No. 240, si la superficie lo permite. Eliminar los restos del lijado, siempre limpiando con solvente.
- Aplicar una capa de Wash Primer si el ambiente es muy severo y se usarán acabados industriales, se debe aplicar una capa de Ferrogard.
- Aplicar el acabado final.

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

6.1. CASCARILLA DE LAMINACIÓN

El calentamiento del acero al carbono a temperaturas entre 575° C y 1370° C provoca una formación de una capa de óxidos denominada cascarilla de laminación. Esta película es formada por tres capas de óxidos superpuestas: Wustita (FeO), Magnetita (Fe_3O_4), y Hematita (Fe_2O_3).

Placas, tochos, bloques, barras de refuerzo y perfiles son laminados a temperaturas cercanas a 1000 °C. La cascarilla formada es una película gris-azulada, muy dura, adherente y lisa, que recubre completamente el acero.

Este recubrimiento natural, es para muchos, señal de un buen recubrimiento para la pintura. Ésta es una idea completamente falsa distribuida entre muchos diseñadores.

Debido a que la cascarilla tiene un coeficiente de dilatación diferente que el acero, ésta se acaba desprendiendo durante los ciclos naturales de calor y frío, permitiendo la penetración de agua, oxígeno y contaminantes variados. La presencia de electrolitos causa la formación de una célula, donde el acero es oxidado y la reacción de reducción de oxígeno ocurre sobre la cascarilla. Después de un tiempo de ataque, la grieta progresa por debajo de la cascarilla, expulsándola de la superficie de acero.

La cascarilla como se ha visto, no protege al acero de la corrosión atmosférica. Requiere ser desprendida antes del proceso de pintura, porque una vez retirada, ésta mantiene los constituyentes necesarios para el proceso corrosivo. La pintura sobre la cascarilla no evitará que el proceso de corrosión continúe, porque toda la pintura, sea cual sea, es permeable y pasa el oxígeno en vapor de agua. La grieta se expandirá y terminará con la ruptura de la película de pintura.

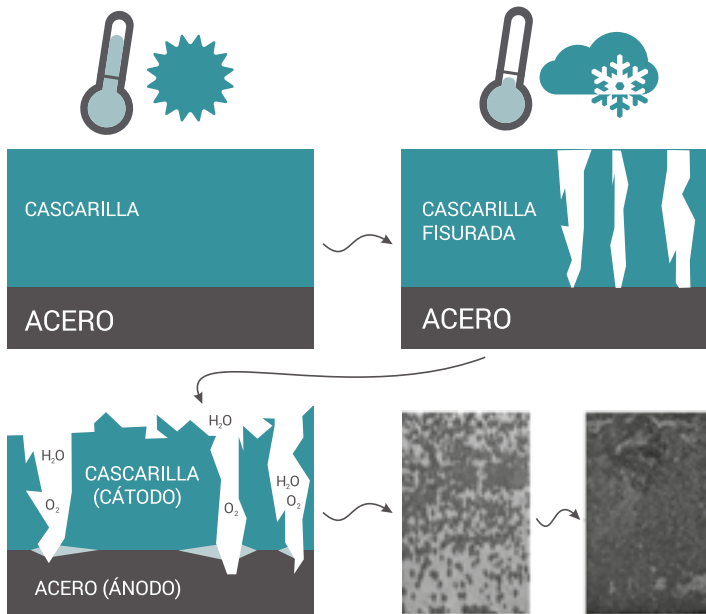


FIGURA 20.- ¿Cómo se degrada la cascarilla de laminación?

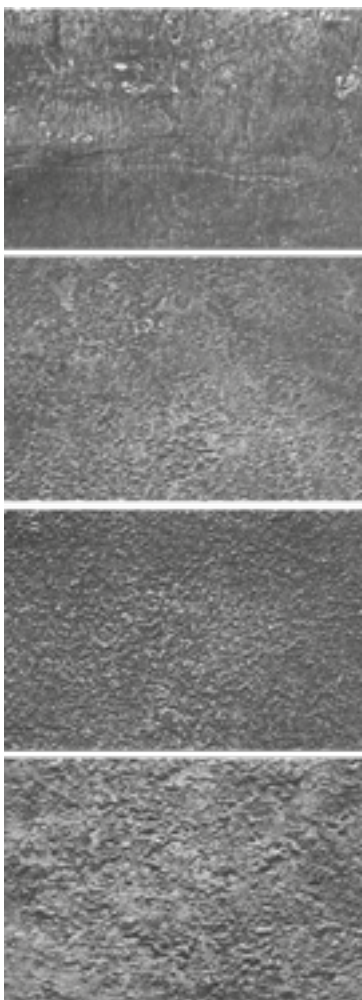


6.2 GRADOS DE LIMPIEZA SUPERFICIAL

Como ya se ha mencionado anteriormente, la necesidad de un grado mínimo de limpieza superficial varía de acuerdo al tipo de pintura que será utilizada y a las condiciones a las que estará expuesta.

La norma más citada y empleada para la preparación de la superficie de acero es la norma Sueca SIS 05 59 00-1967 "Grado de agrietamiento de superficie de acero laminado en caliente y grado de preparación de estas superficies para la aplicación de revestimientos anticorrosivos". Esta norma fue elaborada por el Instituto Sueco de Corrosión, de acuerdo con ASTM y la SSPC, de EUA.

Los padrones de grado de corrosión son definidos a través de fotografías de estado de intemperismo en que el acero se encuentra para la pintura:



A. Superficie con cascarilla de laminación aún intacta.

B. Superficie con cascarilla de laminación destacándose y con presencia de grietas.

C. Superficie con corrosión generalizada y sin cascarilla.

D. Superficie con corrosión generalizada y con puntos profundos de corrosión (Pites).

La superficie metálica deberá ser previamente lavada con agua y tensoactivos neutros, se frota con una escoba de nylon. Después de lavada, se seca la superficie naturalmente con aire comprimido limpio (libre de aceite), y seco.

Un método de aplicación y muy empleado en pintura industrial, siendo también muy común en los fabricantes de estructuras metálicas. Se hace a través del impacto de las partículas, generalmente abrasivas, impulsado a altas velocidades contra la superficie que se va a limpiar, esta técnica posee dos grandes ventajas.

- 1.- **Elimina todas las impurezas superficiales, permitiendo el contacto del recubrimiento con el sustrato.**
- 2.- **Confiere rugosidad a la superficie, permitiendo el anclaje del recubrimiento.**

Diversos materiales pueden ser utilizados como abrasivos: arena, vidrio, hierro fundido, escorias y otros.

La arena es el agente abrasivo más utilizado en el campo, cuando la aplicación se realiza al aire libre hay una preocupación en la recuperación de la abrasión (la arena es utilizada como máximo 2 veces). La arena provoca un mejor tipo de rugosidad para la adherencia, pues tiene acción simultánea de corte e impacto. La arena debe producir una rugosidad en el metal que corresponda cerca de 1/4 y 1/3 de espesor total de la película seca del revestimiento. En México, es un método que está en desuso, por la contaminación que puede provocar al emanar partículas de polvo a la atmósfera, reglamentada por la SEMARNAT.

La aplicación es normalmente utilizada en cabinas cerradas. Se hace en aceros especiales muy duros. La forma de sus partículas puede ser redonda o angular. Las redondas pueden ser recicladas hasta 450 veces y dejar un perfil bastante redondeado. Las angulares pueden ser recicladas hasta 350 veces y dejar un perfil anguloso e irregular.



Figura 21.- Padrones de grados de corrosión (SIS 05 59 00 - 1967).

Los padrones de grado de limpieza también son definidos a través de fotografías de estado en las superficies después de un tratamiento de limpieza.

6.3 PINTURAS

La pintura es el principal medio de protección de estructuras metálicas. Las pinturas son suspensiones homogéneas de partículas sólidas (pigmentos), dispersas en un líquido (conocido como vehículo), en presencia de componentes en menores proporciones, llamados aditivos.

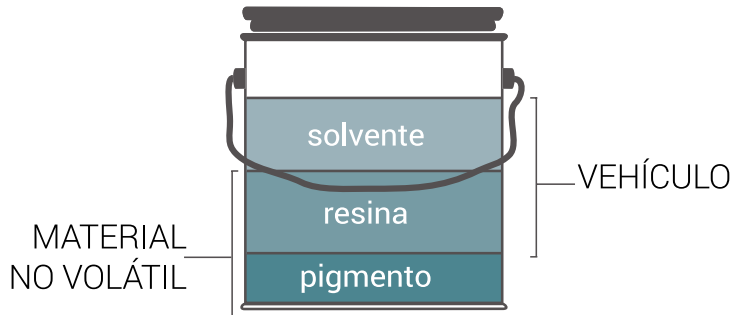


Figura 22.- Componentes básicos de las pinturas.

Resina

Es la formadora de la película propiamente dicha, también llamada de vehículo (no volátil). En ausencia de resina, todos los demás componentes de una pintura no tendrían adherencia al sustrato.

Pigmentos

Los pigmentos pueden ser orgánicos e inorgánicos finamente divididos. En suspensión una pintura líquida, son aglomerados por la resina después de secarse, formando una capa uniforme sobre el sustrato. Los pigmentos promueven un color opaco, cohesión e inhibición del proceso corrosivo, y también, la consistencia, la dureza y resistencia de la película.

Los pigmentos anticorrosivos más utilizados en las pinturas para la protección del acero al carbono son:

Óxido de plomo o azarcón, minio, greta: El óxido de plomo está constituido por cerca de 90 a 97% de minio y el restante de litargirio; es de color naranja (no confundir con el óxido de hierro Fe_2O_3 , café rojizo, que no tiene acción anticorrosiva alguna).

Cromato de Zinc: Amarillo de zinc, es un cromato mixto de zinc y potasio.

Cromato básico de zinc: Tetraoxocromato de zinc, es menos soluble que el cromato de zinc.

Cromato de plomo: Es un pigmento de color naranja o amarillo, muchas veces confundido con el minio, sin embargo posee una acción anticorrosiva menos efectiva.

Plumbato de calcio: Es un pigmento blanco con buena protección anticorrosiva.

Fosfato de zinc: Es un pigmento blanco, actualmente más usado como sustituto del minio, cuyo uso está prohibido por su toxicidad.

Zinc en polvo: Es utilizado en las pinturas ricas en zinc, que son pinturas anticorrosivas de sustrato en seco.

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, superpuestas, constituyendo una barrera que dificulta la difusión de especies agresivas.

Cuanto mejor sea la barrera, mas durable será la pintura. La unión de resinas bastante impermeables con pigmentos laminares ofrecen una óptima barrera contra la penetración de agentes agresivos.

Solventes

Los solventes tienen la finalidad de disolver la resina y, por la disminución de viscosidad, facilitar la aplicación de la pintura. Los solventes más comunes utilizados en pinturas son los líquidos orgánicos y el agua.

Los ligantes más comunes son las resinas y los aceites, pero, también pueden ser inorgánicos, como los silicatos solubles. Ellos tienen la función de envolver las partículas de pigmento y las mantiene unidas entre si 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 a través de simples evaporaciones del solvente o por la polimerización, con o sin la intervención de oxígeno de aire.

En algunos casos, la resina es frágil y no posee buena adherencia. En estos casos se adicionan los llamados plastificantes, que, no son volátiles y permanecen en una película después de secarse.





6.3.1 Clasificación de Pinturas

Como se ha visto anteriormente, las pinturas son compuestas de modo general, de pigmentos dispersos en una resina particular, solubilizada en una mezcla de solventes. Por lo tanto, como el número de posibilidades de composición es relativamente limitado, las pinturas pueden ser clasificadas en grupos que presentan semejanzas. Las clasificaciones más comunes de las pinturas son hechas por el tipo de resina empleada o por el tipo de pigmento utilizado.

Las pinturas de fondo, conocidas como primers, son habitualmente clasificadas de acuerdo con el pigmento principal anticorrosivo participante, mientras que las pinturas intermedias y acabados son usualmente clasificadas de acuerdo con la resina empleada, como por ejemplo, epóxicas, acrílicas, alquidáticas, etc.

Los tipos de pinturas más importantes para la protección de acero al carbono, teniendo como clasificación el tipo de resina, son:

Alquidáticas: Conocidas como esmaltes sintéticos, son pinturas de un componente de secado al aire libre. Son utilizadas en interiores secos y abrigados, o en exteriores no contaminados. Como las resinas utilizadas son el germen, no resisten a la humedad constante y a la inmersión en agua.

Epóxicas: Son pinturas de dos componentes de secado al aire libre. El curado se da por la reacción química entre los dos componentes. El componente A es, de modo general, la base de la resina epóxica, y el B, es el componente del curado, puede ser a base de poliamida, poliaminas o isocianato alifático. Son más impermeables y más resistentes a los agentes químicos que las alquidáticas. Resisten la humedad, inmersión en agua dulce o salada, lubricantes, combustibles y diversos productos químicos. Las pinturas epóxicas a base de agua tiene la misma

resistencia que las que están formadas a base de solventes orgánicos. De manera general, no son adecuadas para la exposición al intemperismo (acción del sol y la lluvia), pues se desvanecen y pierden brillo (Calcinación).

Poliuretánicas: Son pinturas de dos componentes en el que el componente A es vaciado en resina de poliéster o resina acrílica, y el B, es el ente del curado, a base de isocianato alifático. Las pinturas Poliuretánicas son bastante resistentes al intemperismo. De este modo, son adecuadas en pintura de acabado en estructuras expuestas al tiempo. Son compatibles con primers epóxicos y resisten por muchos años con menor pérdida de color y de brillo original.

Acrílicas: Son pinturas de un componente a base de solventes orgánicos o de agua, y, del mismo modo, como las pinturas Poliuretánicas, son indicadas para la pintura de acabado. Son pinturas bastante resistentes a la acción del fuego.

Las pinturas de fondo son aplicadas directamente a la superficie metálica limpia. Su finalidad es la de promover adherencia de esquema al sustrato, y contiene, habitualmente, pigmentos inhibidores de corrosión.

Éstas son utilizadas para la protección de aceros en estructuras, y son clasificadas de acuerdo con los pigmentos inhibidores adicionados en su composición. Como ejemplos, tenemos las pinturas de fondo a base de fosfato de zinc, de zinc metálico o de aluminio.

Las pinturas de fondo son formuladas con altos niveles de pigmentos y, por eso, son semibrillantes o mate.

Cada uno de estos pigmentos inhibidores pueden ser incorporados a una cierta cantidad de ligantes, generando, por ejemplo, pinturas de fondo alquidáticas a base de fosfato de zinc, pinturas epóxicas a base de fosfato de zinc, etc.



Las pinturas intermedias no poseen las mismas propiedades de las pinturas de fondo anticorrosivas, sin embargo, auxilian la protección, fortaleciendo el espesor y el sistema de pintura empleado (protección por barrera). De manera general, cuanto más espesor y capa seca, mayor será la vida útil del recubrimiento, de esta manera, múltiples capas podrán ser aplicadas, hasta que se llegue al espesor adecuado.

Las pinturas intermedias o de acabado son, normalmente, clasificadas de acuerdo con sus ligantes, como, por ejemplo, las epóxicas, vinílicas, poliuretánicas, etc.

Las pinturas de acabado tiene la función de proteger el sistema contra el medio ambiente y también dar el color y brillo adecuado. Éstas deben ser resistentes al intemperismo, y a agentes químicos que tienen color estable. De manera general, son pinturas brillantes con buena resistencia a la pérdida de color y brillo.

Las capas de pintura deben, naturalmente, ser compatibles entre sí. Estas pueden pertenecer a la misma familia o pueden ser muy diferentes. Una precaución que siempre debe ser adoptada es que todas las pinturas de un sistema deben pertenecer al mismo fabricante. Eso minimizará la posibilidad de que ocurran futuros defectos tales como la deslaminación.

Los aditivos mejoran ciertas propiedades de las pinturas. Existen aditivos antinata, secantes, plastificantes, antimoho, antisedimentante, nivelante, tixotrópicos, etc.

Un mismo acero, pintado con tipos diferentes de pintura, puede presentar un comportamiento muy diferente cuando es expuesto al mismo medio agresivo.

Esta diferencia puede ser explicada admitiéndose que las pinturas empleadas tienen diferentes mecanismos de acción contra la corrosión, estos mecanismos de manera general, son clasificados en:

Protección por Barrera: La pintura debe ser lo más impermeable posible y espesa. Las pinturas de un alto espesor, llamadas de HB (High Build), tienen la ventaja que la mano de obra es más económica. Además, de las pinturas de alto

espesor, las que ofrecen mayor protección por barrera son las betuminosas y las de aluminio. El inconveniente de la protección por barrera es que, si hay daño en la película, la corrosión se arrastrará por aireación diferencial. Es por eso, que es recomendable que se utilicen pinturas de fondo con mecanismos de protección catódica y anódica.

Protección Anódica: La protección de las regiones anódicas es proporcionada por los pigmentos anticorrosivos, todos de carácter oxidante. La protección puede ser dada a través de la disolución del pigmento (como el cromato de zinc, que en contacto con el agua, libera iones neutralizantes de cromato), o por acción oxidante (el Azarcón Pb_3O_4 , es un oxidante fuerte de características alcalinas).

Protección Catódica: La protección es dada a través de formación de pares galvánicos entre el acero al carbono y partículas de zinc en polvo (son las llamadas pinturas ricas en zinc). En éstas, el zinc se corroe, protegiendo el sustrato de acero al carbono. El contenido mínimo recomendable de zinc en una película seca es de 85% (el contacto eléctrico es fundamental para la conservación de la protección).

En la elaboración de un sistema de pintura, todos los datos deben ser considerados, como el ambiente, el sustrato, la preparación de la superficie, pinturas, la secuencia de aplicación, espesores, tipos de aplicación y a qué condiciones de trabajo estará sometida la superficie. Cuanto mejor la preparación de la superficie, es mayor el espesor y más duradera será la protección que ofrecerá el sistema de protección al acero. Una buena preparación de la superficie es más costosa, pero la pintura durará más.

Las tablas siguientes, obtenidas del manual de pintura de la CBCA, trazan algunas directrices para la preparación superficial de sistemas de pintura y serán realizadas en ambientes de diferentes agresividades.

Las orientaciones aquí presentadas son genéricas, los profesionales deberán tener una consulta previa y detallada con los fabricantes de las pinturas y aplicadores.

AMBIENTE	TIPO	PINTURA	CAPA	ESPESOR SECO POR CAPA (µm)	ESPESOR SECO TOTAL (µm)	COSTO	EXPECTATIVA DE DURABILIDAD	OBSERVACIONES
Rural 1	Fondo y Acabado	Alquidáticas de doble Función	1	75	75	Bajo	3 - 6	-
Rural 2	Fondo Acabado	Primer Alquidático Esmalte Alquidático	1 2	40 40	120	Medio	4 - 7	-
Rural 3	Fondo Acabado	Primer Epóxico Esmalte Epóxico	1 2	40 40	120	Medio	6 - 9	Calcina
Urbano 1	Fondo Acabado	Primer Alquidático Esmalte Alquidático	2 2	40 40	160	Bajo	4 - 7	-
Urbano 2	Fondo y Acabado	Colores Epoximástico	1	120	120	Medio	6 - 9	Calcina
Urbano 3	Fondo y Acabado	Poliuretano de Doble Función	2	70	140	Alto	7 - 10	Resistente a la Calcinación
Industrial 1	Fondo y Acabado	Colores Epoximástico	2	125	250	Medio	6 - 9	Calcina
Industrial 2	Fondo Acabado	Primer Epóxico Esmalte Epóxico	1 2	75 100	275	Medio	6 - 9	Calcina
Industrial 3	Fondo Acabado	Primer Epóxico Esmalte Poliuretano	1 2	125 75	275	Alto	7 - 10	Resistente a la Calcinación
Marítimo 1	Fondo Intermediaria Acabado	Primer Etil-Silicato de Zinc Epóxico Poliamida (tie-coat) Esmalte Poliuretano	1 1 2	75 40 75	265	Alto	8 - 12	Resistente a la Calcinación
Marítimo 2	Fondo Intermediaria Acabado	Primer Epóxico rico en Zinc Esmalte Epóxico Esmalte Poliuretano	1 1 1	75 125 75	275	Alto	7 - 11	Resistente a la Calcinación
Marítimo 3	Fondo Acabado	Primer Epóxico Esmalte Poliuretano	2 1	125 50	300	Alto	6 - 10	Resistente a la Calcinación

AMBIENTE

VARIABLES	TIPO DE LIMPIEZA	RURAL	URBANO, INDUSTRIAL O MARÍTIMO	COMPONENTES ENTERRADOS
Preparación de Superficie Mínima	Limpieza Mecánica	St 3	St 3	-
	Explosión Abrasiva	Sa 2 1/2	Sa 2 1/2	Sa 2 1/2
Faja de Espesor del Sistema de Pintura (base seca µm)	Limpieza Mecánica	125 - 175	150 - 250	250 - 375
	Explosión Abrasiva	80 - 125	100 - 200	240 - 300

El especificador del sistema de pintura debe fijar el grado de limpieza de la superficie, las pinturas y los espesores del sistema en función de la agresividad del ambiente.

Los ambientes, de manera general podrán ser clasificados en:

- 1.- Rural: Sol, lluvia, humedad persistente, el polvo del suelo y los bajos niveles de contaminantes como los cloratos y el dióxido de azufre.
- 2.- Urbano: Sol, lluvia, humedad persistente, y cantidades variables de contaminantes como los cloratos y el dióxido de azufre.

3.- Industrial: sol, lluvia, humedad persistente, polvo de productos químicos, SO₂, NO, NO₂, CO₂, H₂S, NH₃ y eventualmente cloratos.

Finalmente, debemos recalcar que la aplicación de la protección contra la corrosión debe ser estudiada en conjunto con la necesidad de protección frente al fuego (protección pasiva), de la estructura. La aplicación de protección pasiva en áreas internas, donde no exista condensación de agua no requiere preparación de la superficie, a menos que se elimine la cascarilla de laminación y el óxido suelto, así como las grasas y aceites.



7. ¿POR QUÉ PROTEGER AL ACERO DEL FUEGO?

¿Por qué proteger al acero del fuego si éste no se quema? Es una pregunta que ya se ha escuchado en algunas ocasiones durante las muchas veces en las que hablamos de este tema en las diferentes audiencias. La respuesta es que, en temperaturas superiores a los 550 °C, el acero, inmerso en un ambiente de temperatura homogénea y por debajo de la carga total de proyecto (condiciones muy raramente verificadas en la práctica), comenzará a perder su margen de seguridad definida en el proyecto, iniciando su proceso de pandeo local. De esta manera el comportamiento y la integridad del conjunto podrían estar comprometidos. A fin de retardar la acción del fuego, los componentes del acero son habitualmente protegidos con productos que disminuirán la velocidad con la que son calentados. Además de esta función, los productos deben ser resistentes a la abrasión causada por los gases calientes y a la acción directa de la llama.

En la mayor parte de los incendios reales, el acero es expuesto a la quema de materiales celulósicos (papel, tejidos, etc.); un ejemplo típico es el incendio de un edificio comercial. Por otro lado, en el caso de complejos petroquímicos, el incendio es más intenso, liberando instantáneamente enormes cantidades de energía por la quema de los combustibles.

Es el tamaño ("Factor de forma", es definido como la razón entre el perímetro expuesto al calor por el área de secado transversal del componente), y el tipo de incendio del componente a que está sujeto quien determina la cantidad de protección contra fuego que es requerida. Las secciones más pesadas requieren, de manera general, menos protecciones que las secciones más ligeras para atacar el mismo nivel de seguridad cuando están expuestos al mismo tipo de incendio, como se detallará más adelante.

7.1 PROTECCIÓN CONTRA FUEGO: GENERALIDADES

Un incendio solamente acontece a través de la combinación de tres factores distintos: **Combustibles + Oxidantes + Fuentes de Calor, que desencadena todo el proceso.**

La combustión es una reacción exotérmica (que libera calor), entre el oxígeno del aire y ciertas sustancias sólidas, líquidas y gaseosas (los combustibles). Es bajo la acción de una energía de activación (por ejemplo una llama o un calentamiento localizado), que los dos primeros elementos están en combustión, momento en que la temperatura de inflamación es atacada.

Un incendio pasa, de manera general, por una fase de desenvolvimiento con una gran liberación de calor, seguida por la fase de regresión, cuando la temperatura vuelve a bajar. De acuerdo con el modo de inflamación en la naturaleza del combustible, el desenvolvimiento será más o menos rápido.

La mayor parte de las muertes ocurridas en los incendios de edificaciones ocurre por asfixia, aún en las primeras etapas del fuego. Estudios europeos han demostrado que el riesgo de este tipo de muerte es 30 veces menor que en los sistemas de transporte tradicionales. El riesgo de muerte debido a la falla estructural ocasionada por el fuego aún es menor.

Aunque sea un riesgo bajo, la protección de la vida humana debe ser siempre considerada en proyectos de edificios. La principal finalidad de la seguridad contra incendio consiste en un conjunto de sistemas activos tales como sistemas de detección, extintores, etc. Y sistemas pasivos, tales como, materiales de protección térmica entre otros.

Son varios los factores que influyen en la intensidad y la duración del fuego. Algunos de ellos son la carga de incendio (cantidad y tipo del material combustible), y su distribución en el edificio, la ventilación del compartimento, propiedades térmicas de pisos y paredes, sistemas de detección de incendios, puntos de suministro de agua, disponibilidad de extintores adecuados, etc.



FIGURA 23.- El triángulo del fuego.

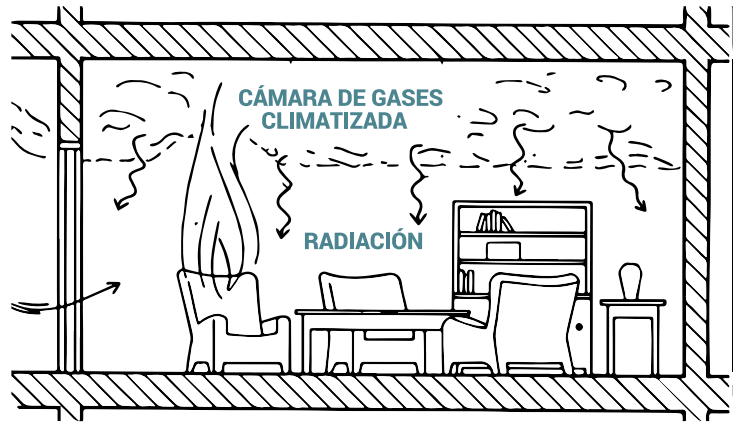


FIGURA 24.- Factores que intervienen en un incendio.

Son varios los factores que intervienen en un incendio (carga de incendio, grado de ventilación, características térmicas de los materiales, existencia de sistemas de detección, etc).

7.2 LA SECUENCIA DE EVENTOS

La principal característica de un incendio, con respecto al estudio de estructuras, es una curva que proporciona la temperatura de los gases en función de la progresión del incendio. Esta curva generalmente representa tres regiones distintas.

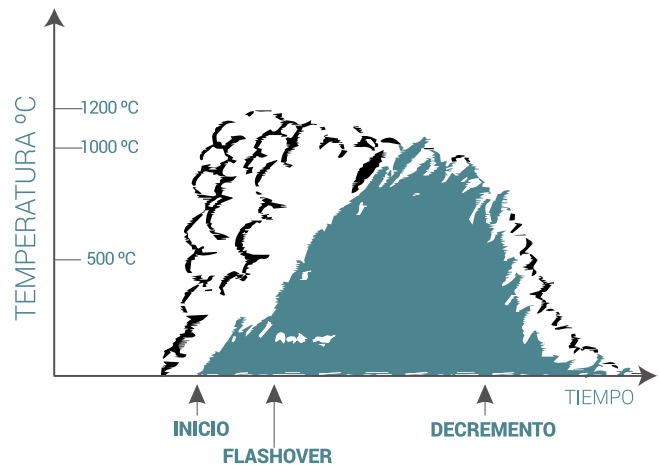


Figura 25.- Secuencia de eventos en un incendio.

1. El periodo de iniciación, en el cual la temperatura media del compartimento es relativamente baja y el fuego está localizado próximo a su origen.
2. La etapa del incendio totalmente desenvuelto, durante el cual todos los combustibles existentes en el compartimento, que se están quemando reconocen todo el volumen del ambiente (conocido como flashover o inflamación generalizada).
3. El periodo de decremento, conocido por algunos investigadores como la etapa del incendio donde la temperatura media cae un 80% de su valor más alto.

7.3. INFLUENCIA DE LA VENTILACIÓN EN LA CARGA DE INCENDIO

El primer estudio sistemático del comportamiento de incendios totalmente desenvueltos se hizo en Japón a principio de los años 40. Kawagoe y colaboradores midieron la velocidad de quema de los volúmenes estandarizados de madera en compartimentos de diferentes dimensiones y aberturas de ventilación.

La velocidad de quema se muestra muy dependiente del tamaño y forma de la abertura de ventilación, existiendo una fuerte correlación de tipo: $m = 5.5 A_w H^{1/2}$

Donde m es la velocidad de quema del combustible (kg/min), A_w y H son, respectivamente el área (cm²) y la altura (H) de la abertura de ventilación.

El grado de ventilación es representado por un factor de abertura, que está dado por $v = \frac{A\sqrt{H}}{A_t}$ donde v es el factor de abertura (m^{1/2}), A es el área total de las aberturas para el ambiente externo del edificio, incluyendo ventanas, A_t es el área total incluyendo ventanales y aberturas y H es la altura media de las aberturas ($=\sum(H_i A_i)/A$) y H_i es la altura de la abertura i , siendo $\sum A_i = A$.

La carga de incendio corresponde a la cantidad de material combustible disponible en el compartimento, y se expresa como la masa de madera térmicamente equivalente a la suma de todo el material combustible existente en el compartimento estudiado. Por área de piso (kg de madera/m²), o en unidades del sistema internacional, en MJ/m² en relación al área total (o solamente al área de piso).

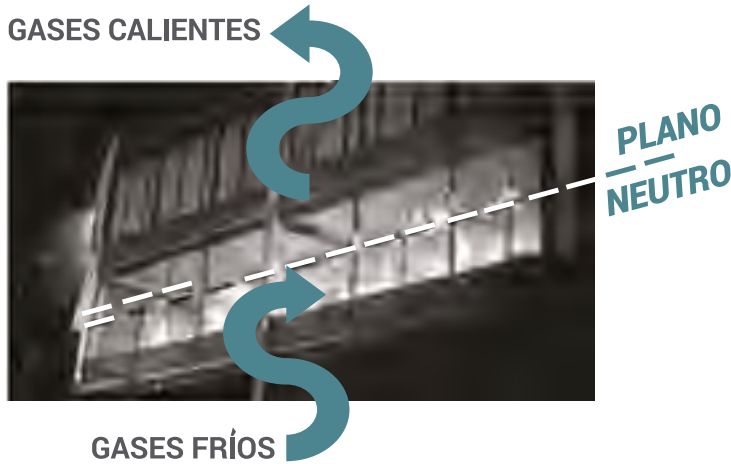


FIGURA 26.- Ventilación durante un incendio.

Pettersson y colaboradores, obtuvieron curvas tiempo-temperatura para incendio en compartimentos, con diferentes cargas de incendio y grados de ventilación.

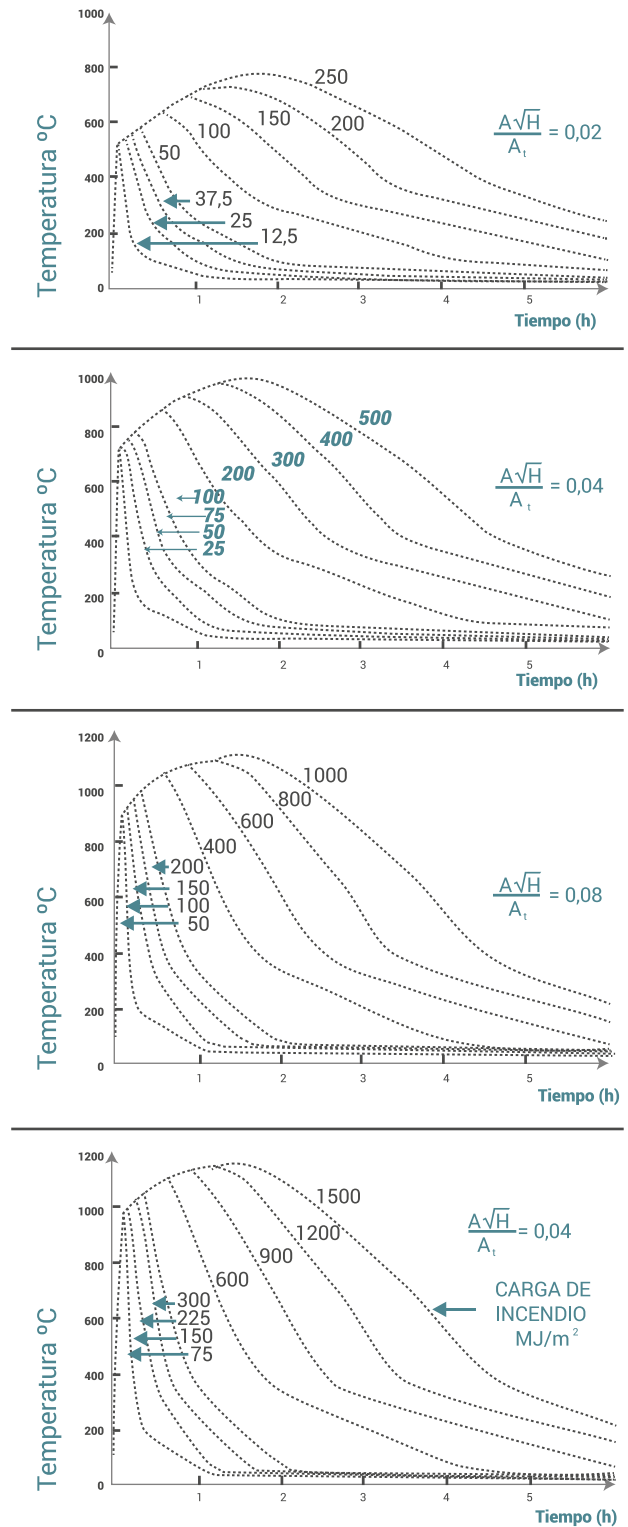


FIGURA 27.- Curvas teóricas temperatura - tiempo, según Pettersson.

Curva teórica Tiempo – Temperatura para los fuegos en los compartimentos con diferentes cargas de fuego (MJ/m²) y los factores de la apertura, $A.H^{1/2}/A_t$ (M^{1/2}), de acuerdo con Pettersson, et al., 1976. El compartimento estándar de Pettersson tiene un espesor de pared de 0.2 m.

$k = 0,8 W/M.K$, $PC = 1700 kJ/m^3.K$.

$A =$ Área de la abertura de ventilación (ventanas o puertas) (m²)

$A_t =$ Área de la superficie interna de las paredes y el techo, con exclusión de las aberturas de ventilación (m²).

$H =$ Altura de la abertura de ventilación (m).

La carga de incendio del ambiente está dada por $q = \frac{\sum m_j H_j}{A_i}$, donde m_j es la masa total de cada componente de carga de incendio, H_j corresponde al poder calorífico específico de cada componente de carga de incendio (m_j/kg), y A_i es el área total, incluyendo ventanales y aberturas.

7.4 ENSAYOS DE LABORATORIO: EL INCENDIO PREDETERMINADO

El concepto fundamental que soporta los métodos de laboratorios desenvueltos para la previsión de la estabilidad estructural en situación de incendio es el que todos los materiales estructurales pierden, gradualmente, la resistencia y la rigidez cuando están sometidos a altas temperaturas que pueden ser atacadas en un incendio fuera de control.

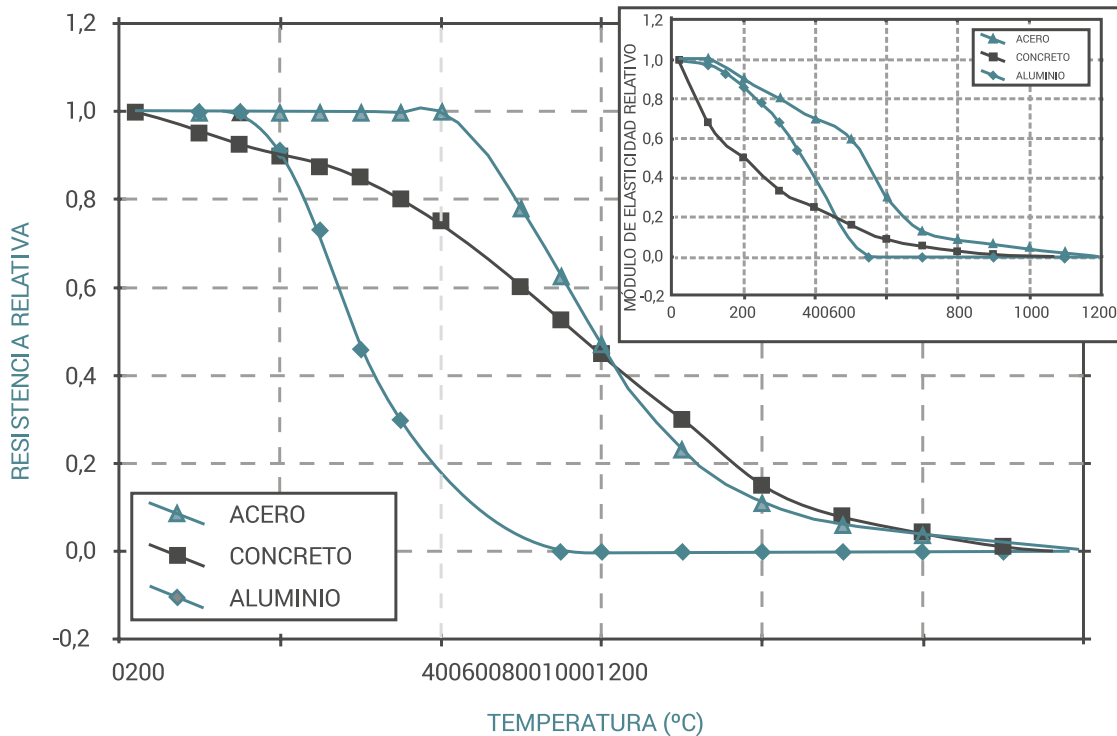


FIGURA 28.- Resistencia relativa de diferentes materiales en función de temperatura.

Para columnas, vigas y estructuras en general, el colapso ocurre cuando una temperatura límite es atacada, sobre la acción de un ensayo normalizado. Esta temperatura límite es conocida como temperatura crítica.

Los valores de temperatura crítica para las estructuras en acero son muy dependientes del nivel de cargas efectivamente aplicadas a las condiciones de contorno de componentes estructurales. Los ensayos estandarizados, internacionales, de resistencia al fuego son efectuados, tradicionalmente, con el componente totalmente cargado conforme a proyecto. Esto eleva las temperaturas críticas en una faja de 450 °C - 650 °C.

En este caso existirán gradientes de temperaturas significativos a lo largo de la sección transversal, esto es, en este caso el componente no es uniformemente climatizado a través de la sección transversal y a lo largo del componente (situación común en la mayoría de los incendios), la temperatura crítica puede atacar los 900 °C o aún más.

Resumen de la descripción del ensayo de resistencia al fuego

El término de “resistencia al fuego” está asociado a la habilidad de un elemento contractivo en continuar a desempeñar su función como barrera o el componente estructural durante el evento de un incendio. Convencionalmente, esta es determinada a través del ensayo de una muestra en tamaño real, cargada al límite y sometida a un incendio predeterminado. Este concepto fue inicialmente introducido en 1916 y fue basado en observaciones de temperaturas de incendios en madera usados en los primeros ensayos Ad Hoc. En el ensayo estandarizado, la curva tiempo-temperatura es afectada a través de la programación de la temperatura del horno de ensayo por medio del control de la velocidad del suministro de combustible

(aceite o gas). Desgraciadamente como la temperatura medida se refiere a los gases dentro del horno, la exposición a este incendio es sensible a las propiedades físicas de las paredes de los hornos. Se acepta que el modo predominante de transferencia de calor al espécimen ocurre por radiación de las paredes. Si existe una baja inercia térmica, entonces la temperatura superficial crecerá rápidamente, resultando una exposición al fuego mucho más severa de la que se observa en un horno idéntico cuyas paredes son construidas a partir de un material más denso. Así, podemos concluir que no existen dos hornos capaces de proporcionar la misma condición de exposición. Tales anomalías fueron notadas en el pasado, pero solo recientemente fueron propuestas las especificaciones para las propiedades térmicas para los contornos de los hornos.

Es normal equiparar la resistencia al fuego de un elemento de estructura y tiempo de falla en un ensayo predeterminado, aunque un incendio real puede ser muy diferente que el del ensayo.

El número total de ensayos varía de un país a otro, pero generalmente es uno o dos para cada tipo de componente. Para columnas, vigas y estructuras se considera que el colapso es atacado cuando éstos no pueden soportar más carga de la prescrita en el proyecto, o si los componentes fueran probados sin carga, se supone que el colapso ocurriría cuando la temperatura medida en el acero exceda un valor crítico definido. Es por eso, que la resistencia al fuego es siempre dependiente de las características térmicas de un material dado utilizado aisladamente.

Las pruebas son normalmente efectuadas siguiendo una relación temperatura-tiempo para los gases de la atmósfera del horno. Por lo tanto, la relación no siempre es idéntica: AISO 834 y la ASTM E119, de las normas internacionales que tratan el asunto, difieren levemente.

Debemos resaltar, que aunque dos hornos puedan tener atmósferas que sigan una misma curva de calefacción, los componentes sobre las pruebas pueden ser calentadas a diferentes velocidades, llevando así los diferentes tiempos de resistencia al fuego. Es importante resaltar que estos modelos de ensayo normalizados no representan un incendio real, es por eso que sus resultados siempre deben ser analizados con cuidado.

Las normas de ensayo, tales como LPS 1107, BS 476, ISO 834 y ASTM E119 requieren, normalmente, que una carga sea aplicada al componente por todo el curso del ensayo. Algunas normas, como las ASTM E119 y la AS 11530 permiten el uso alternativo de componentes no cargados.

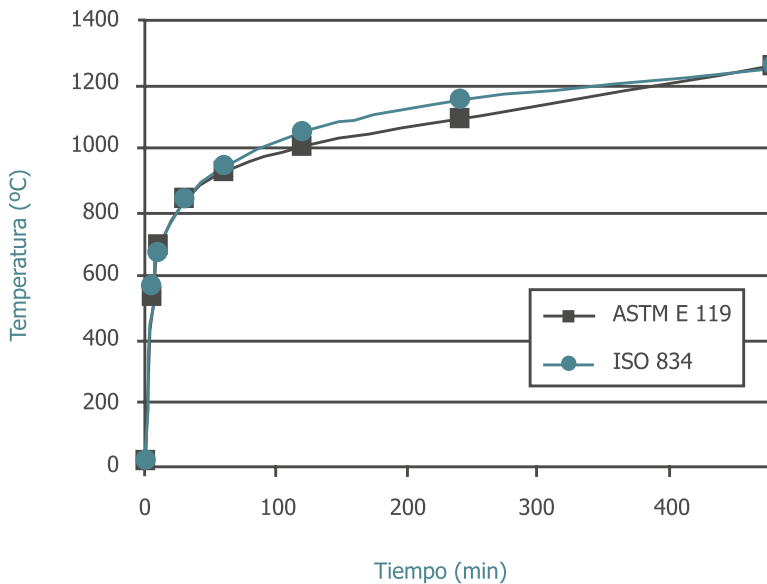


Figura 29.- Curvas de calentamiento para el incendio - estándar.

La curva de incendio predeterminada descrita por la norma ISO 834 es dada por la ecuación:
 $T = 345 \log(8t + 1) + T_0$

Donde T es la temperatura de los gases (°C) t es el tiempo (min) y T_0 es la temperatura inicial en el instante donde $t = 0$, generalmente admitida como 20°C.



7.5 FACTOR DE FORMA

La resistencia al fuego se expresa en unidades de tiempo. De ese modo, uno de los factores que contribuyen para la resistencia al fuego y la velocidad de calefacción del componente, que gobierna, es el tiempo transcurrido para alcanzar la temperatura de colapso (o temperatura crítica). La velocidad de calefacción está en función de las dimensiones de sección.

Una sección de baja esbeltez, de gran masa, se calentará más lentamente que una sección esbelta, así, una sección pesada tendrá una mayor resistencia al fuego.

Este efecto es cuantificado por el llamado factor de forma, que corresponde a la razón del perímetro calentado (H_p) sobre el área de la sección transversal (A). El factor de forma puede tomar distintos valores para un mismo perfil.

El factor de forma de un perfil dado, está en función cómo es elegido el perfil y de cómo es protegido. Como ejemplo, un perfil w 460 x 52.0 puede presentar diferentes factores de forma.

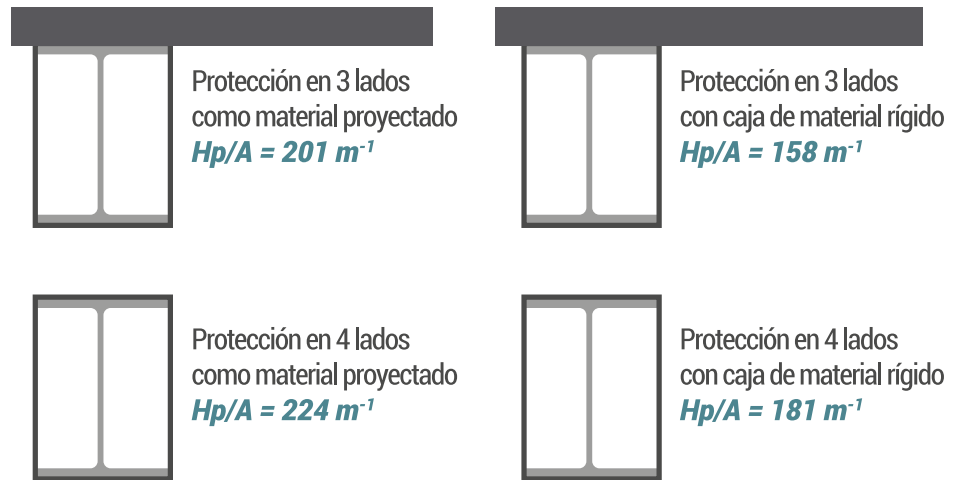


Figura 30.- Un mismo perfil puede tener diferentes factores de forma.

7.6 CÁLCULO DE ESPESORES

En los casos en que la protección pasiva sea necesaria, su espesor puede ser determinado a partir de datos proporcionados por los fabricantes de los materiales de protección, estos documentos son conocidos usualmente como cartas de cobertura.

Las recomendaciones de los fabricantes relacionan, de manera general, el espesor de la protección con el factor de forma (H_p/A), y el tiempo requerido. De manera general, las recomendaciones de espesor son derivadas en la norma NBR 5628 "Componentes Constructivos Estructurales y Determinación de Resistencia al Fuego" (cuando el ensayo es aplicado en Brasil), u otra norma internacional ampliamente aceptada para cualquier otra ciudad.

Para una construcción típica se utilizan perfiles laminados I o H, el valor de H_p/A está situado en un valor entre 60 y 400 m^{-1} , siendo un valor de 63 m^{-1} asociado con un pilar IR 356 x 122.1 protegido en forma de caja por 3 lados, sin embargo en un pilar esbelta W 152 x 22.4 tendrá un valor de H_p/A de 311 m^{-1} para la protección en los cuatro lados.

7.7 MATERIALES UTILIZADOS EN LA PROTECCIÓN TÉRMICA DE ESTRUCTURAS DE ACERO

El primer material de protección pasiva fue planteado en Inglaterra en 1722 por David Hartley. Esta propuesta trataba de un sistema de placas metálicas separadas por arena. El sistema fue instalado con éxito en muchas casas de la época, para prevenir la propagación del incendio de un lado a otro. Así, fue creado el primer sistema de protección.

La protección térmica de elementos estructurales de acero (llamada protección pasiva), es el medio más común de proteger al acero contra incendio. Son varios los materiales que se utilizan con esta finalidad, tales como morteros diseñados exprofeso, pinturas intumescentes, mantas cerámicas o de roca basáltica, yeso y otros.

Materiales Diseñados

Son productos de bajo costo que presentan buen aislamiento térmico a altas temperaturas, manteniendo la integridad de la estructura durante la evolución del incendio.

Estos materiales tienen como aglutinantes básicos el yeso y el cemento Portland, y son aplicados por proyección de baja presión. Contiene agregados de baja densidad y aditivos de función reológica, a modo de facilitar la aplicación de los materiales con un mínimo de desprendimiento. Después del secado trabajan monolíticamente con la estructura, acompañando sus movimientos, sin la ocurrencia de fisuras y desprendimiento.

Estos materiales trabajan en protección de dos modos diferentes. El primero de éstos es proporcionado por el efecto de refrigeración otorgado a la estructura, porque el agua se retira de la estructura (físicamente o químicamente), y se evapora tan pronto como el fuego avanza. Una vez que el agua que tiene ha sido convertida en vapor, el producto empieza a actuar, entonces, como un aislante térmico. Minerales de baja densidad y agregados sintéticos son utilizados en esos productos, permitiendo la liberación de vapor con facilidad, mientras que el uso de materiales más densos podría impedir el escape de vapor.

PROPIEDADES	MORTERO DISEÑADO	FIBRA DISEÑADA	ESPECIFICACIÓN RECOMENDADA	MÉTODO DE ENSAYO
Densidad seca media	240 kg/m ³	280 kg/m ³	2 kg/m ³	ASTM E 605
Adherencia al acero compresión 10%	16.2 kPa	15.9 kPa	9.6 kPa	ASTM E 736
Deformación máx.	68.9 kPa	85.7 kPa	57 kPa	ASTM E 761
Erosión al aire	0 g/m ²	0 g/m ²	Max. 0.05 g/m ²	ASTM E 859
Corrosión	No Contribuye	No Contribuye	No Contribuye	ASTM E 937
Deflexión	Sin fisuras o deslaminación	Sin fisuras o deslaminación	Sin fisuras o deslaminación	ASTM E 759

La durabilidad de tales revestimientos deberá ser la misma que la estructura, proporcionándole mantenimiento, y no promoviendo cualquier tipo de ataque corrosivo al acero. No son higroscópicos, tomando no necesario el uso de pinturas de fondo y otros sistemas de protección contra la corrosión en estructuras internas.

El costo de los materiales diseñados es menor que el de los otros sistemas existentes. Como el costo del material diseñado es pequeño cuando es comparado con el mantenimiento del equipamiento en la aplicación local sumando la mano de obra, los costos no crecen en proporción de los tiempos requeridos de resistencia al fuego.

La aplicación de esta clase de productos es bastante simple, recubriendo con facilidad detalles complejos.





Mortero Diseñado

Son productos con alto contenido de aglomerantes que, cuando son mezclados en agua, generan una masa fluida que puede ser fácilmente bombeada. Son presentados como productos de baja, media y alta densidad, y se constituyen básicamente de yeso (aproximadamente el 80% de su peso seco), cemento Portland (principalmente en materiales de media y alta densidad), resinas acrílicas y cargas inertes, tales como poliestireno expandido, celulosa y concertantes.

Los materiales de baja densidad son aplicados, de manera general, en obras internas. Los de media densidad son aplicados en obras internas con requisitos de cierta resistencia al impacto y a la humedad y los de alta densidad son utilizados en obras externas donde el riesgo de impacto es alto, así como la humedad.

Estos productos, de manera general, no necesitan, para su aplicación, retirar la quemadura de laminación o de alguna oxidación formada. Antes de la aplicación, se hace una limpieza manual, se retira el material suelto sobre la superficie.

Para aplicaciones típicas en interiores, donde el acero será enclaustrado en un ambiente controlado, la utilización de un primer es, de manera general, innecesaria. Las excepciones son las áreas con alta humedad, como las piscinas, lavanderías, cocinas, etc. En éstas, puede ser necesaria la adición de un puente de adherencia, que consiste en una base acrílica soluble en agua. Los aceros no pintados presentan una mejor condición de adherencia con los materiales, permitiendo la utilización de elementos de anclaje, salvo piezas de excesiva altura. En éstas, puede ser necesario la utilización de algún tipo de anclaje mecánico. Como por ejemplo, la utilización de telas de fijación. Las instrucciones contenidas en la UL Fire Resistance Directory son apropiadas para la elección del sistema de fijación, cuando es necesario.

Cuando la temperatura ambiente ataca entre los 90° C – 150° C, las aleaciones químicas existentes en el yeso hidratado se comienzan a romper, liberando agua de hidratación. Esta reacción absorbe la energía del fuego, que sería conducida al acero. Este proceso permite al acero mantener una temperatura relativamente baja por 20 a 30 min., durante la primera hora crítica del incendio. La misma consideración es aplicada para placas de yeso acartonado.

Fibra Diseñada

Son productos de baja y media densidad, su contenido está constituido básicamente por fibras obtenidas a partir de la escoria del alto horno como principal ingrediente. Estas fibras son mezcladas con cemento Portland (20 a 30% del peso seco total), para crear una mezcla de baja densidad.

El mortero a base de fibras utiliza las propiedades aislantes de la fibra producida a partir de la escoria para proteger el acero.

Mortero Diseñado a base de Vermiculita

Es un producto de baja densidad, compuesto básicamente de vermiculita expandida, cemento Portland y aglomerados minerales. Este material debe ser completamente libre de asbesto, y, para mejorar su adherencia al acero, normalmente es necesaria la utilización de telas.

Materiales Rígidos

Son placas rígidas y mantas flexibles o semirrígidas compuestas de varios materiales, tales como la cerámica, yeso acartonado resistente al fuego, placas de silicato de calcio y vermiculita son también utilizadas en la protección estructural. Propician la protección estructural del mismo modo que los materiales diseñados, y son fijados en seco alrededor del acero utilizando clip, pin o sistemas propios.



Los materiales rígidos presentan, de manera general, una buena apariencia, en general en forma de caja, que puede ser decorado. La fijación es hecha en seco y no presenta interferencias serias con los otros sistemas, también pueden ser aplicados sobre la estructura no pintada.

Las principales desventajas son el costo más elevado que tienen con respecto a los materiales diseñados, la dificultad de su aplicación alrededor de los detalles complejos y la baja velocidad de aplicación.

Placas de Yeso Acartonado

Las placas de yeso contienen fibra de vidrio y, en algunos casos, vermiculita incorporada. Al igual que el mortero, el yeso de la placa pierde moléculas de agua de hidratación durante el calentamiento, manteniendo una baja temperatura en el acero. También internamente, una malla de fibra de vidrio que mantiene el conjunto estructurado cuando está expuesto a temperaturas elevadas de incendio. La placa es mantenida, de manera general, visible en estructuras, por motivos estéticos.

Placas de Lana de Mineral

Son paneles de baja densidad, rígidos y flexibles, hechos de materiales fibrosos, aglomerados por la adición de resinas termoendurecedoras.

La materia prima básica utilizada en la confección de estas placas es el basalto. Son fijadas con clips de acero soldados a la estructura metálica.

Mantas Cerámicas

Son productos formados a partir de fibras silico-aluminosas, puestas a la estructura por medio de clips soldados en la estructura.

Pinturas Intumescentes

Corresponden al tercer grupo genérico de materiales de protección pasiva y son clasificados como productos aparentes de las pinturas.

Su nombre se deriva del latín tumescere, que significa iniciar, expandir, en situación de incendio, esas pinturas especiales se expanden a partir de 200° C, formando una espuma carbónica rígida que aísla eficientemente los gases calientes, generados en el incendio, del acero. Es importante resaltar que las propiedades del acero no son alteradas a esas temperaturas.

Antes de la aplicación de esta pintura especial, la superficie deberá ser preparada conforme a las recomendaciones del fabricante, un primer compatible deberá ser aplicado. Como esta pintura no presenta gran resistencia física y química, deberá ser recubierta por

una pintura de acabado de base acrílica o poliuretánica, a criterio del productor de la pintura.

Esta pintura puede ser aplicada con brocha, rodillo o con spray, y la apariencia final del sistema (primer epóxico, acrílico o alquidático, pintura intumescente, y pintura de acabado acrílica o poliuretánica), es siempre muy buena. Los detalles complejos pueden ser fácilmente recubiertos, y el mantenimiento como cualquier pintura, bastante sencillo.

Las pinturas intumescentes tienen, como ventaja principal, el atractivo estético, permitiendo que la estructura sea expuesta en toda su plenitud, mostrando un acabado atractivo.

Las principales desventajas de las pinturas intumescentes son su costo elevado cuando es comparado con las otras formas de protección y aplicación en sitio, que requiere condiciones atmosféricas favorables (además de necesitar varias manos para poder atacar el espesor necesario). Otra desventaja es que el tiempo de protección presentado por la mayor parte de estas pinturas no va más de 60 min. Un número de pinturas intumescentes puede ser usado por periodos más largos, tales como 90 y 120 min, y el costo de la aplicación es naturalmente mucho más elevado que el de 60 min.

Ahogado en Concreto

Hasta los años 70 el concreto era el medio más común de protección de estructuras metálicas en varios países del mundo. Por lo tanto, la introducción en el mercado de sistemas industrializados de bajo peso tales como los productos rígidos, diseñados o intumescentes propician una reducción dramática en su uso. Actualmente, en varios países desarrollados, como Inglaterra, el ahogado en concreto corresponde un pequeño porcentaje de la protección.

La principal ventaja en la utilización del concreto como material de protección pasiva respecto a la durabilidad. El ahogado tiende a ser utilizado cuando el componente en el acero está sujeto a riesgo por impacto, abrasión o exposición al intemperismo (por ejemplo los estacionamientos subterráneos).

Las desventajas de la protección con concreto son el costo (es una de las más caras formas de protección), la velocidad (consume tiempo en la obra), el peso (la edificación será mucho más pesada), y la reducción de espacio alrededor de las columnas.

8. NORMATIVA RELACIONADA EN MÉXICO

Para la protección contra incendio favor de hacer referencia a las siguientes normas:

REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL PUBLICADO EN LA GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL EL 29 DE ENERO DE 2004

TÍTULO QUINTO DEL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

CAPÍTULO IV DE LA COMUNICACIÓN, EVACUACIÓN Y PREVENCIÓN DE EMERGENCIAS

SECCIÓN PRIMERA DE LAS CIRCULACIONES Y ELEMENTOS DE COMUNICACIÓN

ARTÍCULO 90.- Para efectos de este Capítulo, las edificaciones se clasifican en función al grado de riesgo de incendio de acuerdo con sus dimensiones, uso y ocupación, en: riesgos bajo, medio y alto, de conformidad con lo que se establece en las Normas.

SECCIÓN SEGUNDA DE LAS PREVENCIÓNES CONTRA INCENDIO

ARTÍCULO 110.- Las características que deben tener los elementos constructivos y arquitectónicos para resistir al fuego, así como los espacios y circulaciones previstos para el resguardo o el desalojo de personas en caso de siniestro y los dispositivos para prevenir y combatir incendios se establecen en las Normas.

TÍTULO SEXTO DE LA SEGURIDAD ESTRUCTURAL DE LAS CONSTRUCCIONES

CAPÍTULO I GENERALIDADES

ARTÍCULO 139.- Para los efectos de este Título las construcciones se clasifican en los siguientes grupos:

I. Grupo A: Edificaciones cuya falla estructural podría constituir un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, así como edificaciones cuyo funcionamiento es esencial a raíz de una emergencia urbana, como: hospitales, escuelas, terminales de transporte, estaciones de bomberos, centrales eléctricas y de telecomunicaciones, estadios, depósitos de sustancias inflamables o tóxicas, museos y edificios que alojen archivos y registros públicos de particular importancia, y otras edificaciones a juicio de la Secretaría de Obras y Servicios.

II. Grupo B: Edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A, las que se subdividen en:

a) Subgrupo B1: Edificaciones de más de 30 m de altura o con más de 6,000 m² de área total construida, ubicadas en las zonas I y II a que se aluden en el artículo 170 de este Reglamento, y construcciones de más de 15 m de altura o más de 3,000 m² de área total construida, en zona III; en ambos casos las áreas se refieren a un solo cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo: acceso y escaleras, incluyendo las áreas de anexos, como pueden ser los propios cuerpos de escaleras. El

área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se adicionará a la de aquel otro a través del cual se desaloje;

b) Edificios que tengan locales de reunión que puedan alojar más de 200 personas, templos, salas de espectáculos, así como anuncios autosoportados, anuncios de azotea y estaciones repetidoras de comunicación celular y/o inalámbrica, y

c) Subgrupo B2: Las demás de este grupo.

NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS

7. ESTADOS LÍMITE DE SERVICIO

7.5 Fuego y explosiones

Las estructuras deberán protegerse contra el fuego, para evitar pérdidas de resistencia ocasionadas por las altas temperaturas. El tipo y las propiedades de la protección utilizada dependerán de las características de la estructura, de su uso y del contenido de material combustible.

En casos especiales se tomarán precauciones contra los efectos de explosiones, buscando restringirlos a zonas que no pongan en peligro la estabilidad de la estructura.

NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

CAPÍTULO 4 COMUNICACIÓN, EVACUACIÓN Y PREVENCIÓN DE EMERGENCIAS

4.5 PREVISIONES CONTRA INCENDIO

El Director Responsable de Obra y los Corresponsables de Instalaciones y de Diseño Urbano y Arquitectónico deben considerar lo establecido en esta Norma e incluir los criterios de diseño y las resistencias de los materiales en la Memoria Descriptiva, en su caso, lo dispuesto en las siguientes Normas Oficiales Mexicanas relativas a la seguridad, fabricación y selección de equipos para el combate de incendios:

NOM-002-STPS "Condiciones de seguridad – Prevención, protección y combate de incendios en los centros de trabajo"

NOM-005-STPS "Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas"

NOM-026-STPS "Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías"

NOM-100-STPS "Seguridad - Extintores contra incendio a base de polvo químico seco con presión contenida - Especificaciones"

NOM-101-STPS "Seguridad - Extintores a base de espuma química"

NOM-102-STPS "Seguridad - Extintores contra incendio a base de bióxido de carbono-Parte 1: recipientes"

NOM-103-STPS "Seguridad - Extintores contra incendio a base de agua con presión contenida"

NOM-104-STPS "Seguridad- Extintores contra incendio a base de polvo químico seco tipo ABC, a base de fosfato mono amónico"

NOM-106-STPS "Seguridad - Agentes extinguidores - Polvo químico seco tipo BC, a base de bicarbonato de sodio"

4.5.1 Grado de Riesgo de Incendio en las Edificaciones

Con base en el artículo 90 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, las edificaciones se clasifican en función al grado de riesgo de incendio, de acuerdo a sus dimensiones, uso y ocupación conforme lo que establecen las Tablas 4.5-A y 4.5-B.

Tabla 4.5 A

CONCEPTO	GRADO DE RIESGO PARA EDIFICACIONES NO HABITACIONALES		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Altura de la edificación (en metros)	Hasta 25	No aplica	Mayor a 25
Número total de personas que ocupan el local incluyendo trabajadores y visitantes	Menor de 15	Entre 15 y 250	Mayor de 250
Superficie construida (m ²)	Menor de 300	Entre 300 y 3,000	Mayor a 3,000
Inventario de gases inflamables (Lt.)	Menor de 500	Entre 500 y 3,000	Mayor de 3,000
Inventario de líquidos inflamables (Lt)	Menor de 250	Entre 250 y 1000	Mayor de 1,000
Inventario de líquidos combustibles (Lt)	Menor de 500	Entre 500 y 2,000	Mayor de 2,000
Inventario de sólidos combustibles (Kg)	Menor de 1,000	Entre 1,000 y 5,000	Mayor de 5,000
Inventario de materiales pirofóricos y explosivos	No existen	No existen	Cualquier cantidad

Tabla 4.5 B

CONCEPTO	GRADO DE RIESGO PARA EDIFICACIONES CON VIVIENDA		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Edificaciones con uso exclusivo de vivienda	Hasta 6 niveles	Más de 6 a 10 niveles	Más de 10 niveles
Usos mixtos	De acuerdo a la tabla de riesgos no habitacionales		

4.5.1.1 Indicaciones para la Determinación del Grado de Riesgo:

- I. La clasificación para un inmueble se determinará por el grado de riesgo de incendio más alto que se tenga en cualquiera de los edificios, áreas o zonas que existan en un mismo predio;
- II. En caso de que un inmueble presente zonas con diversos grados de riesgo, los dispositivos o medidas de previsión y control deben aplicarse en cada zona de acuerdo a sus características constructivas y al elemento que genera el riesgo;
- III. Las edificaciones que tengan una zona clasificada con grado de riesgo alto, ésta se debe aislar de las demás zonas con riesgo medio o bajo en el mismo inmueble y con la colindancia. De la misma manera se debe aislar las zonas o áreas de grado de riesgo medio de las demás áreas con riesgo bajo y las colindancias. En caso de no existir este aislamiento, los dispositivos y medidas de control se deben aplicar de acuerdo al grado de riesgo más alto que se presente en toda la zona;
- IV. En cada inmueble se delimitará físicamente cada una de las áreas o zonas con características similares para los efectos de la propagación de fuego y calor, conforme a lo que se determina en estas normas, de acuerdo a la separación entre edificios, las características de las losas entre los niveles de construcción o las áreas delimitadas por muros y puertas cortafuego; y
- V. Para el cálculo de metros cuadrados, alturas, número de ocupantes en inmuebles con varios cuerpos, estos parámetros se aplicarán por edificio. En cuanto al número de personas que ocupan el lugar, se debe tomar en cuenta a la máxima población fija probable más la flotante en cada área o zona físicamente delimitada para la propagación de fuego. Los inventarios se considerarán asimismo por zona físicamente delimitada para la propagación de los efectos de explosión, fuego y calor.

4.5.2 Resistencia al Fuego

Los elementos constructivos, sus acabados y accesorios en las edificaciones, en función del grado de riesgo, deben resistir al fuego directo sin llegar al colapso y sin producir flama o gases tóxicos o explosivos, a una temperatura mínima de 1200° K (927° C), durante el lapso mínimo que establece la siguiente tabla y de conformidad a la **NMX-C-307 “Industria de la construcción - edificaciones- componentes - resistencia al fuego - determinación”**.

La resistencia mínima al fuego de los elementos constructivos, acabados y accesorios se establece en la siguiente tabla:

La resistencia mínima al fuego de los elementos constructivos, acabados y accesorios se establece en la siguiente tabla:

TABLA 4.6

GRUPO DE ELEMENTOS	RESISTENCIA MÍNIMA AL FUEGO (MINUTOS)		
	EDIFICACIONES DE RIESGO BAJO	EDIFICACIONES DE RIESGO MEDIO	EDIFICACIONES DE RIESGO ALTO
Elementos estructurales (Muros de carga, exteriores o de fachadas; columnas, vigas, trabes, arcos, entrepisos, cubiertas)	120	120	180
Escaleras y rampas	120	120	180
Puertas cortafuegos de comunicación a escaleras, rampas y elevadores	120	120	180
Puertas de intercomunicación, muros divisorios y canceles de piso a techo o plafon fijados a la estructura	60	60	120
Plafones y sus sistemas de sustentación	30	30	30
Recubrimientos a lo largo de rutas de evacuación en locales donde se concentren más de 50 personas	120	120	120
Elementos decorativos	30	30	30
Acabados ornamentales, tapicería, cortinajes y elementos textiles incorporados a la edificación	30	30	30
Campanas y hogares de fogones y chimeneas	180	180	180
Ductos de instalaciones de aire acondicionado y los elementos que los sustentan	120	120	120
Divisiones interiores y canceles que no lleguen al techo	30	30	30
Pisos Falsos para alojar ductos y cableados	60	60	60

CONDICIONES COMPLEMENTARIAS A LA TABLA 4.6

- I. Los elementos estructurales de acero de las edificaciones en las áreas o zonas de un inmueble con grado de riesgo alto, deben protegerse con placas o recubrimientos resistentes al fuego que cumplan con los valores especificados en esta tabla;
- II. Los elementos estructurales de madera en las edificaciones, para cualquier grado de riesgo, deben protegerse por medio de tratamiento por inmersión o desde su proceso de fabricación para cumplir con los tiempos de resistencia al fuego, en caso contrario podrán protegerse con placas o recubrimientos o refuerzos resistentes al fuego que cumplan con los valores especificados en esta tabla;
- III. Los productos ignifugantes para retardar la propagación de la llama y su incandescencia posterior en tejidos textiles deben garantizar los tiempos de resistencia al fuego directo que se señalan en esta tabla. Las características de los acabados, recubrimientos y elementos de ornato fijos a base de textiles, plásticos y madera deben ser justificadas por el Director Responsable de Obra en la memoria técnica;
- IV. Los plafones y los recubrimientos térmicos o mecánicos de los ductos de aire acondicionado y de las tuberías de cualquier tipo, se construirán exclusivamente con elementos que no generen gases tóxicos o

- explosivos en su combustión;
- V. En los locales de los edificios destinados a estacionamiento de vehículos, bodegas y espacios o áreas de circulación restringida de personas como son locales técnicos, bóvedas de seguridad, casas de bombas, subestaciones o cuartos de tableros, quedarán prohibidos los acabados o decoraciones a base de materiales inflamables; y
- VI. Para determinar o evaluar la capacidad de resistencia al fuego de un material, de un producto, o de la aplicación de un producto sobre un material, se aplicarán los métodos y procedimientos de prueba que establecen las Normas Mexicanas aplicables.

SECRETARÍA DE COMERCIO Y FOMENTO INDUSTRIAL NORMA MEXICANA

NMX-C-307-1982: "INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN EDIFICACIONES COMPONENTES RESISTENCIA AL FUEGO DETERMINACIÓN"

Objetivo. (NMX-C-307-1982)

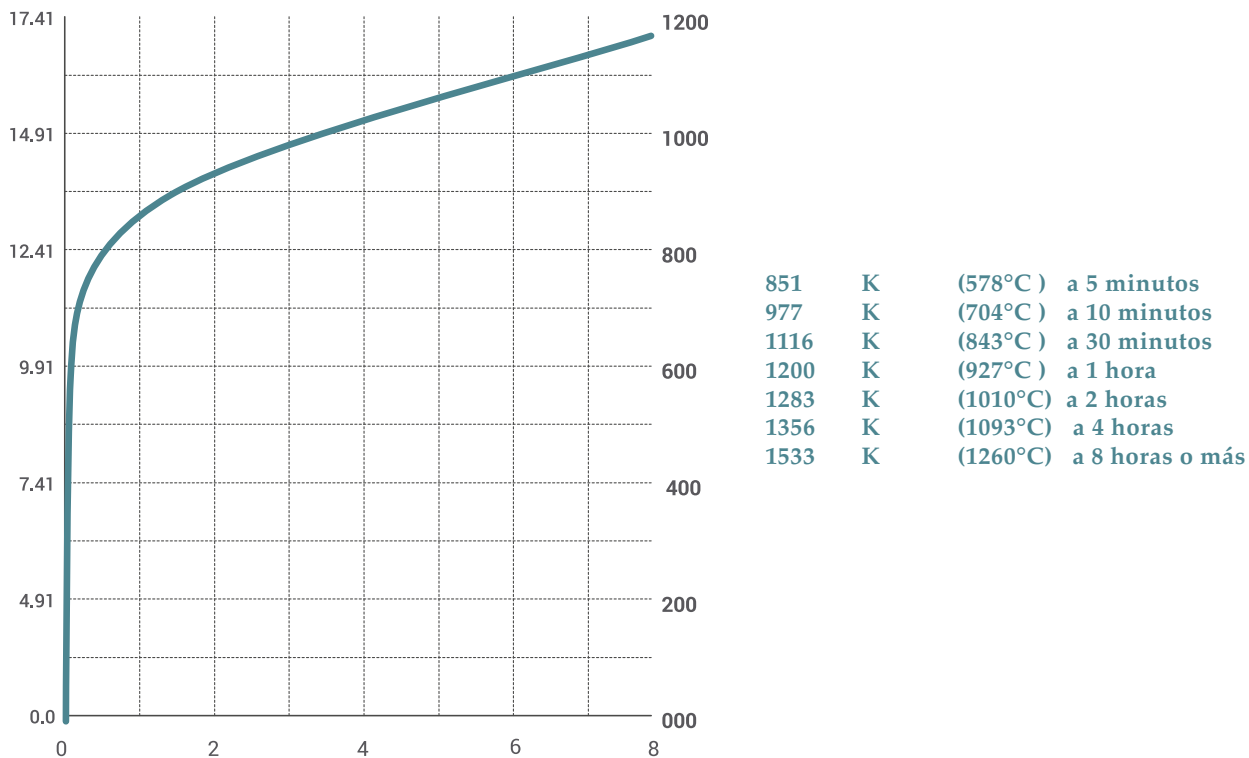
Esta Norma establece el comportamiento de los componentes de las construcciones ante el fuego y de este comportamiento se analiza:

El período de resistencia al paso del fuego de cada espécimen analizado, que mantenga su integridad. Para lograr tal objetivo, el espécimen se sujeta a temperaturas específicas de acuerdo a períodos de tiempo determinados. En algunos casos, la exposición de un chorro de agua con manguera y chiflón contra incendio; de normas específicas. Sin embargo, y a pesar de que la exposición al fuego puede no ser representativa, por la variación de condiciones (distribución del fuego, ventilación, tamaño local, confinación del calor), la prueba proporciona una medida relativa del comportamiento de los componentes bajo las condiciones que se especifican.

6. Curva de Tiempo – Temperatura (Ver NMX-C-307-1982)

La realización de las pruebas de resistencia al fuego en materiales y construcciones debe ser controlado por la curva de tiempo-temperatura tal como se indica en la figura No.1 y de acuerdo a los incrementos siguientes:

Tabla No. 1.





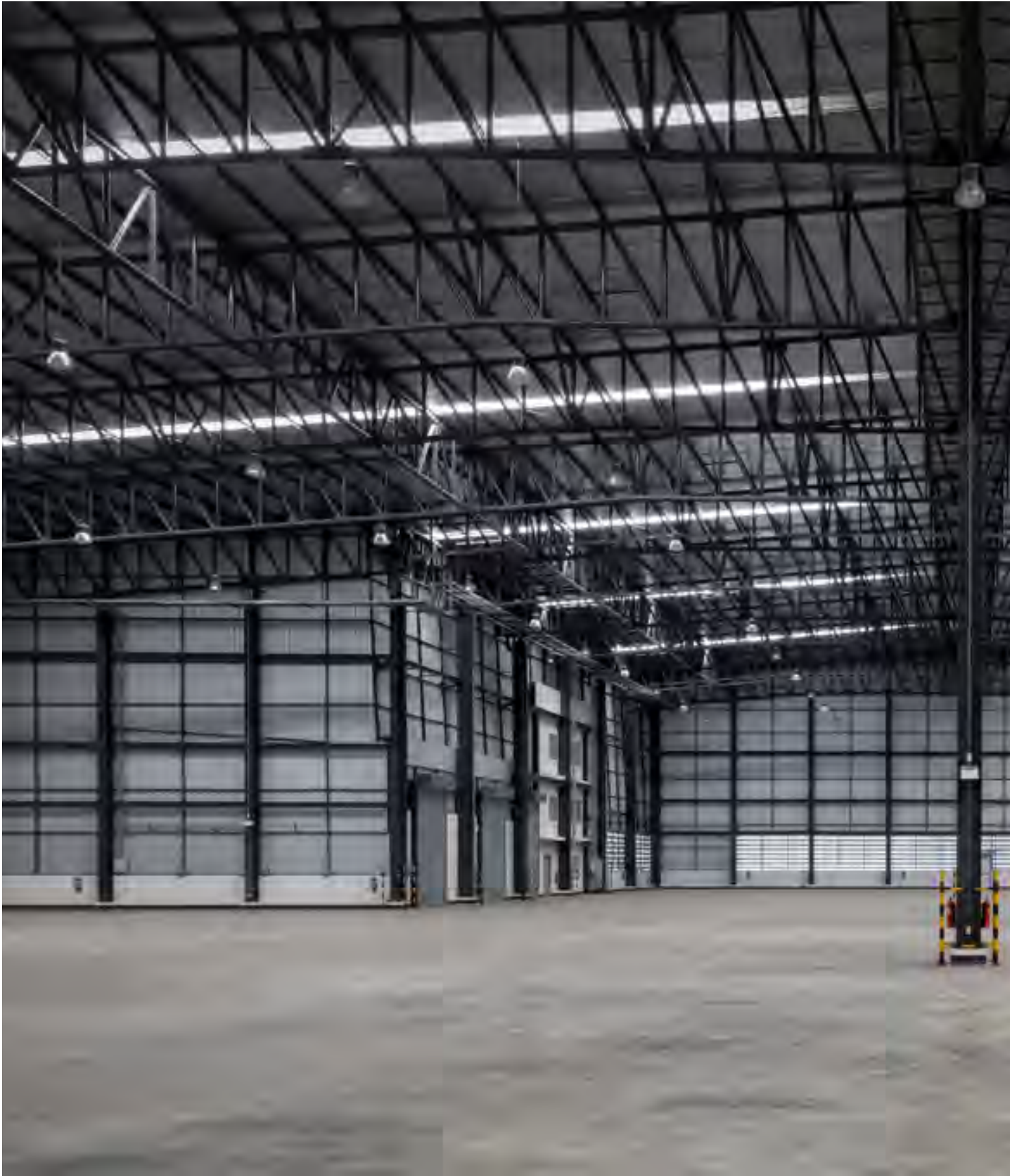
NMX-C-294-1980: “DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL QUEMADO SUPERFICIAL DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN”

Objetivo. (NMX-C-294-1980)

El propósito de esta Norma es determinar características comparativas del quemado de los materiales de construcción, mediante la evaluación de la propagación de la flama sobre su superficie, cuando se expone al fuego, y por lo tanto establecer una base sobre la cual, las características de quemado de la superficie de los diferentes materiales, puedan ser comparadas, mediante un método que intenta registrar el comportamiento de los materiales durante el período de exposición al fuego, no determina el uso adecuado de los materiales en la construcción.

PRODUCTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	
Proyectados	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicación rápida • Bajo costo • Aplicados directamente sobre el acero • Cobertura de detalles complejos • Permiten la aplicación externa 	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia bruta • No permiten la aplicación off-site 	
Rígidos	<ul style="list-style-type: none"> • Buena apariencia • Fijación en seco • Espesor garantizado • No necesita de preparación superficial 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo puede ser elevado • Lento para fijación • Difícil fijación alrededor de detalles complejos 	
Mantas	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo comparado a los materiales rígidos • Fijación en seco 	<ul style="list-style-type: none"> • Apariencia 	
Intumescentes	<ul style="list-style-type: none"> • Buena apariencia • Cobertura de detalles complejos • No toma espacio ni adiciona peso • Aplicación rápida • Pueden ser aplicada soff-site 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo puede ser elevado • No competitivo para altos TRRF's • Sensible a condiciones climáticas adversas 	

Figura 31. Ventajas y desventajas de algunos sistemas de protección común.





DIRECTORIO

OFICINAS COMERCIALES

T. +52 55 5262 7300 / Av. Ejército Nacional 216 P.2, Anzures, Miguel Hidalgo, CDMX, 11590

PLANTAS

CD. SAHAGÚN

T. +52 791 913 8105 / Km. 3 Ctra. Mex – Cd. Sahagún, Zona Ind. Tepeapulco, Cd. Sahagún, Hidalgo, 43990

TULTITLÁN

T. +52 55 5894 0044 / 2487 2065 / Primera Sur S/N, Independencia, Tultitlán, Edo. de México, 54915

LA PRESA

T. +52 55 5003 4030 / 5062 1916 / Av. La Presa 2, Zona Industrial La Presa, Tlalnepantla, Edo. De México, 54187

DISTRIBUCIÓN

CDMX

T. +52 55 5089 8930 / Año 1857 8, Ticomán, Gustavo A. Madero, CDMX, 07330

MONTERREY

T. +52 81 8748 7610 / Blvd. Carlos Salinas de Gortari 404, Centro Apodaca, Nuevo León, 66600

PATIOS DE CHATARRA Y CENTROS DE RECOLECCIÓN

CD. SAHAGÚN

T. +52 791 9138 105 / Km. 3 Ctra. Mex – Cd. Sahagún, Zona Ind. Tepeapulco, Cd. Sahagún, Hidalgo, 43990

LA PRESA

T. +52 55 5003 4030 / 5062 1916 / Av. La Presa 2, Zona Industrial La Presa, Tlalnepantla, Edo. de México, 54187

LOS REYES

T. +52 55 5856 1651 / Tepozanes Los Reyes, Acaquilpan, México, 56428

GUADALAJARA

T. +52 33 3668 0285 / 36702769 / Av. 18 de Marzo 531, La Nogalera, Guadalajara, Jalisco, 44470

SAN JUAN

T. +52 55 2603 3275 / 5262 7359 / San Juan 675, Granjas Modernas, CDMX, 07460

TULTITLÁN

T. +52 55 5894 0044 / 2487 2065 / Primera Sur S/N, Independencia, Tultitlán, Edo. de México, 54915

VERACRUZ

T. +52 229 923 1359 / Ctra. Fed. Aluminio L. 7 o Camino Puente Roto Km. 1.5, Nuevo Veracruz, Veracruz, 91726



GERDAU CORSA

El futuro se moldea

Somos más allá del acero.

gerdaucorsa.com.mx



Gerdau Corsa. El futuro se moldea.