5

Protección:
Corrosión

Instituto Técnico
de la Estructura
en Acero



ITEA

ÍNDICE DEL TOMO 5

PROTECCIÓN: CORROSIÓN

Lección 5.1: Corrosión General 1

1 CORROSIÓN 4
1.1 Corrosión seca 4
1.2 Corrosión húmeda 4
1.3 ¿Por qué proteger el acero? 5
2 PROTECCIÓN DE LOS ACEROS PARA ESTRUCTURAS 8
2.1 Influencia del entorno y de las condiciones de la superficie 8
2.2 ¿Proteger con qué? 8
2.3 Preparación de la superficie 8
2.4 Protección catódica 10
2.5 Acero inoxidable 10
2.6 Aceros resistentes a la corrosión atmosférica 11
3 RESUMEN FINAL 12
4 BIBLIOGRAFÍA 12
5 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 13
APÉNDICE 1: Características de los revestimientos de pintura y metálicos 15

Lección 5.2: Factores que Gobiernan la Protección del Acero 19

1 ESPERANZA DE VIDA 22
1.1 Tiempo probable transcurrido hasta el primer mantenimiento 22
1.2 Vida entre distintos mantenimientos 22
1.3 Estimación de la exigencia de vida 22

2 PROYECTO 24
2.1 Proyecto acorde con los sistemas de protección 24
2.2 Dónde aplicar la protección 25
2.3 Zonas especiales 25
3 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE 26
3.1 Desengrasado 26
3.2 Eliminación de cascarilla y herrumbre 26
3.3 Limpieza por chorro 26
3.4 Norma sobre la limpieza por chorro 27
3.5 Rugosidad superficial 27
3.6 Bordes cortados con soplete 28
3.7 Otros métodos de preparación de la superficie 28
4 REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES 29
4.1 Sistemas de pintado 29
4.2 Revestimientos metálicos 30
4.3 Metalización 31
4.4 Sistemas metálicos y de pintura 32
5 MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS E INSTALACIONES 33
6 RESUMEN FINAL 37
7 BIBLIOGRAFÍA 37
8 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 38
APÉNDICE 1: Factores que influyen en la elección del sistema de revestimiento 39
APÉNDICE 2: Tipos de pintura 43
TABLAS 49

Lección 5.3: Protección Práctica contra la Corrosión de Edificios 67

1 PROYECTO PRÁCTICO 70
2 TRATAMIENTOS DE LAS CONEXIONES 71
3 TRATAMIENTO DE LAS SOLDADURAS 72
4 ENTORNOS EXTERNOS Y EXTERIORES DE EDIFICIOS 73
5 ENTORNOS EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS 74
5.1 Estructura de acero oculta 74
5.2 Estructura de acero en muros perimétricos 74

6 CASOS ESPECIALES 76
6.1 Acero en hormigón 76
6.2 Secciones huecas 76
6.3 Revestimiento 76
7 RESUMEN FINAL 78
8 BIBLIOGRAFÍA 78
APÉNDICE 1: Exigencias del Eurocódigo 3 79
APÉNDICE 2 83
2.1 Superficies de contacto en las uniones atornilladas de resistencia por fricción 85
2.2 Medios de unión 85
2.3 Medios de unión con revestimiento metálico 86
2.4 Conexiones atornilladas distintas a los pernos de gran apriete por fricción 86
2.5 Aseguramiento del rendimiento satisfactorio de los medios de unión 86

Lección 5.4: Protección contra la Corrosión de Puentes 89

1 INTRODUCCIÓN 92
2 CONDICIONES DE EXPOSICIÓN 93
2.1 Entornos 93
2.2 Factores que influyen en la corrosión 93
2.3 Diversas zonas 94
3 SISTEMAS DE PROTECCIÓN 95
3.1 Sistemas de revestimiento para puentes 95
3.2 Revestimientos metálicos (ver lección 5.2) 95
3.3 Acero inoxidable 95
3.4 Acero resistente a la corrosión atmosférica 95
3.5 Secciones cerradas 96
4 PROTECCIÓN DE DIVERSOS ELEMENTOS 97
4.1 Estructuras bajo carga 97
4.2 Cables y aparatos 97
4.3 Elementos secundarios 97

5 PROYECTO 98
6 MANTENIMIENTO 98
7 RESUMEN FINAL 99
8 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 99

Lección 5.5: Corrosión en Plataformas Petrolíferas y Tablestacas 101

1 PLATAFORMAS PETROLÍFERAS 104
2 TABLESTACADO 107
3 CORROSIÓN EN SUELOS 109
4 MÉTODOS DE CONTROL DE LA CORROSIÓN ELÉCTRICOS 110
5 ORGANISMOS AERÓBICOS Y ANAERÓBICOS 112
6 RESUMEN FINAL 113
7 BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL 113
DIAPOSITIVAS COMPLEMENTARIAS 115

ESDEP TOMO 5
CORROSIÓN

Lección 5.1: Corrosión General

OBJETIVOS/CONTENIDO

Proporcionar a los jóvenes arquitectos e ingenieros una comprensión básica del proceso de corrosión y de los medios prácticos para proteger el acero para estructuras.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Ninguno

RESUMEN

Esta lección presenta la teoría de la corrosión de una manera muy sencilla. Se tratan brevemente las series y la corrosión galvánicas. Se expone la cuestión de por qué es necesaria la protección contra la corrosión del acero para estructuras y se describen los aspectos fundamentales relativos a dicha protección, por ejemplo el establecimiento del entorno, las posibilidades de revestimientos de protección, las opciones de preparación de las superficies y otros, tales como el lavado químico.

1. CORROSIÓN

Los metales más comunes se presentan en la naturaleza como compuestos metálicos. Los principales compuestos o minerales son óxidos y sulfuros.

El proceso de extracción es:

Compuesto → Metal

Los metales reaccionan espontáneamente con cualquier entorno líquido o gaseoso en el que se coloquen, formándose un producto de la corrosión muy similar al mineral original del que se obtuvo el metal. Así:

Mineral de hierro = Oxido de hierro

Herrumbre = Oxido de hierro más agua enlazada químicamente.

Los procesos de corrosión son reacciones químicas que tienen lugar en la superficie del metal y que obedecen a leyes químicas bien establecidas, lo cual es muy útil, ¡si se conocen!. La mayoría de nosotros no necesitamos conocerlas porque no nos enfrentamos diariamente a los problemas de la corrosión. El propósito de esta lección es describir los principales tipos de corrosión que se encuentran en edificios normales, estructuras, instalaciones, fábricas, etc.

Los productos de la corrosión pueden hacer de barrera entre el metal y lo que le rodea, ralentizando de hecho el ritmo de corrosión. Este fenómeno se observa con frecuencia cuando los metales se oxidan al descubierto, proceso conocido como "corrosión seca ("dry corrosion"). No cabe esperar que ocurra cuando los productos de la corrosión son solubles y ésta tiene lugar en un entorno acuoso, es decir "corrosión húmeda" ("wet corrosion"). Por ejemplo, en un entorno seco

cinc + oxígeno → óxido de cinc + agua + oxígeno

¡No ocurre gran cosa!

Pero añádase un condensado ácido (como sucede frecuentemente en entornos industriales) y óxido de cinc + ácido sulfúrico → sulfato de cinc + agua → atención, exposición de cinc.

1.1 Corrosión seca

A temperatura ambiente, la mayoría de los metales tienen una capa muy fina de óxido como resultado de la reacción del metal con el oxígeno de la atmósfera. Los metales sometidos a calentamiento pueden muy bien llevar una capa más pesada, o ésta puede desprenderse. Por ejemplo, el acero que ha sido laminado en caliente posee una capa compleja de óxido físicamente inestable, pero que conserva un valor de protección a condición de que el acero permanezca al descubierto y que la capa siga siendo continua.

El cinc al descubierto tiene una película de óxido de cinc bastante protectora cuyo espesor aumenta lentamente. El aluminio tiene una capa de óxido delgada, de muy alta protección.

La corrosión seca puede parecer improbable, sin embargo, merece la pena recordar que incluso en condiciones totalmente secas tiene lugar algo de corrosión. Esta ha de eliminarse antes de aplicar cualquier forma de revestimiento de protección.

1.2 Corrosión húmeda

La "corrosión húmeda" tiene lugar en entornos húmedos, es decir, en los que la humedad relativa supera el 60%. Estos entornos pueden ser neutros, ácidos o alcalinos.

La destrucción del metal puede ser uniforme, o sea oxidación, localizada, es decir picadura, y corrosión bajo tensión. La destrucción se puede concentrar en zonas contiguas a un metal más noble o en puntos donde está limitado el suministro de oxígeno.

La corrosión húmeda es electro-química. Cuando se sumerge un metal en un líquido conductor (los compuestos de azufre en el agua de una atmósfera industrial, o el cloruro de sodio del agua en un ambiente marino), algunas zonas

muestran una resistencia eléctrica distinta a la del resto de la superficie (figura 1). Una corriente eléctrica "positiva" fluye desde las zonas de **ánodo** negativo (-) a las de **cátodo** positivo (+), lo que ocasiona la disolución o "corrosión" del **ánodo** (figura 2). En otras palabras, una "célula de corrosión" ("corrosion cell") podemos decir que es lo mismo que una batería de coche.

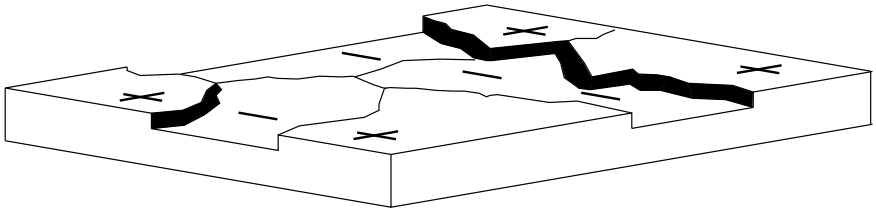


Figura 1

En la bibliografía relativa a la prevención contra la corrosión con frecuencia se utilizan los términos "galvánico" y "serie galvánica".

La **corrosión galvánica** es la destrucción del metal menos noble de dos que están unidos, es decir, en agua salada el cinc es menos noble que el acero dulce, gastándose rápidamente.

La **serie galvánica** es una lista de metales ordenados de acuerdo con su potencial de corrosión, empezando por el más susceptible a la misma y terminando por el menos activo. La lista simplificada que sigue demuestra por qué se utilizan el aluminio y el cinc como revestimientos para proteger el acero dulce, y el acero inoxidable para reemplazarlo en determinadas circunstancias.

Aluminio
Cinc
Hierro
Acero dulce
Acero inoxidable
Cobre
Plata
Oro
Platino

Los metales más activos, por ejemplo el aluminio y el cinc, se describen como poseedores de potenciales eléctricos negativos. Se les puede denominar anódicos. A los menos activos, por ejemplo el oro y el platino, se les denomina nobles o catódicos.

Cuando se conectan dos metales diferentes en presencia de un electrólito, el más noble (catódico) tiende a estar protegido, mientras que el más activo (anódico) se oxida rápidamente.

Conforme aumenta la diferencia de potencial entre dos metales distintos se incrementa también la posibilidad de corrosión galvánica.

En resumen, la corrosión de los metales constituye simplemente una reversión del proceso de su extracción. El 90% de la corrosión marina e industrial es electro-química, y la reacción se asemeja a la que tiene lugar en una batería de coche.

1.3 ¿Por qué proteger el acero?

El acero es básicamente una aleación de hierro y carbono, añadiéndose otros elementos según el método de procesamiento y el rendimiento final requerido. Los aceros para estructuras (aceros de contenido medio de carbono) contienen de 0,12% a 0,24% de carbono. Ya se ha dicho antes que el mineral de hierro es óxido de hierro, mientras que la herrumbre es óxido de

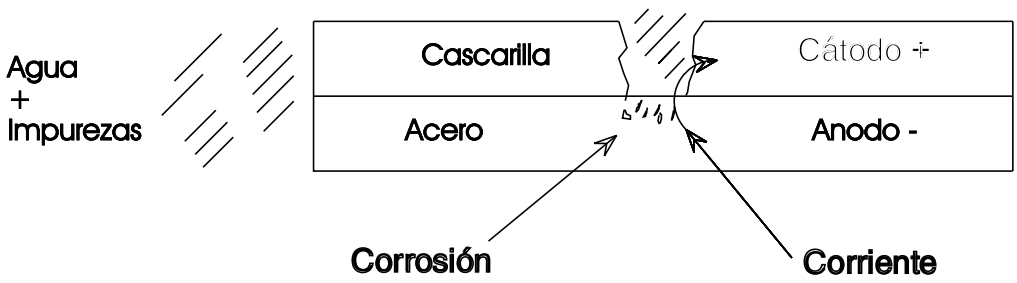


Figura 2

hierro más agua químicamente enlazada. El acero está hecho por el hombre, y es inestable. Se combina fácilmente con el oxígeno y el agua produciendo un óxido de hierro similar al mineral de hierro original anterior al afino.

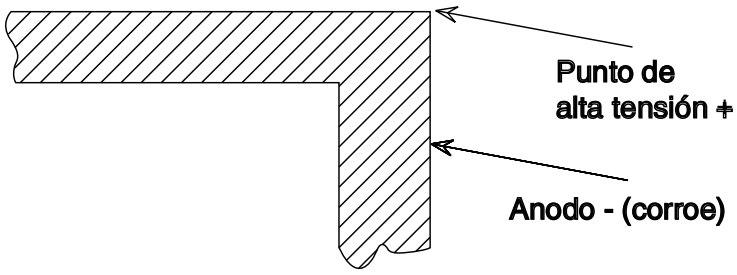


Figura 4

La corrosión electro-química puede alcanzar concentraciones elevadas en ciertos puntos. Si esto sucede, un grado elevado de destrucción en puntos que no representen más del 1% del área superficial total puede anular la utilidad del elemento de acero. Existen varias razones por las que la corrosión local puede concentrarse así:

- La primera razón está relacionada con la presencia de cascarilla de laminación (figura 2). La mayor parte del acero para estructuras empleado está laminado en caliente.

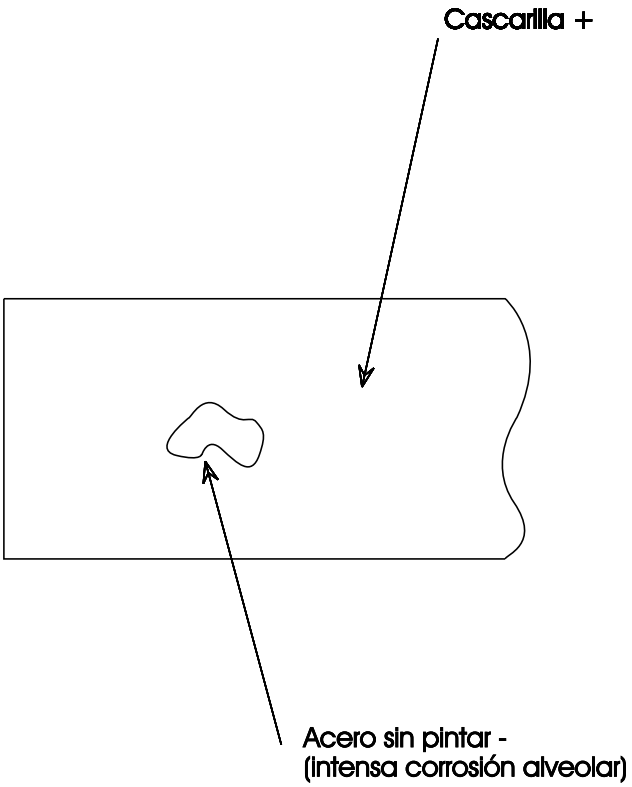


Figura 3

Al acero blanco caliente se le da la forma de perfiles estructurales haciéndole pasar entre cilindros de compresión. En algunas partes del proceso cae agua sobre el acero que se está conformando. Ambas situaciones hacen que sobre la superficie del acero se forme una capa de óxido.

La capa de óxido sobre el acero dulce (soldable) laminado en caliente se denomina cascarilla de laminación. Como ya se apuntó antes, es físicamente inestable. Constituye una entidad aparte del acero, de la misma manera que lo es una capa de pintura.

- Segunda: la cascarilla de laminación no es una capa continua, y no representa una barrera protectora.

- Tercera: la cascarilla de laminación es catódica y el acero anódico. Si existen algunas grietas en la capa de cascarilla, una pequeña condensación con impurezas disueltas que actúe como electrólito, y quizá algo de oxígeno disuelto, se forma una célula de corrosión en la que el acero se disuelve (oxida).

- Cuarta: la existencia de pequeñas zonas desnudas de acero en grandes parches de cascarilla de laminación intacta, es decir grandes zonas catódicas,

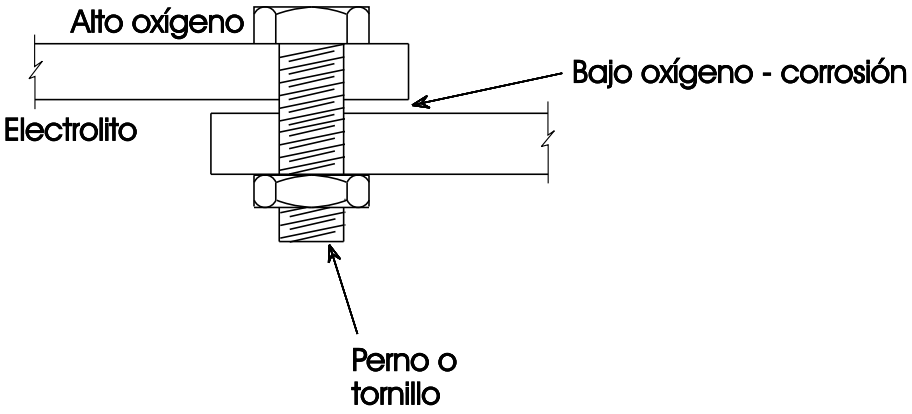


Figura 5

ocasiona un ataque intenso y una grave picadura del acero (figura 3).

- Quinta: el plegado en frío, la soldadura, etc. pueden dar lugar a zonas con tensiones elevadas y parches anódicos (-) y catódicos (+) adyacentes (figura 4).

- Sexta: en las zonas de baja concentración de oxígeno de una célula de corrosión tiene lugar una corrosión en hendiduras (figura 5).

- Séptima: incluso el acero conformado en frío posee zonas anódicas y catódicas que permiten la ocurrencia de la corrosión electro-química (figura 6).



Figura 6 Acero conformado en frío

2. PROTECCIÓN DE LOS ACEROS PARA ESTRUCTURAS

Existen algunas consideraciones prácticas fundamentales.

2.1 Influencia del entorno y de las condiciones de la superficie

Es más probable que tenga lugar la corrosión cuando están presentes uno o más de los siguientes factores:

- Humedad elevada, que proporciona el agua esencial; es decir, humedad superior al 60%.
- Contaminación atmosférica, que proporciona impurezas, por ejemplo sulfuros y cloruros.
- La presencia de cascarilla de laminación con grietas o discontinuidades; la cascarilla se convierte en el polo positivo (cátodo) y el acero en el negativo (ánodo), disolviendo o corroyendo el polo (ánodo) en la célula de corrosión.

Antes de decidir cómo proteger el acero se ha de responder a esta cuestión: "¿Proteger de qué?". La tabla 1 presenta entornos generales. La respuesta a lo siguiente ayudará a responder a lo anterior:

a) ¿Cuál es el entorno general?

b) ¿Es probable que el entorno cambie en un futuro previsible? Si es así, ¿cuál es la causa y de qué manera alterará el entorno general?

c) ¿Existe una contaminación local, por ejemplo de dióxido de azufre, que podría hacer el entorno más agresivo de lo que en principio parece?

d) De acuerdo con el entorno, ¿debe dividirse el proyecto en diferentes partes cuando se establezca el sistema o sistemas de protección, o se puede aplicar de modo genérico el caso más grave para simplificar las cosas?

e) ¿Qué condiciones especiales existen, por ejemplo salpicaduras de agua o charcos residuales, que pudieran descartar el uso de un revestimiento específico?

f) ¿Puede el sistema de protección escogido mantenerse de una manera eficaz y rentable durante la vida útil de la estructura o la instalación?

2.2 ¿Proteger con qué?

El modo más práctico de proteger el acero es la aplicación de otra capa que actúe como ánodo (es decir, que se disuelva preferiblemente en acero), como barrera, o como ambas cosas. Los revestimientos más comunes son las pinturas, la galvanización por inmersión en caliente, el metalizado con cinc o aluminio, y cualquiera de los tres últimos revestido con pintura. Sus características principales se resumen en el apéndice 1. A ellos se dedica la lección 5.2.

2.3 Preparación de la superficie

La preparación de la superficie ejerce una importante influencia en la determinación del valor protector de un sistema de revestimiento. En el caso de los revestimientos metálicos suele ser parte integral del proceso de fabricación y se incluye en las normas nacionales y europeas pertinentes. Con las pinturas, el tipo y modelo de preparación de la superficie debiera especificarse como parte del tratamiento de revestimiento de protección.

La importancia de eliminar la cascarilla de laminación ha quedado bien establecida. Los métodos empleados con este propósito y para eliminar la herrumbre, etc., son los siguientes:

Corrosión atmosférica

Dado que la capa de cascarilla de laminación es una entidad aparte físicamente inestable que se rompe antes de abandonar los laminadores, existe todavía la práctica de "dejar el acero a la intemperie". Por desgracia, la duración de la corrosión atmosférica necesaria para eliminar la cascarilla del acero para estructuras depende del clima local, el tipo de cascarilla de laminación, su espesor, la forma y grosor del perfil y, cuando la corrosión atmosférica se produce una vez montado el acero. El tiempo necesario para eliminar el 90% de cascarilla de laminación de chapas de acero dulce de 9 mm de grosor, varía de seis meses en atmósferas industriales de Europa a más de cinco años en ciertas zonas de ultramar. Incluso en los entornos más agresivos, el completo descascarillado por corrosión atmosférica de la estructura no podría garantizarse en el plazo de un año. Recuérdese también que es en los agresivos entornos marinos o industriales en los que se encuentran las impurezas químicas que se disuelven en el agua para formar buenos electrólitos.

No se recomienda la corrosión atmosférica como método de preparación.

Picado, Rascado y cepillado con alambre

El picado, rascado y cepillado con alambre son con mucho los métodos menos eficaces. No eliminan la herrumbre asentada profundamente ni la cascarilla de laminación firmemente adherida.

Los cepillos de alambre y rascadores mecánicos dan mejores resultados que las herramientas manuales, pero las calidades obtenidas son inferiores a las de los métodos alternativos que figuran a continuación.

Pistolas neumáticas descascarilladoras

En el cuello de la pistola está dispuesto de manera suelta un grupo de agujas de acero endurecido. Accionadas por aire comprimido, las agujas se mueven adelante y atrás del cuello para pulverizar, literalmente, la superficie. Es una herramienta de preparación especialmente útil alrededor de tuercas, tornillos y cabezas de remaches. Es extremadamente lenta y no elimina la herrumbre profundamente asentada ni la cascarilla delgada de laminación.

Decapado al soplete

Sobre la superficie se aplica una llama oxiacetilénica muy caliente. La dilatación diferencial hace que la cascarilla de laminación se desprenda. Es un proceso extremadamente lento, pero puede ser eficaz. No elimina la cascarilla de laminación estrechamente adherida, ni puede utilizarse sobre aceros de grosor inferior a 5 mm, pues puede causar pandeo. Además, puede "envejecer" ("burn-in") los productos químicos depositados sobre la superficie, ocasionando un fallo prematuro de la pintura. Su empleo como método de preparación ha sido eliminado en la práctica.

Decapado ácido

Es un proceso de fábrica destinado a acero nuevo antes de su montaje. El acero se sumerge en ácido sulfúrico o clorhídrico caliente; tras el enjuague puede sumergirse en una solución débil de ácido fosfórico que deposita sobre la superficie del acero un revestimiento delgado de fosfato cristalino. Este revestimiento ofrece un muy bajo nivel de protección contra la corrosión, durante un período limitado. Esta forma de decapado ácido es una de las maneras más baratas y eficaces de eliminar toda la cascarilla de laminación y la herrumbre. No es una forma satisfactoria de preparación de la superficie para un uso bajo imprimaciones sofisticadas.

Las soluciones frías de decapado aplicadas in situ no son eficaces.

Limpieza por chorro abrasivo

Es un método extremadamente eficaz de eliminar la cascarilla de laminación y la herrumbre. Un chorro de granalla, o de granalla cortante, de fundición de coquilla, se proyecta por aire o de forma centrífuga. Es un proceso relativamente barato cuando se lleva a cabo en fábrica pero puede resultar caro in situ, y no siempre es practicable en el acero ya montado.

Si se ha efectuado correctamente, este proceso deja el acero en una estado excelente para recibir sistemas de pintado y metalización. Su ventaja reside en el perfil que se obtiene y sobre el cual se adhieren correctamente las pinturas o revestimientos a aplicar.

Otras consideraciones

La **limpieza de la superficie**, referida a la eficacia de la eliminación de la cascarilla de laminación y la herrumbre, está tratada en las ilustraciones en perspectiva de ISO 8501 [1].

La **rugosidad superficial** es importante en relación con el perfil obtenido por chorro abrasivo, que hace que la superficie del acero se haga rugosa. La norma ISO 8503 Parte 1 establece paneles comparadores como medio de especificar la rugosidad superficial [2]. Estos paneles se utilizan para hacer comparaciones visuales y táctiles con la superficie limpiada por chorro.

El encargado de las especificaciones confunde demasiado a menudo la **limpieza química** con la limpieza superficial. La herrumbre formada en entornos industriales o marinos puede contener sales solubles. Estas sales se encuentran con frecuencia en picaduras de corrosión, raramente se eliminan mediante la limpieza por chorro abrasivo, y nunca por medio de una limpieza mecánica o manual. Si se aplica un revestimiento sobre ellas ocasionan un pronto fallo del mismo. Para limpiar los aceros contaminados químicamente se utilizan la limpieza por chorro abrasivo húmedo o el lavado con agua dulce a media/alta presión. En la actualidad, se están normalizando métodos estandarizados para determinar cualitativa o semicuantitativamente los niveles de cloruros, sulfatos o sales de hierro solubles en el acero recién limpiado por chorro. Se están desarrollando métodos que podrían incluirse en ISO 8502 [3, 4].

2.4 Protección catódica

Los fenómenos de corrosión galvánica y la serie galvánica son la base de la protección catódica (CP, “Cathodic Protection”), un sistema en el que la estructura que se ha de proteger se convierte en el cátodo. Por ejemplo, si se conectan en agua salada hierro y cobre, el hierro se oxida; si se conecta una pieza de cinc en el sistema, del cinc fluye una corriente al cobre y al hierro que convierte a este último en un cátodo, es decir, en el polo de la célula electroquímica que no se oxida.

La protección catódica mediante ánodos sacrificatorios se establece para proteger el acero en condiciones de inmersión. En instalaciones grandes, por ejemplo embarcaderos marinos, se emplea a menudo un sistema de “corriente impresa” (impressed current”). En este sistema el ánodo es inerte, por ejemplo grafito o titanio platinizado, y un suministro de corriente continua proporciona el voltaje.

La instalación de un sistema de protección catódica en una estructura sumergida o semi-sumergida requiere un asesoramiento experto. No obstante, un sistema CP implica tres puntos que se han de recordar.

a. ¡Para hacer su trabajo, los ánodos sacrificatorios deben oxidarse! Exigen pues una inspección regular para asegurarse de que son reemplazados antes de su completa desaparición.

b. Debe haber los suficientes ánodos para proporcionar una correcta densidad de corriente en toda la superficie que se ha de proteger.

c. En los sistemas que utilizan un suministro de corriente continua externo, la polaridad de la conexión eléctrica es vital. ¡Unas conexiones invertidas pueden causar una corrosión extremadamente rápida del elemento que el sistema se supone ha de proteger!

2.5 Acero inoxidable

Los aceros inoxidables pueden utilizarse para la decoración interior, fachadas, revesti-

mientos, medios de unión y equipamiento de edificios e instalaciones. La resistencia a la corrosión atmosférica asociada al acero inoxidable procede en gran medida de su contenido en cromo, que contribuye a formar una delgada capa protectora de óxido que es además estéticamente agradable.

En la actualidad se utilizan en edificios tres tipos de acero inoxidable, y debe decirse que los fallos en servicio se deben más a menudo a una especificación incorrecta que a debilidades inherentes a los productos (ver lecciones 22). ¡El acero inoxidable se oxida!

Los tres tipos poseen diferentes propiedades mecánicas que afectan al conformado, la soldadura y el rendimiento en servicio. Para hacer la mejor elección en una aplicación concreta se han de conocer el entorno, la probable frecuencia de limpieza, por ejemplo por aguas pluviales, las propiedades mecánicas necesarias durante la fabricación y el rendimiento exigido en servicio.

Los elementos de acero inoxidable son caros (diez veces el coste del acero al carbono) y merecen una consideración cuidadosa antes de efectuar la especificación, para asegurarse así de un aprovechamiento total de su potencial.

2.6 Aceros resistentes a la corrosión atmosférica

Estos aceros solo contienen un 1-2% de adiciones de aleación, por ejemplo cobre, cromo, níquel, fósforo. Pueden ser más resistentes a la corrosión que aceros no aleados similares. Sin embargo, el revestimiento protector solo se forma cuando el acero está sometido a un humedecimiento regular y durante ciclos. Interiores húmedos, situaciones sumergidas o enterradas, constituyen entornos no adecuados para el uso de los aceros resistentes a la corrosión atmosférica. Antes de especificar este tipo de acero es sin duda necesario el asesoramiento especializado de la industria del sector. Existen varias consideraciones generales:

a. para elementos de vida prolongada debe tenerse en cuenta un sobreespesor para la corrosión, pues la pérdida real varía con el entorno

b. deben evitarse las hendiduras y todo lo que puede retener agua o suciedad

c. cuando el acero comienza a oxidarse a la intemperie, pueden trasladarse hidróxidos de hierro a las superficies adyacentes y causar deformación

d. los medios de unión deberían hacerse de acero inoxidable

e. son necesarias varillas de soldadura específicas de baja aleación

f. para obtener una oxidación a la intemperie uniforme, puede ser necesario un chorreo global

g. estos aceros son inadecuados para un uso en entornos marinos e industriales agresivos.

3. RESUMEN FINAL

1. La corrosión obedece a leyes químicas establecidas. En condiciones “secas”, es generalmente inactiva. En condiciones “húmedas” posee una elevada actividad.
2. Las condiciones “húmedas” en las que puede tener lugar la corrosión van de ácidas, pasando por neutras, hasta alcalinas.
3. La corrosión ocurre también entre metales distintos, siendo el menos noble (anódico) el primero en destruirse.
4. En condiciones “húmedas” el acero debe protegerse para prevenir la corrosión (reoxidación).
5. El entorno del acero determina el ritmo de corrosión y el grado de protección requerido; la accesibilidad determina el tipo de tratamiento preventivo de la corrosión adoptado.

4. BIBLIOGRAFÍA

[1] ISO 8501 Preparation of steel substrate before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness

[2] ISO 8503 Preparation of steel substrate before application of paints and related products - Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrate.

[3] ISO 8502 Preparation of steel substrate before application of paint and related products - Test for the assessment of surface cleanliness (in preparation).

[4] ISO 8504 Preparation of steel substrate before application of paints and related products - Surface preparation methods (in preparation).

5. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Uhlig, H. H., “Corrosion and Corrosion Control”, 3rd ed, 1985, John Wiley & Sons.

2. Durability of Steel Structures: Protection of Steel Structures and Buildings from Atmospheric Corrosion, ECSC Report 620.197, 1983.

3. “Controlling Corrosion”, series of booklets published by the Department of Industry - Committee on Corrosion.

4. BCSA Publication: Steelwork Corrosion Protection Guide - Interior Environments (3rd Ed), 1989 (published jointly with BS, PRA and ZDA).

5. Steelwork Corrosion Protection Guide - Perimeter Walls (2nd Ed), 1989 (Published jointly with BS).

6. Steelwork Corrosion Protection Guide - Exterior Environments (2nd Ed), 1989 (published jointly with BS, PRA and ZDA).

7. Recommended Systems Joint publications by:

a. `Building Interiors’	BCSA
b. Wall Cavities	BCSA (in preparation)
c. Exterior Steelwork	Paint Research Association (in preparation) Zinc Development Association.

8. BS 5493 Code of practice for protective coating of iron and steel structured against corrosion.

9. DIN 55928: Part 5 Corrosion protection of steel structures by organic and metallic coatings Part 5 Coating materials and protective systems.

10. Norsk Standard NS 5415 Anti-corrosive paint systems for steel structures.

11. BS Draft for Development DD 24: Recommendations for methods of protection against corrosion on light section steel used in building.

12. ECCS No. 48 Protection against corrosion inside buildings

13. ECCS No. 50 Protection of steel structures against corrosion by coatings.

14. SSPC “Steel Structures Painting Council”

Vol I “Systems and Specifications”

Vol II “Good Painting Practice”

Apéndice 1

Características de los revestimientos de pintura y metálicos

Aspectos de la galvanización por inmersión en caliente y de la metalización que se han de considerar:

a. Vida predecible si el entorno se ha evaluado con precisión.

b. Sistemas de aplicación únicos (en algunos casos más sellado).

c. Tiempo reducido en el taller.

d. Buena resistencia a la abrasión.

e. Protección sacrificatoria del acero en las zonas expuestas al daño.

f. Buena resistencia a la corrosión.

g. No deberían utilizarse sin pintar fuera de la gama de pH de 5-12 para el cinc, y de 4-9 para el aluminio, o allí donde el metal se ve sometido a un ataque directo de productos químicos específicos.

La galvanización por inmersión en caliente posee aspectos adicionales:

h. La acción de aleación proporciona un buen enlace metalúrgico.

i. Revestimiento total en esquinas y bordes agudos. La composición del acero influye sobre el espesor.

j. Entre el cinc y la pintura aplicada después pueden surgir problemas que cabe solucionar mediante tratamientos previos especiales, imprimaciones o pinturas de aplicación directa de formulación especial.

Aspectos especiales de la metalización:

k. Puede aplicarse in situ.

l. El espesor del revestimiento puede ser el que se desee.

m. Pueden revestirse estructuras o instalaciones virtualmente de cualquier tamaño.

n. Es a menudo un mejor substrato que la galvanización por inmersión en caliente para los sistemas de pintado.

o. Debería sellarse si se ha de pintar sobre ella.

p. Independientemente del entorno, el metal con metalizado de aluminio se suministra mejor sellado de fábrica.

q. Cuando la exposición no es probable que sea agresiva, el acero metalizado con cinc no necesita ser sellado. Si hay alguna posibilidad requerirá la pintura o el sellado más adelante, por lo que debería sellarse al principio para evitar la formación de productos de la corrosión del cinc.

Los aspectos principales de los sistemas de pintado son:

a. Vida predecible si el entorno se ha evaluado con precisión.

b. No afectan a las propiedades mecánicas del acero.

c. Adecuados para uso en taller e in situ.

d. Pueden aplicarse a estructuras e instalaciones complejas.

e. Existen sistemas disponibles para proteger en la mayoría de entornos y condiciones.

f. Existe una amplia oferta de equipos de pintura.

g. La mayoría de las pinturas son fáciles de reparar y mantener.

h. Existe amplias gamas de colores para seguridad y decoración.

i. Las pinturas de alto rendimiento exigen una calidad elevada de la preparación de la superficie (normalmente limpieza por chorro abrasivo) y es posible que no toleren condiciones de pintura defectuosas.

ESDEP TOMO 5
CORROSIÓN

Lección 5.2: Factores que Gobiernan la Protección del Acero

OBJETIVOS/CONTENIDO

Ampliar lo expuesto en la lección 5.1, presentando los medios prácticos de protección del acero a un nivel adecuado para jóvenes arquitectos e ingenieros.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Ninguno.

LECCIONES AFINES

Lección 5.1: Corrosión General

RESUMEN

Esta lección se ocupa de la estimación del tiempo de vida previsto que se requiere para la correcta utilización de los sistemas de protección y la preparación de la superficie. Se describen los revestimientos empleados por lo común para proteger el acero y se expone brevemente la utilización de aceros inoxidables y resistentes a la corrosión atmosférica. Por último, se expone de un modo general el mantenimiento.

1. ESPERANZA DE VIDA

En edificios secos y con calefacción, por ejemplo oficinas, hospitales o almacenes, las velocidades de corrosión del acero al carbono suelen ser muy bajas. En estos entornos, el acero puede utilizarse sin protección si está oculto. Si no, se reviste por razones estéticas o higiénicas.

Sin embargo muchos interiores no son secos, de manera que, al igual que en entornos exteriores, el acero necesita protección.

Las estructuras e instalaciones tienen normalmente una "vida prevista". Si tras la ejecución de la estructura ésta es inaccesible, el sistema de protección inicial ha de tener la misma vida que el acero. Las presiones económicas suelen aumentar la vida funcional de la instalación mucho más allá de la "vida prevista". Los cambios en la esperanza de vida suelen ocurrir una vez el sistema de protección inicial está instalado; por eso resulta razonable considerar esta posibilidad al comienzo de cualquier nuevo proyecto.

1.1 Tiempo probable transcurrido hasta el primer mantenimiento

En la columna (a) de la tabla 2 figuran vidas típicas en un entorno general estimadas para prevenir el deterioro del acero empleando diversos sistemas de revestimiento. En la columna (b) se indica el tiempo probable transcurrido hasta la primera renovación, allí donde son importantes una buena apariencia y el mantenimiento de una superficie de fácil limpieza. Ninguna de los dos grupos de cifras tiene en cuenta la influencia de condiciones locales, por ejemplo una condensación nocturna intensa debida a la desconexión no planeada de los sistemas de ventilación como medida de ahorro.

Los sistemas de protección requieren una inspección regular que permita reparar los fallos locales inesperados. Lo ideal sería que el acero de base no estuviera expuesto. Si la primera capa del sistema es una galvanización de cinc o una metalización debería considerarse como parte de la estructura, renovándose las capas de pintura a intervalos que aseguren que sigue quedando oculta. En este sentido resulta de ayuda la escala europea de herrumbre ("European Rust Scale") (figura 1).

1.2 Vida entre distintos mantenimientos

Cuando se dispone de datos sobre el rendimiento de un sistema de protección en estructuras o instalaciones similares es muy fácil predecir los intervalos para mantener la capa o capas superiores. Puesto que el fallo inicial de un sistema de protección puede ocurrir antes de lo previsto, la estimación del intervalo transcurrido hasta un fallo que deje al descubierto el acero puede hacerse complicada.

1.3 Estimación de la exigencia de vida

Quizá sea necesario hacer la estimación de cada parte de la estructura separadamente. En cada estimación deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

a. Vida exigida de la estructura o instalación.

b. Exigencias decorativas e higiénicas. La vida decorativa de un revestimiento (y su capacidad de ser limpiado con facilidad) raramente es tan prolongada como la vida protectora del sistema, ver tabla 2.

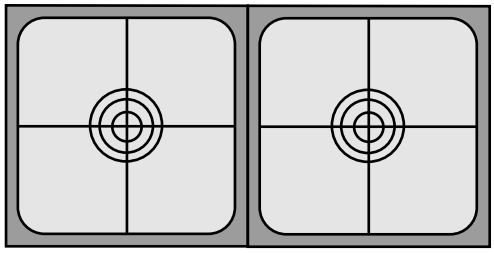


Figura 1 Comparadores de rugosidad en superficie

c. Deterioro irreversible si se retrasa el mantenimiento planeado.

d. Acceso difícil para el mantenimiento.

e. Problemas técnicos y físicos del mantenimiento.

f. Período mínimo admisible entre mantenimientos.

g. Costes totales de mantenimiento, incluyendo la parada de la instalación, el cierre de carreteras, accesos, etc.

2. PROYECTO

El proyecto de estructuras e instalaciones se basa en gran medida en datos y exigencias funcionales cuantificables, por ejemplo “la estructura de acero soporta una instalación de fabricación de un determinado producto y tiene una esperanza de vida de 25 años”. La selección de un sistema de protección implica muchos factores; estos factores varían de un modo amplio de acuerdo con el tipo de estructura, su complejidad, su función, el entorno general, la influencia de microclimas y los efectos de posibles cambios en el entorno (naturales u otros) que pueden tener lugar durante la vida exigida.

Otros factores que influyen en la selección son cuantitativos, por ejemplo el tiempo hasta el primer mantenimiento, el calendario de mantenimiento planeado para cubrir la vida exigida de la estructura o la instalación, el espesor de los revestimientos etc. Estos factores deben considerarse con atención, pues el grado de variación puede diferir de un sistema de revestimiento a otro.

Las estimaciones pueden variar considerablemente en relación con un mismo sistema, independientemente de si es galvanización por inmersión en caliente, metalización o pintura. Se ha de tener un gran cuidado para asegurarse de que las estimaciones para productos o servicios aparentemente idénticos cubren en efecto los mismos materiales, una aplicación con el mismo grado de control y una calidad comparable del acabado en términos de la durabilidad y apariencia exigidas.

En el apéndice 1 se enumeran en forma de preguntas algunas de las condiciones y circunstancias críticas que deben tenerse en cuenta antes de seleccionar un sistema de protección. No todas las preguntas son pertinentes para un trabajo concreto, y la importancia de las que lo son varía. El orden de las preguntas pertinentes puede modificarse a la luz de las respuestas dadas a preguntas posteriores. Antes de pensar cada pregunta en detalle debería estudiarse la lista como un todo.

2.1 Proyecto acorde con los sistemas de protección

El proyecto de estructuras e instalaciones puede influir en la elección del sistema de protección. Puede resultar apropiado y económico modificar el proyecto de manera que se adapte al sistema de protección preferido. Debe prestarse atención a los siguientes puntos:

a. Proporcionar un acceso seguro y fácil para el mantenimiento.

b. Evitar cavidades y recesos en los que puede almacenarse agua y suciedad. Mantener los productos químicos corrosivos directos, por ejemplo sales descongelantes, alejados de los elementos estructurales, por ejemplo mediante tubos de drenaje.

c. Toda zona inaccesible tras el montaje exige un sistema de protección diseñado para durar la vida exigida de la estructura. ¿Es esto factible o debería modificarse el proyecto?

d. Ciertas secciones estructurales son más adecuadas para algunos sistemas de protección que otras, por ejemplo las secciones huecas se envuelven con más facilidad que las formas estructurales.

e. El método o el tamaño de fabricación puede imposibilitar o limitar algunos sistemas de protección, por ejemplo pernos de apriete de fricción, galvanización.

f. Cuando es posible la corrosión bimetálica se hacen necesarias mediadas de protección adicionales. En las estructuras de acero situadas en el agua, la mejor solución puede ser la protección catódica (figura 2).

g. Cuando sea probable que el acero esté en contacto con otros materiales de construcción, quizá sea necesario tomar precauciones especiales.

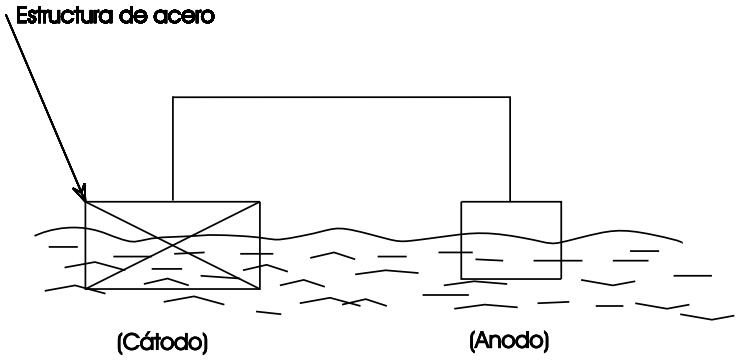
h. Los bordes redondeados de los elementos aseguran un mejor rendimiento mediante revestimientos de protección.

2.2 Dónde aplicar la protección

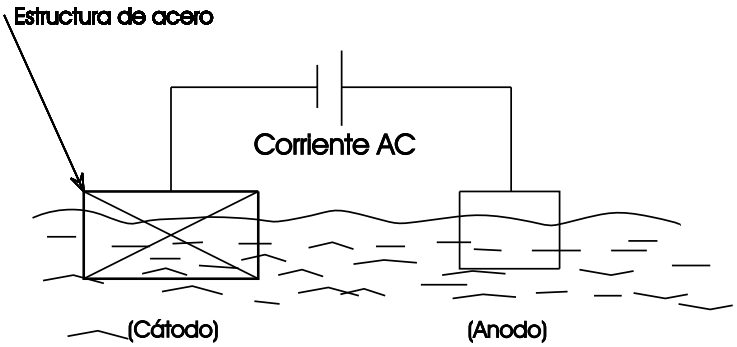
En este caso, “dónde” significa si el revestimiento de protección debe aplicarse in situ o no.

Los sistemas de protección son más duraderos cuando se aplican en el taller de fabricación o el laminador de acero. No obstante, cuando existe la probabilidad de que durante el transporte o el montaje se cause un daño importante, los encargados de las especificaciones quizá prefieran que la última capa, o dos últimas capas de protección, se apliquen in situ. Las pinturas especificadas para un uso in situ deben tolerar el retraso y cierta contaminación entre las capas. La especificación debe establecer quién es el responsable del control de calidad en cada fase del trabajo de taller y procesamiento.

Cuando todo el sistema se aplica fuera de obra, la especificación debe contemplar las medidas necesarias para impedir que el acero acabado sufra daños, y establecer los procedimientos de reparación de los revestimientos una vez se ha montado la estructura de acero.



Protección catódica con ánodos galvánicos o de sacrificio



Protección catódica con sistema de corriente impresa

Figura 2 Estructuras de acero en el agua

2.3 Zonas especiales

El tratamiento protector de tornillos, tuercas y otras piezas de las conexiones estructurales exigen una consideración especial. Lo ideal es que su sistema de protección sea al menos de la misma calidad que el especificado para las superficies generales.

Cuando se han de utilizar sistemas de pintado de alto rendimiento, merece la pena pensar en medios de unión galvanizados por inmersión en caliente en el tambor, o de acero inoxidable.

Las superficies unidas por conexiones hechas con pernos de apriete de fricción altamente resistentes exigen un tratamiento especial.

3. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

La preparación de la superficie de la estructura de acero tiene una gran influencia en la determinación del valor protector del sistema de revestimiento.

En el caso de la galvanización y la metalización se forma parte integral del proceso y se incluye en las normas nacionales relativas a estas operaciones. En los sistemas de pintado suele existir una gama de métodos preparatorios. Por eso el método realmente escogido para un determinado trabajo debe especificarse como parte del tratamiento de revestimiento de protección.

La elección entre la limpieza por chorro y la limpieza manual está en parte determinada por la naturaleza de los revestimientos que se han de aplicar. Los revestimientos aplicados a una superficie limpiada a chorro y desengrasada siempre duran más que los revestimientos similares aplicados a superficies limpiadas manualmente. Sin embargo, algunos revestimientos de vida corta no justifican el elevado coste de la limpieza por chorro, como se exige que hagan los revestimientos de larga vida.

3.1 Desengrasado

La mejor forma de eliminar la grasa y la suciedad es mediante detergentes en emulsión patentados, seguidos de un enjuague a fondo con agua, mediante limpieza a vapor, o por medio de chorros controlados de agua a alta presión.

Cuando es necesario utilizar bencina mineral o disolventes similares para eliminar aceite o grasa, debería emplearse a continuación un detergente, o un detergente en emulsión, antes de completar la operación mediante el enjuague a fondo con agua dulce limpia.

No se recomienda el desengrasado mediante lavado con disolvente, pues puede hacer que se extienda por la superficie una fina película de aceite o grasa.

3.2 Eliminación de cascarilla y herrumbre

La cascarilla de laminación está compuesta por los óxidos superficiales producidos durante el laminado en caliente del acero. Es inestable. En la corrosión atmosférica, el agua penetra en las fisuras de la cascarilla y tiene lugar la corrosión de la superficie del acero. La cascarilla de laminación pierde adherencia y comienza a desprenderse. Constituye una base inadecuada y necesita ser eliminada antes de aplicarse el revestimiento de protección.

En general, las superficies de acero con herrumbre no son una base satisfactoria para la aplicación de revestimientos de protección, aunque algunas imprimaciones poseen una tolerancia limitada a la herrumbre residual que queda en dichas superficies tras la limpieza manual. A continuación se describen los medios para eliminar la herrumbre y la cascarilla.

3.3 Limpieza por chorro

Contra la superficie del metal se dirigen a gran velocidad partículas abrasivas. Estas pueden estar transportadas por aire comprimido o agua a alta presión, o estar lanzadas por fuerza centrífuga desde una rueda impelente. En algunas limpiezas por chorro libre puede utilizarse agua a alta presión sin abrasivos. En la tabla 3 se enumeran los distintos métodos.

En la tabla 4 figuran los abrasivos comúnmente utilizados para la limpieza de estructuras de acero, con notas sobre sus ventajas e inconvenientes.

La elección de un método de limpieza por chorro está determinada por los siguientes factores.

a. Forma y tamaño de la estructura de acero

   Los métodos centrífugos resultan económicos para chapas y secciones simples; también pueden emplearse para secciones grandes prefabricadas, por ejemplo

secciones de puente, pero solo en instalaciones especialmente diseñadas. Los "olvidos" descubiertos durante la inspección se pueden limpiar con técnicas de chorro libre. Para grandes rendimientos en elementos formados, por ejemplo tubos, se pueden utilizar técnicas de chorro libre y en vacío en instalaciones continuas o automáticas.

b. Influencia de la fase en la cual se lleva a cabo la limpieza

En el caso de limpieza por chorro in situ, deben emplearse, como en las grandes secciones formadas, métodos de chorro libre o en vacío. Los métodos centrífugos suelen ser impracticables.

c. Rendimiento

Las instalaciones centrífugas son económicas para un rendimiento elevado, pero incluso con un rendimiento bajo este método puede seguir siendo preferible a la limpieza libre a gran escala.

d. Condiciones ambientales

A pesar de su coste relativamente elevado, el chorro en vacío puede ser necesario para evitar que la zona contigua se contamine con abrasivos. Debe asegurarse que el proceso de limpieza por chorro no afecta a los materiales adyacentes.

e. Tipos de depósitos superficiales que se han de eliminar

Los métodos de chorro húmedo con abrasivos son especialmente adecuados para eliminar sales atrapadas en la herrumbre y para raspar superficies pintadas antiguas y duras, por ejemplo epoxis de mezcla de dos envases, antes de volver a revestir.

En obra nueva la limpieza por chorro se puede llevar a cabo antes o después del trabajo de taller. Cuando se efectúa antes, se aplica una imprimación de "chorro" o de "retención" ("blast" or "holding" primer) para evitar la corrosión durante el trabajo de taller. Las zonas dañadas en el transcurso del mismo han de volver a ser preparadas y aplicárseles una imprimación lo antes posible.

3.4 Norma sobre la limpieza por chorro

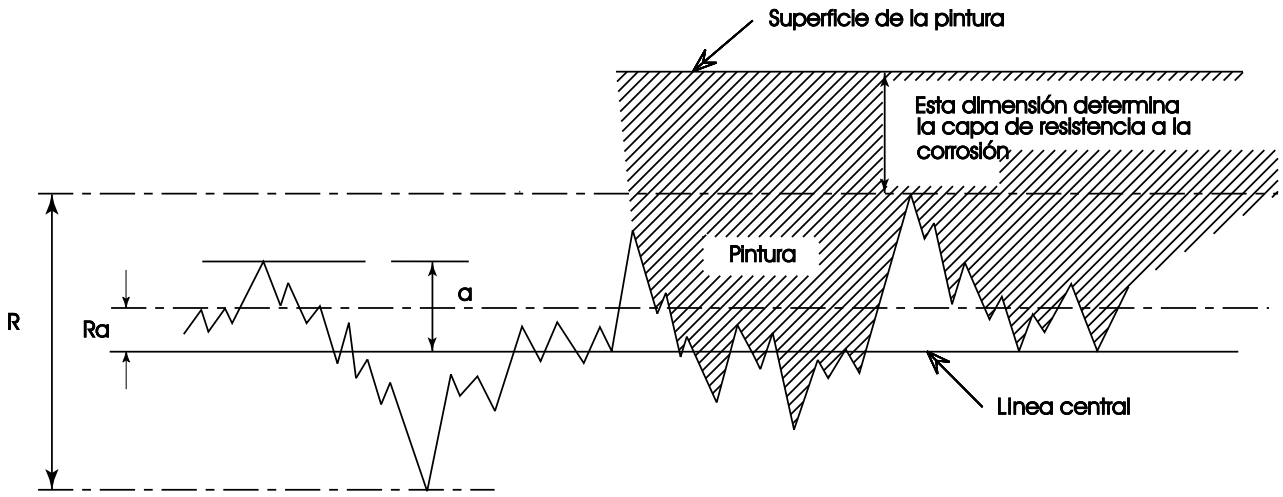
ISO 8501-1 1988 es una norma visual que muestra diferentes grados de limpieza por chorro de acero con cuatro niveles de corrosión [1]. Las muestras impresas de referencia son en color y la norma se basa en la ampliamente utilizada norma sueca SIS 05 59 00 [2]. Se emplea para especificar y controlar la calidad de la limpieza por chorro abrasivo exigida.

3.5 Rugosidad superficial

Dado que el chorreo produce una rugosidad de la superficie, es importante controlar de algún modo el perfil obtenido. Si la distancia de la cresta más alta al valle más profundo es excesiva, quizá las crestas no puedan protegerse de la forma adecuada, ver figura 3. ISO 8503-1 1988 es una norma sobre comparadores de superficie. La comparación visual entre éstos y la superficie limpiada por chorro permite la clasificación de esta última como "suave", "media" o "rugosa". La norma establece la distancia de cresta a valle correspondiente a cada grado; los perfiles obtenidos con granalla esférica son diferentes a los obtenidos con granalla angular, por lo que existe un comparador para cada caso.

ISO 8501-1 [1] está destinada al acero no pintado previamente. ISO 8501-2 [1] está en curso de preparación y se refiere al tratamiento del acero previamente pintado.

En las dos normas anteriores se utiliza el término limpieza superficial. Resulta ser algo equívoco, pues si bien se refiere a la eficacia de la eliminación de cascarilla de laminación y herrumbre, a menudo se supone que se refiere igualmente a la limpieza química, y no es así. Actualmente no existe ningún ensayo a pie de obra fiable para establecer los niveles de sales solubles que pueden estar presentes en la



R rugosidad máxima "cumbre-valle" de la superficie de acero
R = distancia de la cumbre máxima al valle más profundo
Ra rugosidad media
$Ra = \frac{l(a)}{n}$ = distancia media de la línea central

Figura 3

estructura de acero recién limpiada por chorro. Sin embargo, el trabajo para crear ensayos que evalúen la presencia de hierro y cloruros solubles continúa. A su debido tiempo estos ensayos podrán pasar a formar parte de ISO 8502, al igual que los ensayos separados dedicados a la presencia de polvo y condensación [4].

3.6 Bordes cortados con soplete

Los bordes cortados con soplete deben ser suaves, y las esquinas tienen que amolarse con el fin de efectuar un revestimiento con pintura duradero. Una esquina aguda genera una película fina y un punto de arranque para la corrosión.

3.7 Otros métodos de preparación de la superficie

La limpieza manual, posiblemente utilizando herramientas de accionamiento mecánico, es el método con más frecuencia utilizado por razones prácticas o económicas, aunque es el menos efectivo. A su debido tiempo, la parte 3 de ISO 8504 [5] se ocupará de la limpieza manual y con herramienta mecánica, pero por el momento las únicas normas pertinentes son SIS 05 5900 y SSPC, que contienen dos grados visuales de preparación correspondientes al rascado y al cepillado con alambre [2].

4. REVESTIMIENTOS SUPERFICIALES

Como se indicó en la lección 5.1, los métodos habituales para proteger las estructuras de acero son las pinturas, la galvanización, la metalización con cinc o con aluminio, o sistemas dobles en los que uno de estos tres últimos se recubre de con pintura. En esa misma lección se señalaron también las características principales de estos grupos.

4.1 Sistemas de pintado

Las pinturas tienen tres componentes principales: un componente resinoso que literalmente pega el resto de componentes y al que se denomina “formador de película” (film former); un pigmento encargado de dar color, resistencia a la corrosión atmosférica y, en algunos casos, una inhibición de la corrosión; y disolventes destinados a proporcionar la adecuada consistencia para la aplicación, control de la velocidad de secado, etc.

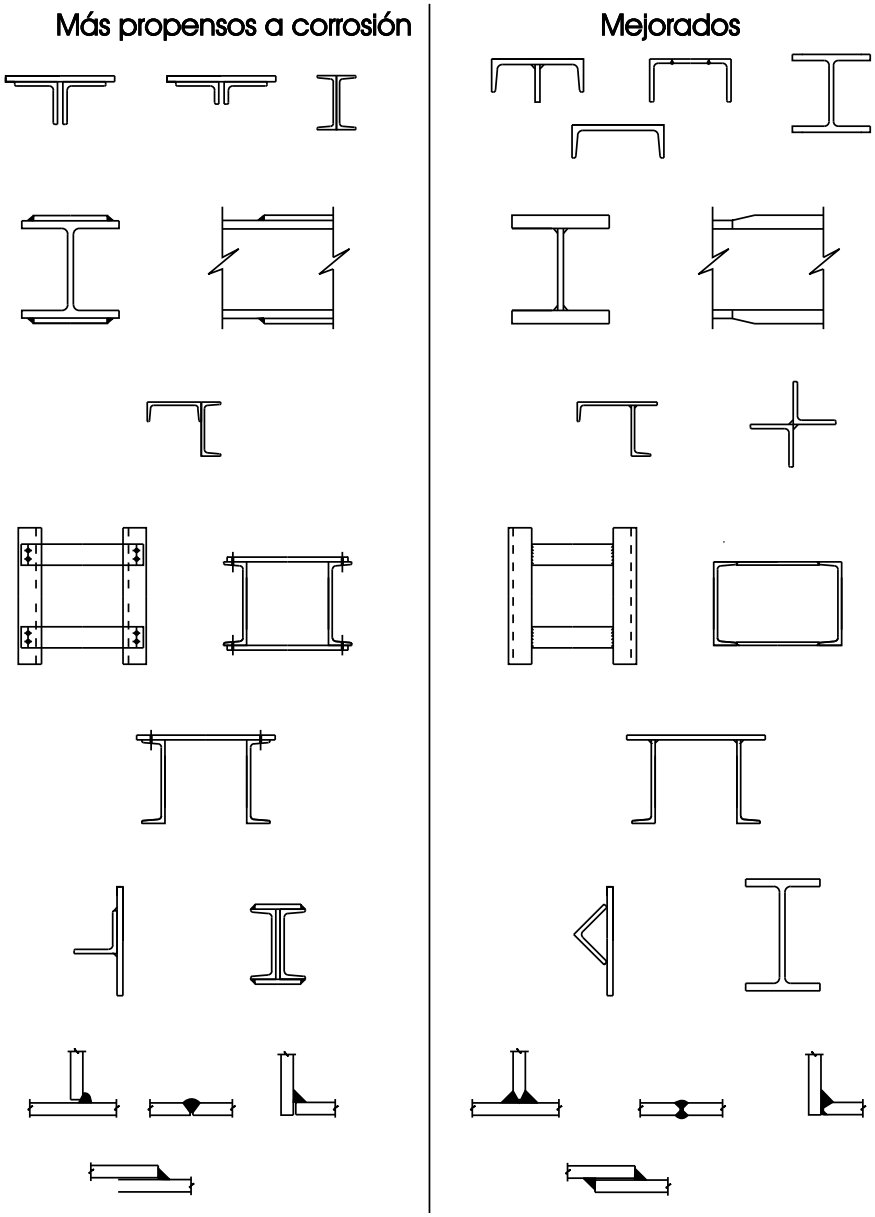
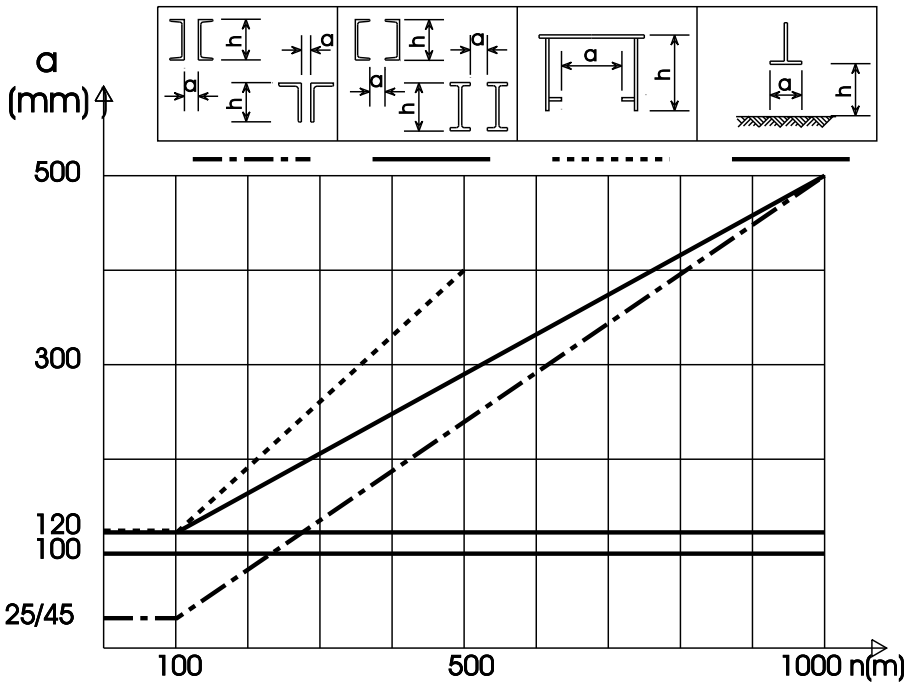


Figura A Diseño de partes de fácil acceso para pintar y mantener

Es el formador de película el que influye en las principales propiedades de la pintura, es decir, dureza, flexibilidad, resistencia al agua, resistencia química, etc.. Por razones prácticas los tipos de pintura enumerados en el apéndice 2 se han dividido en tres familias: pinturas con base de aceite secante, pinturas de un solo envase resistentes a los productos químicos y variedades de mezcla de dos envases. En cada caso se indican los formadores de película principales y los pigmentos, junto con los usos finales característicos de cada familia global.

En un sistema de pintado suele haber tres componentes: “imprimación”, “capa intermedia” (“undercoat”) y “acabado”.

Imprimaciones. Sus funciones son favorecer la adherencia y proteger contra la corrosión. Puesto que el espesor del sistema es muy importante para la protección, con frecuencia se especifican dos capas, y a veces tres cuando las dos últimas se aplican con brocha.



			40			
			2 [160	HE 180A	244,5x6.3	200x120x8,0
área	A	cm^2	48,0	45,3	47,1	47,0
Momento sección	Wy	cm^2	232	294	274	244
Superficie	u	$\frac{m^2}{m}$	1,092	1,02	0,768	0,613

Figura B Ejemplos de buen diseño para pintura y control de superficies

En ocasiones los encargados de las especificaciones se refieren a la segunda y tercera capa de imprimación como “capa de imprimación intermedia” (“primer undercoat”). Con frecuencia esto resulta equívoco para el contratista, pues los productos de marca disponibles libremente nunca mencionan este último término en la descripción del producto. Se aconseja al encargado de las especificaciones etiquetar el sistema como “primera capa”, “segunda capa”, etc., para continuar con la descripción genérica apropiada.

Capas intermedias. En el acero las capas intermedias tradicionales proporcionan la base de color adecuada para el acabado; se adhieren a la imprimación, y poco más. La capa intermedia de alto rendimiento se describe con más precisión en inglés como “Intermediate coat”. Constituye una segunda barrera en caso de que el acero quedara al descubierto por daños o erosión. A menudo las capas que se utilizan con este fin pueden pasar, por sí mismas, como acabados.

Un aspecto importante es obtener un espesor de película seca. Una capa intermedia tradicional ofrece alrededor de 25 µm por capa; las utilizadas en el acero en entornos no naturales deben ofrecer un espesor mínimo de 50 µm, mientras que los tipos de alto rendimiento de servicio producen 100 µm o más.

Acabados. Proporcionan el color, nivel de brillo o resplandor requeridos y la conveniente resistencia a la corrosión atmosférica, a la abrasión o al ataque químico. Puede ser necesaria más de una capa dependiendo del tipo de producto, de la exposición, del entorno, del color, etc. Los espesores de película seca por capa varían, de 25 µm para un producto simple aceitoso, a 100 µm o más para revestimientos epoxi de dos envases.

4.2 Revestimientos metálicos

a. Galvanización por inmersión en caliente

El proceso deposita alrededor de 85 µm sobre la superficie del acero para estructuras. En algunas circunstancias se pueden obtener películas de mayor espesor. No debe confundirse la galvanización con el cincado, que no alcanza espesores de cinc superiores a 30 µm, ni con la electrodeposición, cuyos espesores son aun menores.

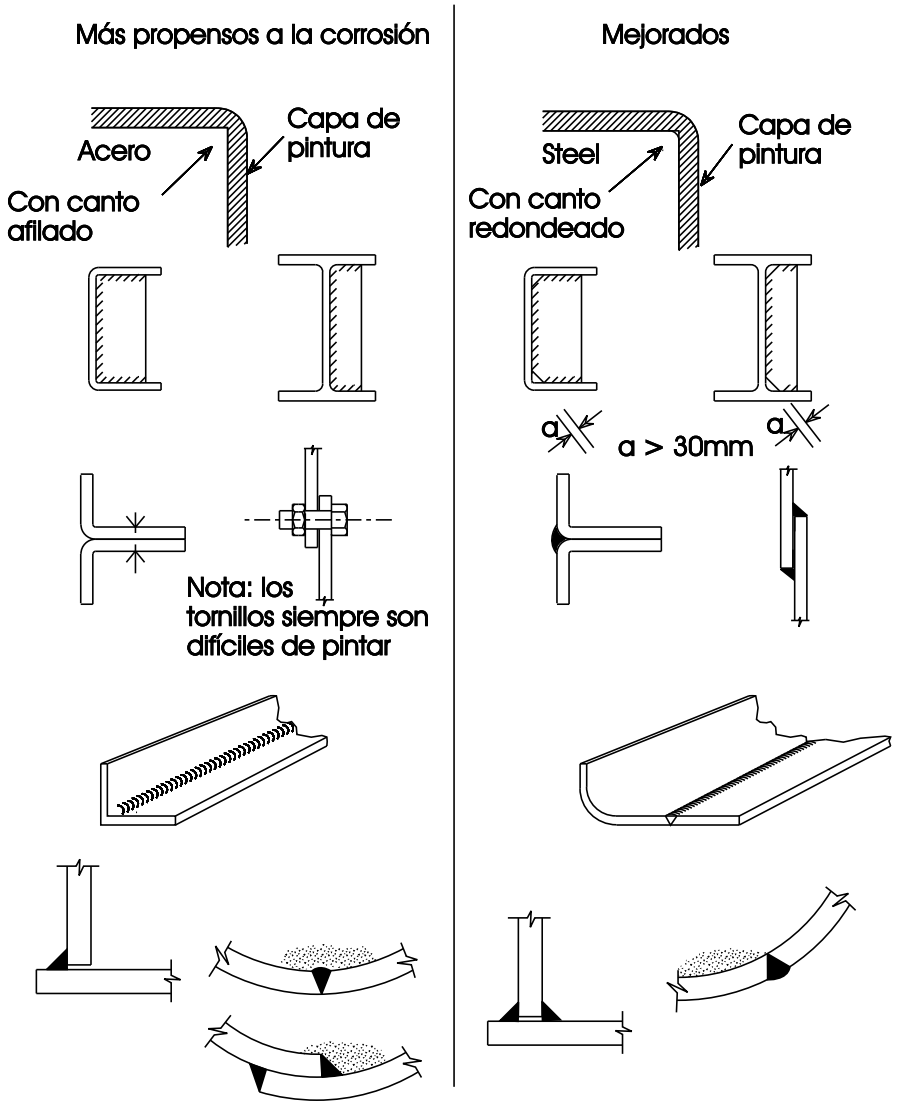


Figura C Estructuras con ángulos redondeados para evitar la corrosión. Cantos y esquinas son puntos sensibles a la corrosión incluso cuando se protegen con capas de pintura

b. Galvanización en el laminador de flejes

La galvanización en laminador de flejes utiliza una sofisticada instalación para limpiar, picar y depositar metales no ferrosos sobre el fleje, en condiciones cuidadosamente controladas. La superficie exterior de productos de marca patentados, por ejemplo revestimientos de edificios, tiene probablemente un acabado de capa protectora de cinc o cinc y aluminio (este último entre el 5 y 55%) de 20-25 µm. Esta capa puede recubrirse en la misma línea de producción con acabados orgánicos de elevada durabilidad y espesores de película seca variables.

4.3 Metalización

Los métodos comunes de aplicar el cinc y el aluminio son la combustión de gas y el arco eléctrico. Resultan esenciales unas calidades muy elevadas de limpieza por chorro y limpieza de la superficie. La metalización y el sellado los llevan a cabo fabricantes especializados. La inspección deben realizarla inspectores de metalización cualificados.

Se pueden metalizar todo tipo de aceros, sin limitación de tamaño. El trabajo se puede efectuar en fábrica o in situ. El aluminio raramente se aplica en espesores superiores a 150 µm. En condiciones de contaminación o inmersión se aplica cinc a espesores de 200-250 µm.

El aluminio rociado debe sellarse. La metalización de cinc debe sellarse si se ha de pintar, o durante el mantenimiento. Los selladores deben aplicarse inmediatamente después de la metalización, y no deben elevar el espesor del revestimiento metálico. Existen muchos selladores, por lo que es conveniente pedir al fabricante de la pintura una recomendación específica para cada trabajo.

Tanto la metalización de cinc como la de aluminio poseen una buena resistencia térmica, la primera hasta 100°C y la segunda hasta 500°C.

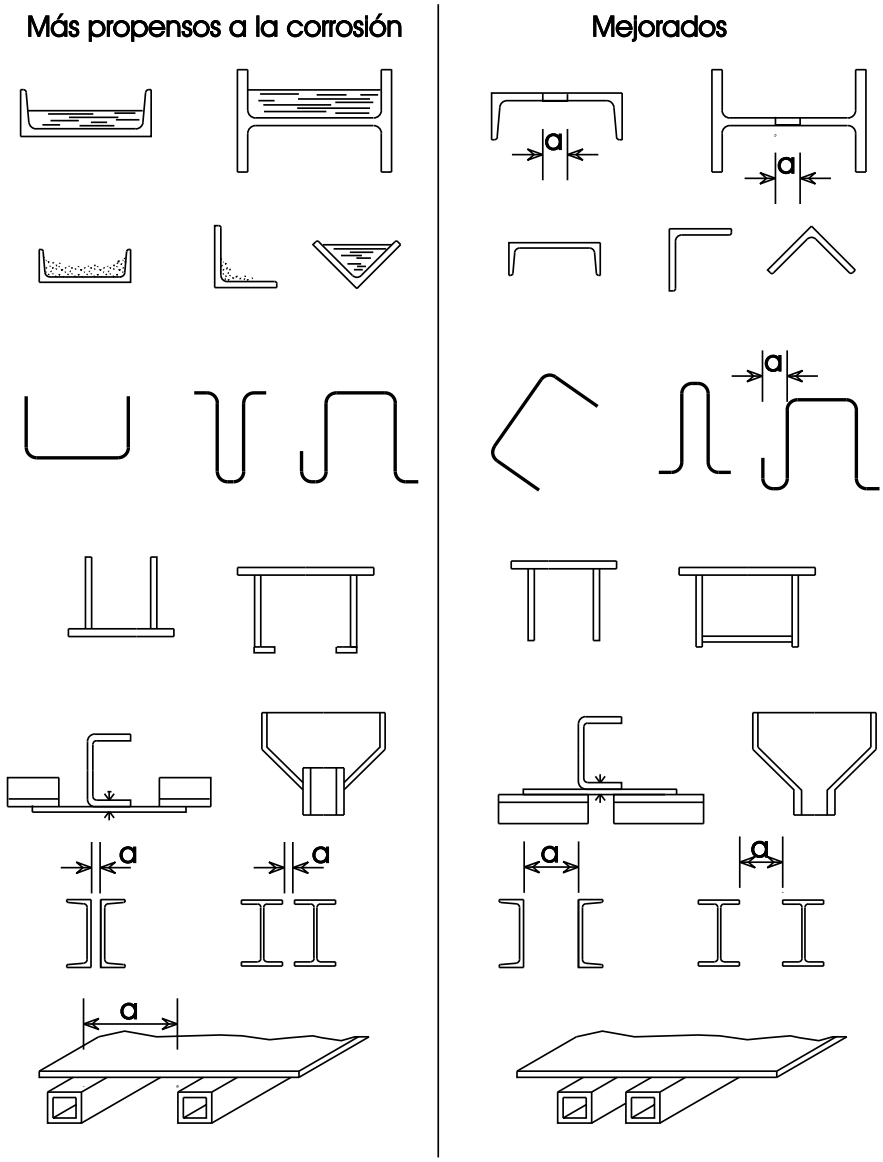


Figura D Diseño para evitar la formación de zonas húmedas y con polvo: Drenaje con agujeros y aberturas a > 30 mm para drenar humedad y suciedad

4.4 Sistemas metálicos y de pintura

Galvanización y pintura. La selección de pinturas es más compleja que para el acero. Algunas se han desarrollado para una aplicación directa en acero galvanizado, pero los resultados son variables. Los pretratamientos admisibles incluyen imprimaciones con diluyente ácido, tratamientos previos patentados que proporcionan adherencia a la pintura, determinadas imprimaciones en agua formuladas específicamente. Siempre debe obtenerse asesoramiento por parte del fabricante de la pintura.

Metalización de cinc o de aluminio y pintura. La metalización sellada se puede recubrir sin dificultad con una amplia gama de revestimientos. El cinc no sellado, concretamente, es extremadamente difícil de pintar; la corrosión de cinc ("herrumbre blanca") puede causar una intensa formación de sopladuras.

Utilización de sistemas combinados. Un metal no ferroso más un sistema de pintado, dan lugar a una capa más duradera que la formada por los dos componentes por sí solos. Sin embargo, si el entorno es agresivo para el cinc o el aluminio, su empleo es cuestionable pues se opone a la intención de protegerlos recubriéndolos con pintura, es decir fuera de la gama de pH de 5-12 para el cinc o 4-9 para el aluminio.

5. MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS E INSTALACIONES

Todos los revestimientos de protección necesitan un mantenimiento, necesidad que se hace aparente de diversas formas.

En el caso extremo, la necesidad de mantenimiento se pone de manifiesto cuando se produce un fallo mecánico o estructural de manera totalmente imprevista, pues el edificio o la instalación no habían sido nunca objeto de inspecciones regulares.

Esa necesidad puede también apreciarse cuando se descubre por accidente un fallo o corrosión del revestimiento, por ejemplo al pasar casualmente por un edificio.

El método preferible de determinar las necesidades de mantenimiento es mediante inspecciones planificadas realizadas a intervalos regulares. La comparación de los resultados de las inspecciones, con registros fiables desde la primera de ellas, sirve de base para definir las necesidades de mantenimiento.

La meta de los revestimientos de protección es conservar una estructura o edifico de manera que desempeñe las funciones exigidas a lo largo de toda su vida prevista, de un modo seguro, eficaz y rentable. Con este fin se emplea un calendario de mantenimiento de la estructura o el edificio, para gestionar adecuadamente las inspecciones planificadas y llevar registros fiables de las mismas.

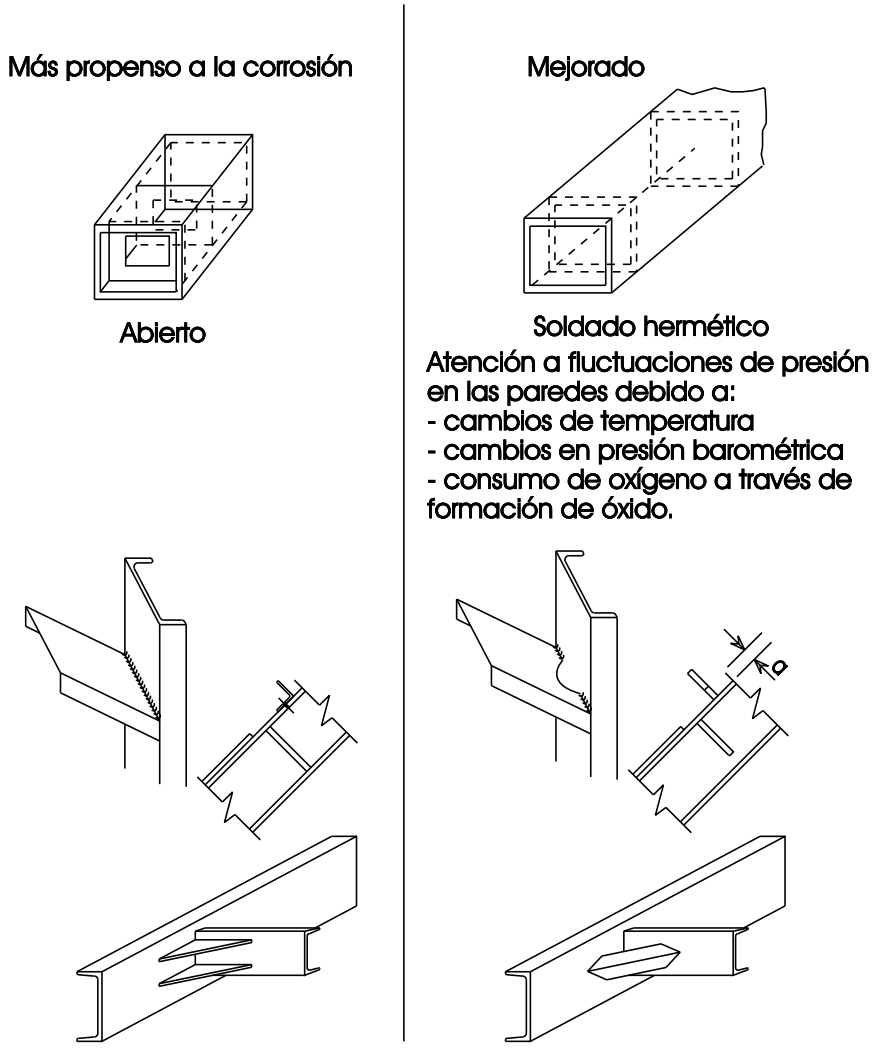


Figura E Evitar que la humedad y la suciedad queden atrapadas en o entre partes de estructuras: Sellado hermético de sección hueca, agujeros de drenaje entre miembros y rigidizadores inclinados

El estudio del mantenimiento debería comenzar desde que se planea un nuevo proyecto. El encargado de las especificaciones no solo debe tener en cuenta los efectos del proyecto sobre la pintura de mantenimiento, sino también la influencia del sistema de revestimiento inicial.

Pinturas con base de aceite secante Las pinturas se repintan con facilidad con productos similares si la superficie está limpia, y si es muy dura, rascada. La "mejora de la calidad" ("upgrading") empleando pinturas resistentes a los productos químicos de uno

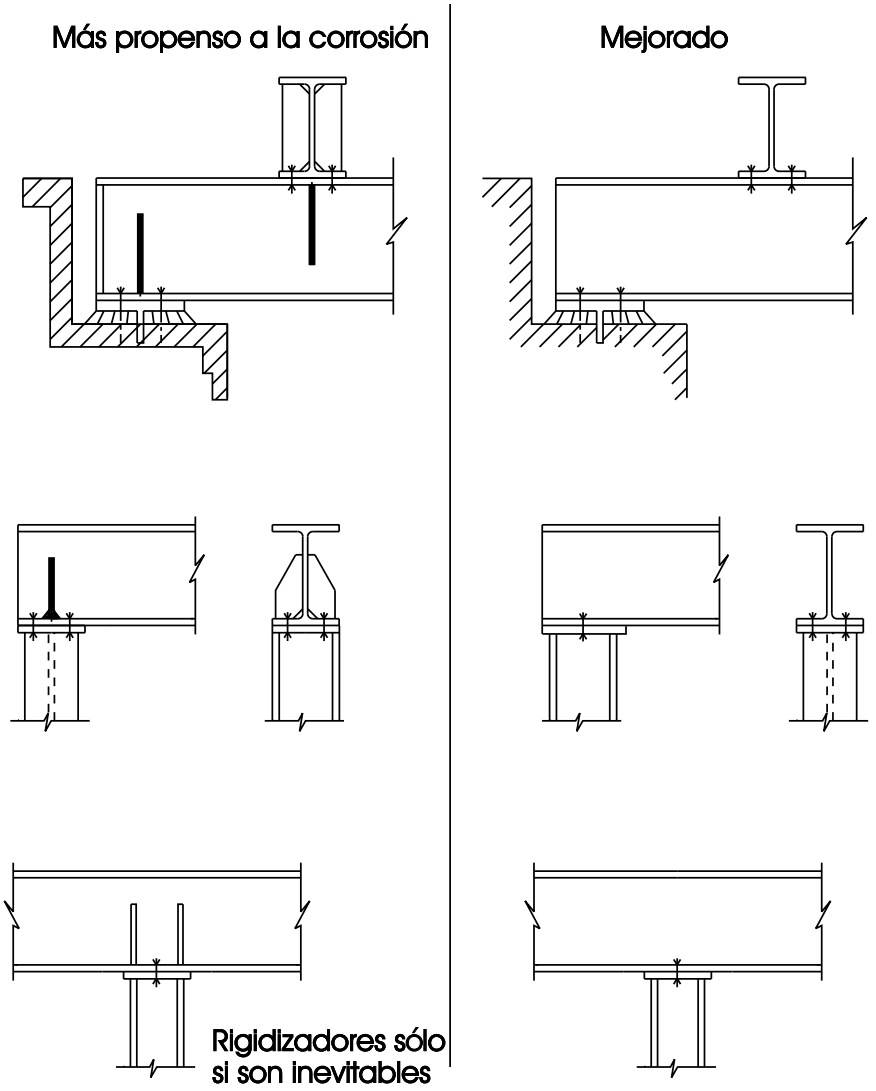


Figura F Evitar rigidizadores ya que atrapan humedad y suciedad: Diseñar las estructuras de acero sin cantos ni esquinas en las que se acumulen humedad y suciedad

o dos envases, no es probable que de resultados satisfactorios si la pintura aceitosa no es eliminada por completo.

Pinturas de un envase resistentes a los productos químicos Suelen poder repintarse de forma segura con materiales similares una vez se ha limpiado la superficie, a excepción de los sistemas de uretano de curación por humedad que es muy probable que necesiten una ligera limpieza por chorro para conseguir la adherencia. Se pueden aplicar productos de dos envases sobre uretanos curados por humedad, pero no se acostumbra a utilizarlos sobre los productos de un envase resistentes a los productos químicos, más comunes, como es por ejemplo la pintura con base de vinilo y de resina de clorocaucho. Las pinturas con base de aceite secante raramente se aplican sobre esta clase de pinturas, y nunca en entornos húmedos.

Pinturas de dos envases resistentes a los productos químicos Suelen ser duras y de difícil mantenimiento si no se limpian ligeramente por chorro. Este mantenimiento consiste en la aplicación de productos similares, o de materiales de un envase resistentes a los productos químicos, pero nunca se realiza con pinturas de base de aceite secante.

Estructuras de acero galvanizadas Solo pueden recubrirse de forma segura si se eliminan todos los productos solubles de la corrosión, hecho lo cual puede utilizarse virtualmente cualquier pintura de las familias antes mencionadas.

Estructuras de acero metalizadas Si la estructura de acero metalizada ha estado expuesta sin pintar, es virtualmente imposible repintarla. Los revestimientos sellados plantean pocos problemas.

La elección del proceso de pintado de mantenimiento depende del revestimiento existente y de su estado, del modelo posible de preparación de la superficie, del entorno de trabajo, del tiempo disponible, de las exigencias de seguridad, del acceso y de consideraciones económicas.

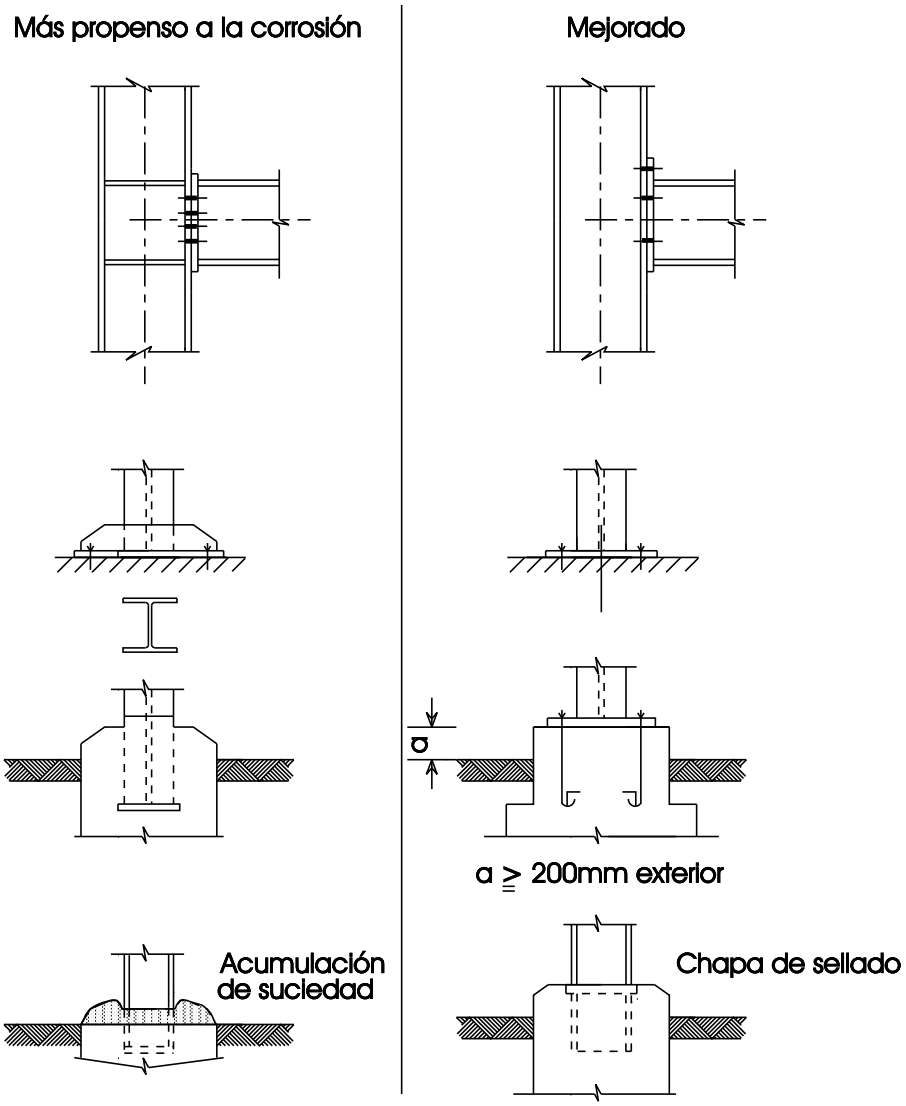


Figura G Ejemplos de buen diseño de estructuras

Sobre la decisión de si el mantenimiento debe consistir en un pintado por parches o en un repintado total, influyen tanto el acceso como el estado del trabajo existente. Por ejemplo, si se requiere mucho andamiaje quizá sea más rentable efectuar un repintado global.

Si existe una corrosión del substrato superior al 5%, el repintado global será ciertamente más rentable. La "Escala europea del grado de corrosión para pinturas anticorrosivas" ("European scale of degree of rusting for anticorrosive paints") ofrece imágenes monocromas de nueve grados de corrosión, de Re1 (0,05%) a Re9 (95%).

En resumen, un mantenimiento útil se inicia al comenzar el nuevo proyecto global, momento en el que el encargado de las especificaciones prevé las consecuencias que su proyecto y la elección del sistema inicial de pintado tendrán sobre el futuro mantenimiento: si puede hacerse y con qué. A ello le sigue una rutina de inspecciones estricta y regular, cuyos resultados se registran de forma precisa y pasan a formar parte de un calendario detallado de mantenimiento. Por último se elaboran unas especificaciones de pintado de mantenimiento hechas a medida para el trabajo en cuestión, y se establece una inspección adecuada para asegurar su cumplimiento.

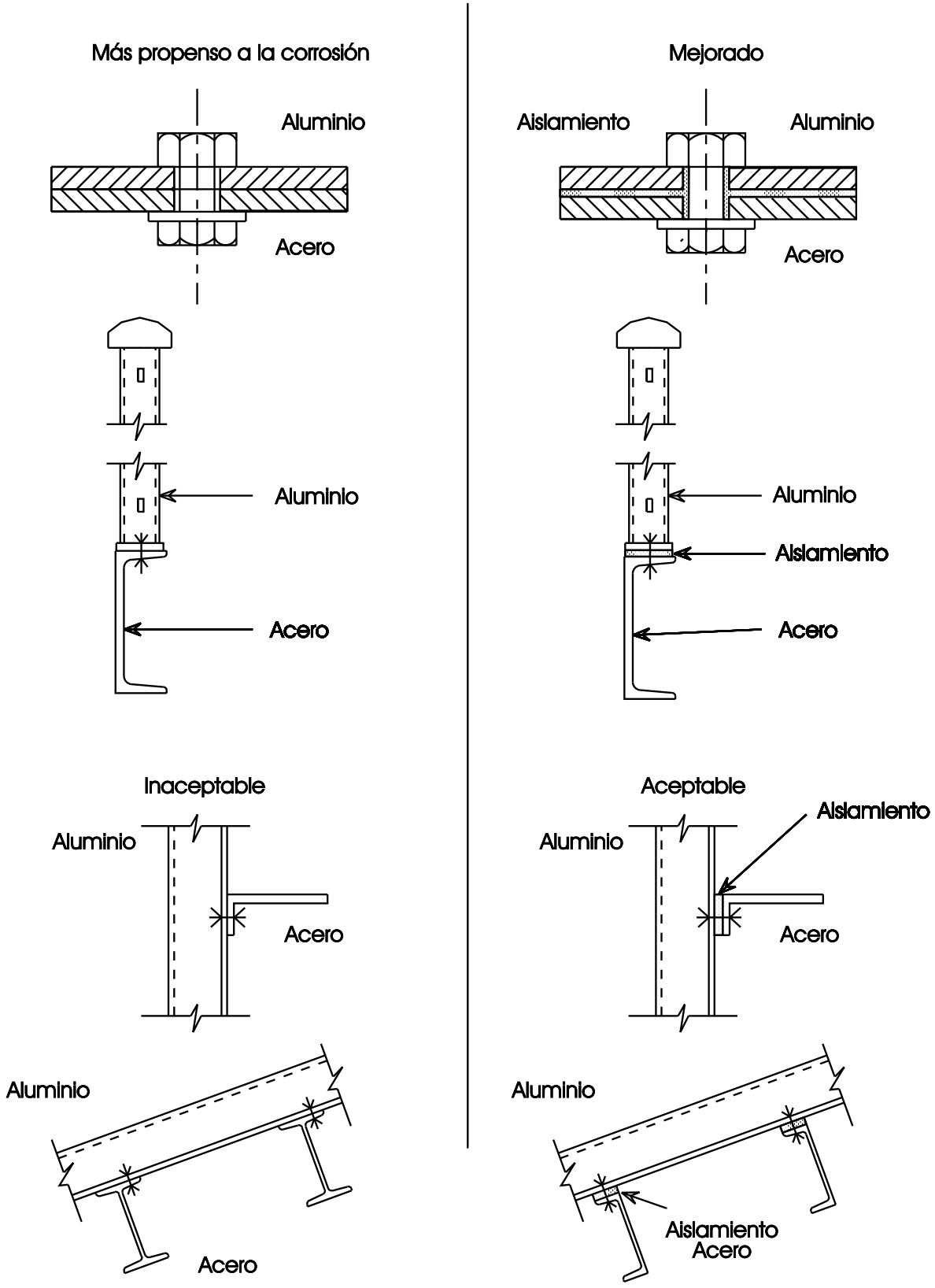


Figura H Evitar contacto con otros materiales mediante material aislante. Protección contra corrosión galvánica

6. RESUMEN FINAL

1. A la hora de elegir un sistema de protección es importante tener en cuenta el ciclo de mantenimiento.
2. Ese ciclo de mantenimiento se ve afectado por el “diseño” de los elementos de acero y por la forma en que están unidos.
3. Una superficie con una preparación defectuosa impide que el tratamiento de protección aplicado a continuación alcance su vida prevista.
4. Los tratamientos de prevención de la corrosión pueden ser orgánicos (pintura), metálicos (cinc, etc.), dobles (metálicos y orgánicos) o catódicos.
5. Da forma alternativa, con el fin de limitar o evitar la corrosión, el propio acero puede ser de tipo resistente a la corrosión atmosférica o inoxidable.
6. Una inspección regular de la estructura y un mantenimiento rutinario adecuado excluyen la necesidad de un trabajo de reparación de mayor envergadura del sistema de prevención de la corrosión.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] ISO 8501 Preparation of steel substrate before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness

[2] SIS 05 5900: 1988, Preparation of steel substrate before application of paints and related products - Visual assessment of surface cleanliness

[3] ISO 8503 Preparation of steel substrate before application of paints and related products - Surface roughness characteristics of blast-cleaned steel substrate.

[4] ISO 8502 Preparation of steel substrate before application of paint and related products - Test for the assessment of surface cleanliness (in preparation).

[5] ISO 8504 Preparation of steel substrate before application of paints and related products - Surface preparation methods (in preparation).

8. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Uhlig, H. H., “Corrosión and Corrosión Control”, 3rd ed, 1985, John Wiley & Sons.

2. Durability of Steel Structures: Protection of Steel Structures and Buildings from Atmospheric Corrosión, ECSC Report 620.197, 1983.

3. “Controlling Corrosión”, series of booklets published by the Department of Industry - Committee on Corrosión.

4. BCSA Publication: Steelwork Corrosión Protection Guide - Interior Environments (3rd Ed), 1989 (published jointly with BS, PRA and ZDA).

5. Steelwork Corrosión Protection Guide - Perimeter Walls (2nd Ed), 1989 (Published jointly with BS).

6. Steelwork Corrosión Protection Guide - Exterior Environments (2nd Ed), 1989 (published jointly with BS, PRA and ZDA).

7. Recommended Systems Joint publications by:

a. `Building Interiors’	BCSA
b. Wall Cavities	BCSA (in preparation)
c. Exterior Steelwork	Paint Research Association (in preparation)
	Zinc Development Association.

8. BS 5493 Code of practice for protective coating of iron and steel structured against corrosión.

9. DIN 55928: Part 5 Corrosión protection of steel structures by organic and metallic coatings Part 5 Coating materials and protective systems.

10. Norsk Standard NS 5415 Anti-corrosive paint systems for steel structures.

11. BS Draft for Development DD 24 Recommendations for methods of protection against corrosión on light section steel used in building.

12. ECCS No. 48 Protection against corrosión inside buildings, 1985.

13. ECCS No. 50 Protection of steel structures against corrosión by coatings, 1987.

14. BS 729 Specification for hot dip galvanised coatings on iron and steel articles, 1971(1986).

15. BS 2569 Specification for sprayed metal coatings Part 1 and 2.

16. BS 2989: 1992 Specification for continuously hot-dip zinc coated and iron-zinc alloy coated steel: Haz product = tolerances on dimensions and shape.

17. BS 3083: 1988 Specification for hot-dip zinc coated and hot-dip aluminium/zinc coated corrugated steel sheets for general purposes.

APÉNDICE 1

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ELECCIÓN DEL SISTEMA DE REVESTIMIENTO

CUESTIONES RELATIVAS AL PROYECTO, UTILIZACIÓN Y EXIGENCIAS DEL EMPLAZAMIENTO

Función

a. ¿Cuál es la función principal de la estructura?

b. ¿Cuáles son sus funciones secundarias?

Vida

a. ¿Durante cuánto tiempo ha de cumplir su función?

b. ¿Cuánto transcurrirá hasta el primer mantenimiento? (Quizá no sea posible contestar a esto hasta que no se haya respondido a más preguntas).

Entorno

a. ¿Cuál es el entorno general (atmosférico) en el emplazamiento de la estructura?

b. ¿Qué factores localizados existen o se espera que existan, por ejemplo humo procedente de chimeneas?

c. ¿Qué otros factores pueden afectar a la estructura, por ejemplo temperatura superficial o abrasión?

Apariencia

a. ¿Cómo se exige que sea la apariencia de la estructura (color y acabado)?

b. ¿Debe aplicarse in situ la capa final?

Propiedades especiales

a. ¿Qué propiedades especiales se exigen al revestimiento, por ejemplo coeficiente de fricción?

Mantenimiento

a. ¿Qué acceso habrá para un mantenimiento eficaz?

b. ¿Qué posibilidades hay de un mantenimiento eficaz?

Salud y Seguridad

a. ¿Existe algún problema que haya de tenerse en cuenta durante el tratamiento inicial?

b. ¿Existe algún problema que haya de tenerse en cuenta durante el tratamiento de mantenimiento?

Tolerancia

¿Se exige al revestimiento ser tolerante en relación con:

a. una indiferente preparación de la superficie

b. indiferentes técnicas de aplicación

c. desviaciones de la especificación?

CUESTIONES RELATIVAS A LOS SISTEMAS DE REVESTIMIENTO

Sistemas de revestimiento

a. ¿Qué sistemas de revestimiento son adecuados?

b. ¿Son fácilmente disponibles?

c. ¿Son mutuamente compatibles los elementos del sistema?

d. Si son pinturas, pueden aplicarse las capas:

con brocha
rodillo
rociador sin aire
u otro?

e. ¿Puede aplicarse el sistema, o parte de él, in situ?

Equipos de revestimiento

a. Los equipos de revestimiento, ¿están fácilmente disponibles:

i. para la aplicación en fábrica
ii. para la aplicación in situ?

b. ¿Cubren todos los tamaños y formas del trabajo de taller?

c. ¿Permiten una aplicación rápida?

d. ¿Permiten un trabajo acorde con las normas apropiadas?

Compatibilidad con los aspectos ingenieriles y metalúrgicos

a. El proyecto y conexión de la estructura ¿son compatibles con la técnica de revestimiento preferida?

b. La preparación de la superficie (limpieza por chorro o picadura) o la aplicación del revestimiento ¿afectan de una manera importante a las propiedades mecánicas del acero?

c. ¿Es compatible el sistema con la protección catódica?

Retrasos

¿Qué retrasos deberían permitirse entre:

a. el trabajo de taller y el primer revestimiento de protección;

b. la aplicación de la imprimación y la capa intermedia;

c. la aplicación de la capa intermedia y la capa de acabado;

d. la capa final en taller y el montaje;

e. el montaje y el tratamiento final?

Transporte, almacenamiento y manipulación

¿Qué tal soporta el revestimiento

a. una manipulación excesiva o negligente;

b. la abrasión y el impacto;

c. el apilamiento temprano;

d. la exposición al agua marina durante el transporte?

Experiencia

a. ¿Qué se sabe acerca del rendimiento regular del revestimiento?

Exportación

a. ¿Qué precauciones especiales deben tomarse cuando la estructura de acero se exporta?

Mantenimiento

a. ¿Sufre el revestimiento un deterioro rápido y serio si se retrasa el mantenimiento?

b. ¿Cuál es el sistema probable de mantenimiento? (Incluyendo la preparación de la superficie).

Coste

a. ¿Cuál es el coste aproximado de:
   i. el sistema básico;
   ii. cualquier elemento adicional;
   iii. el transporte;
   iv. el acceso?

b. ¿Cuáles son los gastos aproximados de mantenimiento?

APÉNDICE 2

TIPOS DE PINTURA

IMPRIMACIONES DE CHORRO ("BLAST PRIMER")

Estas imprimaciones han sido causa de cierta confusión, por eso se tratan aquí separadamente.

Se utilizan antes o después del trabajo de taller, normalmente en taller y en condiciones controladas.

a. Las imprimaciones anteriores al trabajo de taller están diseñadas para un uso en instalación de limpieza por chorro y pintado automatizada. Sin embargo, cada vez más fabricantes las aplican satisfactoriamente mediante rociadores convencionales manuales sin aire o de alta presión.

   Las más importantes son:

   Tipo I

   Butiral/fenólica de polivinilo de dos envases: tetroxicromato de cinc: DFT 15-20 µm.

   Tipo II

   Epoxi de dos envases: fosfato de cinc o tetroxicromato de cinc: DFT 25 µm.

   Tipo III

   Epoxi de dos envases: metal de cinc DFT 10-20µm. Nota: los revestimientos metálicos de cinc (incluyendo la metalización y galvanización de cinc) puede ocasionar riesgos para la salud, incluso en condiciones de taller a cielo abierto, cuando se sueldan o se oxicortan.

b. Los tipos I y II pueden ser posteriores al trabajo de taller; algunas pueden tener sólidos de mayor volumen, ofrecen una durabilidad prolongada pero son de secado lento. El encargado de las especificaciones debe establecer el tipo e indicar si se exige un uso anterior o posterior al trabajo de taller. Se han de seguir cuidadosamente los ritmos de aplicación del fabricante, sobre todo cuando se van a recubrir con pinturas químicamente resistentes que, por ejemplo, sobre una aplicación generosa de imprimación de chorro tipo I pueden conducir a un fallo entre capas (desconchado).

Los revestimientos de metal de cinc de un envase y de silicato etílico de cinc de dos envases están disponibles para usos especiales.

Muy a menudo se especifica como imprimación posterior al trabajo de taller la imprimación anticorrosiva que constituye la primera capa del sistema escogido.

PINTURAS CON BASE DE ACEITE SECANTE

Estas pinturas se secan por reacción con el oxígeno del aire. De uso generalizado, tienen una base de aceite vegetal o animal adecuadamente tratado, por ejemplo por calor, y reforzado con resinas sintéticas o naturales. No resisten el ataque químico directo ni condiciones de inmersión.

IMPRIMACIONES

Existen dos tipos básicos: productos de secado relativamente lento cuyo uso se limita a la aplicación in situ; y productos de secado más rápido que pueden utilizarse in situ o en taller. En general, los últimos tienen sólidos de menor volumen. Todos se destinan a sistemas aceitosos; algunos pueden emplearse en sistemas de un envase resistentes a los productos químicos.

Los aglutinantes característicos son:

Aceite secante

Alquidos modificados con aceite secante

Ester epoxídico

Aceite de uretano

Resina fenólica modificada con aceite secante

Entre los pigmentos anticorrosivos típicos están:

Fosfato o cromato de cinc, con minio y plumbato de calcio, usados todavía en imprimaciones destinadas a un uso in situ. Todos, menos el fosfato de cinc, imponen limitaciones de utilización.

Los espesores de película seca pueden variar entre 25-75 µm, dependiendo del volumen de sólidos, del método de aplicación y de la utilización de servicio.

Capas intermedias

A excepción de los aceites secantes no reforzados, pueden utilizarse todos los aglutinantes indicados en “Imprimaciones”.

La pigmentación es típicamente bióxido de titanio para los blancos y tonos, y pigmentos orgánicos e inorgánicos resistentes a los productos químicos para los colores. Los pigmentos de óxido de hierro micáceo se emplean para aumentar el espesor de película, cubrir mejor los bordes y ofrecer una buena resistencia a la corrosión atmosférica.

Las películas secan tienen un espesor de entre 25-50 µm, dependiendo del volumen de sólidos, del método de aplicación y de la utilización de servicio.

Estos productos están destinados a un uso con acabados aceitosos brillantes y de óxido de hierro micáceo.

Acabados

Los acabados muy brillantes en colores BS 4800 y RAL y los colores difusos de bajo resplandor en pinturas de óxido de hierro micáceo poseen una excelente resistencia a la corrosión atmosférica pero no soportan el ataque químico directo ni la inmersión completa en agua.

Los aglutinantes característicos son alquidos modificados con aceite o uretano, ésteres epoxídicos y fenólicos modificados con aceite.

Los pigmentos son diversos tipos de rutilo bióxido de titanio, pigmentos fotorresistentes coloreados y óxido de hierro o aluminio micáceos.

Los espesores de película seca varían entre 25-50 µm. En este sentido se aplican los mismos criterios que para las capas intermedias.

PINTURAS DE UN ENVASE RESISTENTES A LOS PRODUCTOS QUÍMICOS

Todos los productos de esta gama, menos uno, se secan por evaporación del disolvente. Esta excepción, poliuretanos de curación por humedad, se tratará más adelante. Se dispone de una amplia gama de formadores de película, de forma característica clorocaucho plastificado, solución copolímeros de vinilo y resinas acrílicas, polímeros de acrilato. Las diferencias entre los productos basados en estas resinas y otros son sutiles, habiendo acumulado durante años los fabricantes individuales una experiencia con uno o dos sistemas de resinas.

Las principales características que tienen en común son una excelente resistencia al agua (incluyendo la inmersión), una buena resistencia a los ácidos inorgánicos y una adecuada resistencia al álcali. Respecto a esto último, los sistemas de dos envases resistentes a los productos químicos resisten mejor un ataque intenso. En teoría, ninguna pintura basada en una de las resinas mencionadas en el párrafo anterior resiste el ataque de ácidos orgánicos, grasas animales, etc., pero existen muchos ejemplos que demuestran que son algo más que adecuadas. Los fabricantes de las pinturas ofrecerán el asesoramiento necesario para los casos específicos.

Dado que estas pinturas se secan por evaporación del disolvente, forman películas a bajas temperaturas y se secan satisfactoriamente en atmósferas contaminadas. La adherencia entre capas es buena, tanto al principio como en el mantenimiento, pues las resinas siguen siendo solubles en los disolventes utilizados en las pinturas. Por el contrario, la resistencia a los disolventes es relativamente reducida. La resistencia térmica máxima ronda los 65°C.

En este grupo deben incluirse los sistemas de resina acuosos, por ejemplo copolímeros acrílicos de vinilo. Aunque son de reciente introducción (en la última década), prometen mucho sobre todo como imprimaciones de metal. Dado que, más que formar una película simplemente por pérdida del disolvente, se unen por coalescencia, sus propiedades mecánicas son mejores de lo que cabría esperar de una pintura de un envase.

En el grupo también se encuentran pinturas resinosas de un envase de poliuretano de curación por humedad. No deben confundirse con los productos que contienen aceite o alquido, "reforzados" mediante la adición de un componente de uretano. Las variedades de curación por humedad se secan como pinturas de dos envases, sufriendo una compleja reacción química en la que la humedad actúa como agente de "curado". Una vez curadas, estas pinturas poseen la mayoría de los atributos asociados a las de poliuretano de dos envases. Una ventaja importante es su capacidad para formar películas a bajas temperaturas. Obviamente, esta característica debe aprovecharse con precaución; el agua o el hielo formado en la intersección de la superficie y la pintura disminuirán su rendimiento.

Existen disponibles imprimaciones para una aplicación en taller o in situ basada en todos estos sistemas resinosos. Puesto que sus propiedades de inhibición de la corrosión son inferiores a las de las imprimaciones, independientemente del pigmento inhibidor escogido, algunos fabricantes elaboran una imprimación modificada con aceite, de formulación específica para un proceso de pintura de un envase resistente a los productos químicos (a excepción de los poliuretanos de curación por humedad). Estas imprimaciones no suelen recomendarse para una exposición intensa o condiciones de inmersión. Resultan especialmente útiles para la aplicación in situ.

Como pigmento inhibidor se utilizan de un modo generalizado los de fosfato de cinc.

Los espesores de película seca varían entre 25-65 μm, dependiendo del volumen de sólidos, del método de aplicación y de la utilización de servicio.

Capas intermedias

Puede utilizarse cualquiera de las resinas indicadas anteriormente. Estas capas son resistentes químicamente y a la corrosión atmosférica; de hecho, muchos productos patentados se designan como "revestimientos gruesos" y son adecuados como capas intermedias y como acabados.

Los pigmentos de rutilo bióxido de titanio son de uso generalizado para blancos y tonos. Los resistentes químicamente y a la luz se emplean para los colores, utilizándose el óxido de hierro micáceo tanto por su resistencia a la corrosión atmosférica, como por su capacidad para mejorar las propiedades mecánicas de la película de pintura.

Los espesores de película seca de entre 50-100 μm por capa dependen del volumen de sólidos, de las dimensiones y complejidad de la estructura de acero, del método de aplicación, de la temperatura ambiente y de la superficie. Además, la liberación de disolvente es relativamente lenta y limita el espesor, que puede aplicarse de forma segura para evitar que el disolvente quede atrapado formando burbujas o poros.

Acabados

Los acabados se basan en los mismos tipos de resinas utilizados en las capas intermedias, empleándose también el mismo tipo de pigmentos. Cuando los acabados se venden específicamente para este fin, presentan una mejor resistencia a condiciones de exposición intensa y al ataque químico que los productos de doble función. Están disponibles acabados muy brillantes. Pueden elaborarse muchos colores BS 4800, si bien la necesidad de resistencia química descarta algunos.

Los espesores de película seca varían entre 25-100 μm por capa. Su rendimiento se rige por las consideraciones apuntadas en "Capas intermedias".

PINTURAS DE DOS ENVASES RESISTENTES A LOS PRODUCTOS QUÍMICOS

Estos revestimientos de dos partes forman películas por una compleja reacción química, dependiente de la temperatura. La mayoría de los productos no pueden utilizarse a temperaturas ambiente y de la superficie inferiores a 10°C, aunque unos pocos son capaces de una "curación" a 5°C. Es importante diferenciar entre el secado de la película y la consecución de su resistencia química total; denominándose al proceso "curación". Una vez concluido, los revestimientos son tenaces, resistentes a la abrasión y a una gama muy amplia de ácidos, álcalis, aceites y disolventes, incluso totalmente sumergidos. Los intervalos entre las capas pueden ser críticos, sobre todo con uretanos de dos envases, consistiendo la principal dificultad en asegurar una buena adherencia entre capas.

Imprimaciones

Existe disponible una amplia variedad para uso en taller e in situ. La mayoría solo son adecuadas como imprimaciones posteriores al trabajo de taller. Se emplean en pinturas resistentes a los productos químicos tanto de un envase como de dos.

El pigmento anticorrosivo más utilizado es el fosfato de cinc.

Los aglutinantes típicos son:

epoxi de dos envases

uretano de dos envases.

Se obtienen espesores de la película seca de entre 25-75 μm, dependiendo del volumen de sólidos, del método de aplicación y de la utilización de servicio.

Capas intermedias

Estos productos se utilizan con acabados de alto rendimiento de uno o dos envases.

Los aglutinantes típicos son:

epoxi de dos envases

uretano o acrílico de uretano de dos envases

epoxi de curación con isocianato

epoxi: alquitrán

epoxi: brea

Alquitrán o brea uretano.

La pigmentación es de forma característica bióxido de titanio en blancos y tonos, con pigmentos resistentes a la luz y a los productos químicos en los colores. Para mejorar la formación de película, la resistencia a la corrosión atmosférica y las propiedades mecánicas, se emplea el óxido de hierro micáceo., que facilita además el recubrimiento.

Los espesores de la película seca están influidos por los mismos criterios que las imprimaciones. Varían entre 75-200 μm.

TABLA 1

INTERIORES			
Categoría de entorno	Entorno	Riesgo de corrosión	Ejemplos
A	Normal (RH inferior a 60%)	Despreciable	Oficinas Locales comerciales Producción y montaje industrial Almacenes Salas de hospital Colegios Hoteles
B	Condensación ocasional	Bajo	Edificios sin calefacción Estacionamientos de vehículos Pabellones deportivos
C	Condensación frecuente	Significativo	Plantas de procesamiento de alimentos/cocinas Lavanderías Fábricas de cerveza Centrales lecheras
Otras; buscar asesoramiento especializado	Plantas de procesamiento químico Tintorerías Piscinas Fábricas de papel Talleres de fabricación de barcos sobre agua marina Fundiciones/fábricas metalúrgicas		
EXTERIORES			
D	Tierra adentro normal	Bajo	Instalaciones industriales y estructura de acero de sostenimiento Terminales de autobuses/trenes
E	Tierra adentro contaminada	Significativo	Patios de tanques, grúas, muelles, estaciones eléctricas
F	Costero normal	Alto	Muelles, grúas, instalaciones de contenedores, estaciones eléctricas, refinerías
G	Costero contaminado	Muy alto	Patios de tanques, instalaciones industriales, estructura de acero de sostenimiento
Otras; buscar asesoramiento especializado	Entornos industriales agresivos, como estructura de acero junto a instalaciones ácidas, depósitos de almacenamiento de sales, talleres de electrodepósito, talleres químicos, etc. Estructura de acero enterrada o sumergida. Zonas de salpicaduras de agua marina.		

Tabla 2 Entornos A & B: Sistemas de protección característicos

Interior seco e interior con condensación ocasional	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P1 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro ("blast primer") tipo 1, 11 o 111 Imprimación anticorrosiva de base capa 2 o 011 In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con imprimación capa 2 Capa 3 Capa intermedia aceitosa Capa 4 Acabado aceitoso Total DFT Total DFT utilizando capa intermedia con pigmentación de óxido de hierro micáceo (MIO) Total DFT utilizando capa intermedia y acabado con pigmentación de óxido de hierro micáceo	 15(1) 50 (50) 25 <u>35</u> <u>110</u> 130 150		 20+ 20+ 20+	 7 7-12 7-12	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. Es posible un cálculo de costes preciso. 3. Entorno controlado para la preparación/imprimación. 4. Es posible la imprimación anterior o posterior al trabajo de taller. Si es posterior, anular la capa 1. 5. Todo el sistema puede aplicarse in situ, ver (4). Es probable un aumento del coste. Control de la calidad más difícil. 6. El uso de capa intermedia y acabado con pigmentación de óxido de hierro micáceo ofrece una mejor protección de los bordes. 7. Las capas 3 y 4 pueden también reemplazarse por una capa de acabado de alto espesor.	Preparación e imprimación de zonas; imprimación anticorrosiva aceitosa más una o dos capas de acabado aceitoso.	La imprimación de zonas no debe superar el 1%. Solo se recubren las capas superiores, de modo que el mantenimiento es relativamente fácil.

Tabla 2 Entornos A & B: Sistemas de protección característicos Página 2

Interior seco e interior con condensación ocasional	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P2 In situ: Preparación manual/mecánica conforme a la norma sueca St 2 Capa 1 Imprimación anticorrosiva aceitosa Capa 2 capa intermedia aceitosa capa 3 acabado aceitoso Total DFT Total DFT utilizando capa intermedia con pigmentación de óxido de hierro micáceo Total DFT utilizando capa intermedia y acabado con pigmentación de óxido de hierro micáceo	50 25 35 110 130 150		20+ 20+ 20+	5(1) 5+(1) 5-7(1)	1. la cascarilla de laminación ligera y las picaduras de herrumbre no se eliminarán. Esto puede hacer que la pintura se desprenda antes de que las capas superiores necesiten ser recubiertas. 2. Las capas 2 y 3 puede reemplazarse con un acabado de alto espesor. 3. El uso de capa intermedia y acabado con pigmentación de óxido de hierro micáceo ofrece una mejor protección de los bordes.	Preparación, imprimación de zonas, imprimación anticorrosiva aceitosa, presentación ("bringing forward") con capa intermedia aceitosa, aplicar globalmente 1 o 2 capas de acabado. O 1 capa de acabado de alto espesor.	Puede necesitar hasta un 25% de imprimación y presentación, fallo debido a un desprendimiento impredecible de la cascarilla de laminación. Difícil presupuesto del mantenimiento planificado.
P3 In situ: Preparación manual/mecánica conforme a la norma sueca St 2 Capa 1 pintura con base de "grasa" no oxidante o un compuesto "anticorrosivo" patentado Capa 2 como capa 1 Total DFT	100+ 100+ 200+		20+ 20+	no aplicable	1. Este proceso es para estructuras de acero huecas envueltas. No es decorativo. 2. Comprobar los riesgos en caso de incendio, por ejemplo BS 476 Parte 6: 1968 y Parte 7: 1971. 3. Algunos fabricantes quizá recomienden una imprimación "penetrante".	Recubrimiento con material original o similar.	Establecer las consecuencias de un aumento del espesor total de la película en caso de incendio.

Tabla 2 Entornos A & B: Sistemas de protección característicos

Interior seco e interior con condensación ocasional	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
G1 In situ: Galvanización - BS 729	85		20	no aplicable	Limitaciones de tamaño. No decorativo. No se limpia con facilidad en servicio. *Vida utilizando medios de unión galvanizados.	Imprimación anticorrosiva aceitosa con pigmentación de plumato cálcico (“calcium plumate”) con contenido de (plomo); baño T o imprimación con diluyente ácido de dos envases similar a la imprimación de chorro tipo 1, 1 capa aceitosa intermedia, 1 capa de acabado aceitoso.	Los productos de la corrosión deben eliminarse antes de pintar; las imprimaciones que contienen plomo imponen limitaciones. El baño T debe enjuagarse por completo.
AS1/ZS1 Fuera de obra: Metalización de cinc o aluminio conforme a BS 5269; aluminio sellado, cinc no sellado	100 100		20+ 20+	no aplicable	Sin limitaciones de tamaño. No decorativo, retiene suciedad, aceite, etc. fácilmente. No se limpia con facilidad en servicio. * acepta medios de unión tratados conforme a la misma norma.	Imprimación anticorrosiva aceitosa sin plomo 1 capa intermedia aceitosa 1 capa de acabado aceitoso	Los productos de la corrosión deben eliminarse antes de la imprimación.

Tabla 2 Entorno C: Sistemas de protección característicos Página 4

Interior condensación frecuente	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P4 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 1 o 111 Capa 2 imprimación de un envase resistente a los productos químicos In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con imprimación de un envase resistente a los productos químicos. Capa 3 capa intermedia de un envase resistente a los productos químicos Capa 4 Acabado de un envase resistente a los productos químicos Capa 4 La sustitución con acabado de un envase resistente a los productos químicos de brillo total da 25 µm para la capa final: Total DFT O Añadir Capa 5, acabado de un envase resistente a los productos químicos de brillo total, dando 25 µm adicionales: Total DFT	15 75 (75) 75 75 225 175 250		15+ 10+ 15+	12 10 12	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. La imprimación con cinc (tipo III) no suele utilizarse donde se prevé un ataque químico directo. Consultar al fabricante. 3. Puede ser de pigmentación de óxido de hierro micáceo. 4. Secciones pequeñas vulnerables al “bloqueo” si se reúnen con este espesor: consultar al fabricante. 5. Todo el sistema puede aplicarse in situ, ver (4). Es probable un aumento del coste, y el control de calidad se dificulta. 6. Resistencia máxima al ataque químico directo sobre la película de pintura, y por razones estéticas. 7. Máxima durabilidad y resistencia química.	Preparación, imprimación de un envase resistente a los productos químicos, presentación con una capa intermedia tipo capa 3, y aplicar globalmente el acabado tipo capa 4	Estos productos se secan simplemente por evaporación del disolvente cuando no están modificados con aceite. Por eso la adherencia de los sistemas de mantenimiento suele ser buena.

Tabla 2 Entorno C: Sistemas de protección característicos Página 5

Interior condensación frecuente	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P5 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 1, 11 o 111 Capa 2 imprimación de dos envases resistente a los productos químicos In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con imprimación tipo capa 2. Capa 3 acabado de dos envases resistente a los productos químicos Capa 4 acabado de dos envases resistente a los productos químicos Total DFT	15 75 (75) 75 75 223		15+	10+	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. La imprimación con cinc (tipo III) no suele utilizarse cuando se prevé un ataque químico directo. Consultar al fabricante. 3. La capa 1 puede anularse si la limpieza por chorro es posterior al trabajo de taller. 4. Puede emplearse brea o alquitrán epoxi o de uretano para la resistencia al agua. 5. Consultar al fabricante acerca de las exigencias de temperatura mínima y humedad máxima durante la aplicación y curación. 6. Los intervalos entre capas son críticos; consultar al fabricante. Asegurarse de que la información pertinente está reflejada en la especificación.	Preparar y aplicar una o dos capas de la capa 3, imprimación de dos envases resistente a los productos químicos. O 1 capa intermedia, de un envase, resistente a los productos químicos 1 capa de imprimación de un envase resistente a los productos químicos.	La preparación puede incluir una ligera limpieza por chorro. Recordar que la temperatura, humedad e intervalos entre capas son críticos. Puede tenerse en cuenta un recubrimiento con capa intermedia y acabado, de un envase y resistentes a los productos químicos.

Nota: El sistema P1, Página1 utilizando capa intermedia y acabado con pigmentación MIO puede plantearse con dft de 130-150 µm. No resistirá un ataque químico directo ni la inmersión. Tiempo probable hasta el primer mantenimiento: 5 años (columnas “a” y “b”).

Plantearse también la galvanización. Ver sistema G1 (85 µm dft). Ver Página4

Plantearse también la metalización. Ver sistema ASI/25.1 (100 µm dft). Ver Página4

Tabla 2 Entorno D: Sistemas de protección característicos Página 6

Interior normal	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P1 Fuera de obra. Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 1, 11 o 111 Imprimación anticorrosiva de base capa 2 o 011 In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con imprimación capa 2 Capa 3 Capa intermedia aceitosa Capa 4 Acabado aceitoso Total DFT Total DFT utilizando capa intermedia con pigmentación de óxido de hierro micáceo Total DFT utilizando capa intermedia y acabado con pigmentación de óxido de hierro micáceo	 15 50 (50) 25 35 110 130 150		 7+ 10+ 10+	 5+ 7-12 7-12	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. Es posible un cálculo de costes preciso. 3. Entorno controlado para la preparación /imprimación. 4. Es posible la imprimación anterior o posterior al trabajo de taller. Si es posterior, anular la capa 1. 5. Todo el sistema puede aplicarse in situ, ver (4). Es probable un aumento del coste. Control de la calidad más difícil. 6. El uso de capa intermedia y acabado con pigmentación de óxido de hierro micáceo ofrece una mejor protección de los bordes. 7. Las capas 3 y 4 pueden también reemplazarse por una capa de acabado de alto espesor.	Preparación e imprimación de zonas; imprimación anticorrosiva aceitosa más una o dos capas de acabado aceitoso.	La imprimación de zonas no debe superar el 1%. Solo se recubren las capas superiores, de modo que el mantenimiento es relativamente fácil.

Tabla 2 Entorno D: Sistemas de protección característicos Página 7

Interior normal	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P2 In situ: Preparación manual/mecánica conforme a la norma sueca St 2 Capa 1 Imprimación anticorrosiva aceitosa Capa 2 capa intermedia aceitosa Capa 3 acabado aceitoso Total DFT	50 25 35 110		6-10	3-5	1. la cascarilla de laminación ligera y las picaduras de herrumbre no se eliminarán. Esto puede hacer que la pintura se desprenda antes de que las capas superiores necesiten ser recubiertas.	Preparación, imprimación de zonas con tipo capa 1, presentación con capa intermedia tipo capa 1, acabado global con una capa intermedia tipo 2 y una capa de acabado tipo 3, O 2 capas de acabado tipo 3.	Puede necesitar hasta un 25% de imprimación y presentación, fallo debido a un desprendimiento impredecible de la cascarilla de laminación.
Total DFT utilizando capa intermedia con pigmentación de óxido de hierro micáceo	135		6-10	3-5	2. El uso de capa intermedia y acabado con pigmentación de óxido de hierro micáceo ofrece una mejor protección de los bordes.	O 1 capa de acabado de alto espesor.	Difícil presupuesto del mantenimiento planificado.
Total DFT utilizando capa intermedia y acabado con pigmentación de óxido de hierro micáceo	150		8-12	5-7			

Tabla 2 Entorno D: Sistemas de protección característicos Página 8

Interior normal	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P4 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 1, 11 o 111 Capa 2 imprimación de dos envases resistente a los productos químicos In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con imprimación de un envase resistente a los productos químicos. Capa 3 Capa intermedia de un envase resistente a los productos químicos Capa 4 Acabado de un envase resistente a los productos químicos Capa 4 La sustitución con acabado de un envase resistente a los productos químicos de brillo total da 25 µm para la capa final: Total DFT O Añadir Capa 5, acabado de un envase resistente a los productos químicos de brillo total, dando 25 µm adicionales: Total DFT	15 75 (75) 75 <u>75</u> 225 175 250		 15+ 10+ 15+	 7-10 7+ 7-10	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. La imprimación con cinc (tipo III) no suele utilizarse donde se prevé un ataque químico directo. Consultar al fabricante. 3. Puede ser de pigmentación de óxido de hierro micáceo. 4. Secciones pequeñas vulnerables al “bloqueo” si se reúnen con este espesor: consultar al fabricante. 5. Todo el sistema puede aplicarse in situ. Es probable un aumento del coste y que el control de calidad se dificulte. 6. Resistencia máxima al ataque químico directo sobre la película de pintura, y por razones estéticas. 7. Máxima durabilidad y resistencia química.	Preparación, imprimación de un envase resistente a los productos químicos, presentación con una capa intermedia tipo capa 3, y aplicar globalmente el acabado tipo capa 4.	Estos productos se secan simplemente por evaporación del disolvente cuando no están modificados con aceite. Por eso la adherencia de los sistemas de mantenimiento suele ser buena.

Plantearse también la metalización. Ver sistema G1 (85 µm dft). Ver Página4
Plantearse también la metalización. Ver sistema ASI/25.1 (100 µm dft). Ver Página4

Tabla 2 Entornos E: Sistemas de protección característicos Página 9

Interior contaminado	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años (a) prevención de la corrosión del acero	(b) mantenimiento apariencia higiene etc	Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
P6 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 11 o 111 Capa 2 imprimación de dos envases resistente a los productos químicos Capa 3 capa intermedia de dos envases resistente a los productos químicos In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con imprimación tipo capa 2, presentación de las zonas con imprimación con capa intermedia tipo capa 3 Capa 4 acabado de dos envases resistente a los productos químicos Total DFT O sustituir capa 4 acabado de un envase resistente a los productos químicos Total DFT proceso alternativo	15 75 125 (75) (125) 75 275 75 275		20 20	7-12 7-12	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. Esta capa puede anularse si la limpieza por chorro es posterior al trabajo de taller. 3. La imprimación con cinc (tipo III) no suele utilizarse cuando se prevé un ataque químico directo. Consultar al fabricante. 4. Consultar al fabricante acerca de las exigencias de temperatura mínima y humedad máxima durante la aplicación y curación. 5. Los intervalos entre capas son críticos; consultar al fabricante. Asegurarse de que la información pertinente está en la especificación. 6. Es una alternativa útil a la pintura de dos envases como capa final en condiciones frías o cuando son probables los retrasos in situ (incluye poliuretanos de curación por humedad, de un envase) 7. Los acabados brillantes de 1 o 2 envases resistentes a los productos químicos darán DFTs inferiores (aprox. 25 µm).	Preparar y aplicar una o dos capas de acabado de 2 envases resistente a los productos químicos, tipo capa 4. O poliuretanos de curación por humedad de un envase O Preparar y aplicar una o dos capas de acabado de 1 envase resistente a los productos químicos.	La preparación puede incluir una ligera limpieza por chorro. Recordar que la temperatura, humedad e intervalos entre capas son críticos. Puede tenerse en cuenta un recubrimiento con acabado de un envase resistente a los productos químicos, con base de clorocaucho, vinilo o resina acrílica. También uretano de curación por humedad de un envase.

Tabla 2 Entorno E: Sistemas de protección característicos

Página 10

Interior contaminado	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años (a) prevención de la corrosión del acero	(b) mantenimiento apariencia higiene etc	Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
P7 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 11 o 111 Capa 2 imprimación de un envase resistente a los productos químicos In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con dos capas de imprimación de un envase resistente a los productos químicos. Capa 3 Capa intermedia de un envase resistente a los productos químicos Capa 4 Acabado de un envase resistente a los productos químicos Capa 5 Acabado de un envase resistente a los productos químicos Total DFT La sustitución con acabado de un envase resistente a los productos químicos de brillo total da 25 µm para la capa final: Total DFT	15 100 (50) (50) 75 75 75 325 255(6)		15+ 10+ 15+	12 10 12	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. La imprimación con cinc (tipo III) no suele utilizarse donde se prevé un ataque químico directo. Consultar al fabricante. 3. Puede ser de pigmentación de óxido de hierro micáceo. 4. Secciones pequeñas vulnerables al "bloqueo" si se reúnen con este espesor: consultar al fabricante. 5. Todo el sistema puede aplicarse in situ. Es probable un aumento del coste y que el control de calidad se dificulte. 6. Resistencia máxima al ataque químico directo sobre la película de pintura, y por razones estéticas. 7. Máxima durabilidad y resistencia química.	Preparación, imprimación de un envase resistente a los productos químicos, presentación con una capa intermedia tipo capa 3, y aplicar globalmente el acabado tipo capa 4 (1 o 2 capas).	Estos productos se secan simplemente por evaporación del disolvente cuando no están modificados con aceite. Por eso la adherencia de los sistemas de mantenimiento suele ser buena.
G1 Fuera de obra: Galvanización - BS 729	85		10+	No aplicable	Ver notas de G1 en Página3	Sistemas de pintado de uno o dos envases resistentes a los productos químicos tipo capa 3 150-300 µm dft	Ver notas de G1 en Página4
AS2/Z52 Metalización de cinc o aluminio fuera de obra conforme a BS 5269 - sellada	150		cinc 15+ aluminio 20	No aplicable	Ver notas de AS1/Z51 en Página3	Como en notas anteriores de G1	Ver notas de AS1/Z51 en Página4

Tabla 2 Entorno F: Sistemas de protección característicos

Costero normal	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P1 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 1, 11 o 111 Capa 2 Imprimación anticorrosiva aceitosa In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con imprimación tipo capa 2 Capa 3 Capa intermedia aceitosa Capa 4 Acabado aceitoso Total DFT Total DFT utilizando capa intermedia con pigmentación de óxido de hierro micáceo Total DFT utilizando capa intermedia y acabado con pigmentación de óxido de hierro micáceo	 15 50 (50) 25 35 110 130 150		 8+ 8+ 8-12	 3+ 3-5 5+	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. Es posible un cálculo de costes preciso. 3. Entorno controlado para la preparación/imprimación. 4. La capa 1 se puede anular si la limpieza por chorro es posterior al trabajo de taller. 5. Todo el sistema puede aplicarse in situ. Es probable un aumento del coste. Control de la calidad más difícil. 6. El uso de capa intermedia y acabado con pigmentación de óxido de hierro micáceo ofrecerá una mejor protección de los bordes.	Preparación, imprimación de zonas con imprimación tipo capa 2. Presentación con capa intermedia tipo capa 3. Acabado global con capa tipo 4.	La imprimación de zonas debe ser inferior al 1%. La presentación de zonas de imprimación con capa intermedia mantiene el espesor original

Tabla 2 Entorno F: Sistemas de protección característicos

Costero normal	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P4 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 11 o 111 Capa 2 imprimación de un envase resistente a los productos químicos In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con imprimación de un envase resistente a los productos químicos. Capa 3 Capa intermedia de un envase resistente a los productos químicos Capa 4 Acabado de un envase resistente a los productos químicos Capa 4 La sustitución con acabado de un envase resistente a los productos químicos de brillo total da 25 µm para la capa final: Total DFT O Añadir Capa 5, acabado de un envase resistente a los productos químicos de brillo total, dando 25 µm adicionales: Total DFT	15 75 (75) 75 75 225 175 250		15+ 10+ 15+	12 10 12	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. La imprimación con cinc (tipo III) no suele utilizarse donde se prevé un ataque químico directo. Consultar al fabricante. 3. Puede ser de pigmentación de óxido de hierro micáceo. 4. Secciones pequeñas vulnerables al “bloqueo” si se reúnen con este espesor: consultar al fabricante. 5. Todo el sistema puede aplicarse in situ. Es probable un aumento del coste y que el control de calidad se dificulte. 6. Resistencia máxima al ataque químico directo sobre la película de pintura, y por razones estéticas. 7. Máxima durabilidad y resistencia química.	Preparación, imprimación de un envase resistente a los productos químicos, presentación con una capa intermedia tipo capa 3, y aplicar globalmente el acabado tipo capa 4.	Estos productos se secan simplemente por evaporación del disolvente cuando no están modificados con aceite. Por eso la adherencia de los sistemas de mantenimiento suele ser buena.

Tabla 2 Entorno F: Sistemas de protección característicos

Costero normal	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P5 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 1, 11 o 111 Capa 2 imprimación de dos envases resistente a los productos químicos In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con imprimación tipo capa 2. Capa 3 acabado de dos envases resistente a los productos químicos Capa 4 acabado de dos envases resistente a los productos químicos Total DFT	15 75 (75) 75 75 225		15+	10+	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. La imprimación con cinc (tipo III) no suele utilizarse cuando se prevé un ataque químico directo. Consultar al fabricante. 3. La capa 1 puede anularse si la limpieza por chorro es posterior al trabajo de taller. 4. Puede emplearse brea o alquitrán epoxi o de uretano para la resistencia al agua. 5. Consultar al fabricante acerca de las exigencias de temperatura mínima y humedad máxima durante la aplicación y curación. 6. Los intervalos entre capas son críticos; consultar al fabricante. Asegurarse de que la información pertinente está reflejada en la especificación.	Preparar y aplicar una o dos capas de la capa 3, imprimación de dos envases resistente a los productos químicos. O 1 capa intermedia, de un envase, resistente a los productos químicos 1 capa de imprimación de un envase resistente a los productos químicos.	La preparación puede incluir una ligera limpieza por chorro. Recordar que la temperatura, humedad e intervalos entre capas son críticos. Puede tenerse en cuenta un recubrimiento con capa intermedia y acabado, de un envase y resistentes a los productos químicos.
G1 Fuera de obra: Galvanización - BS 729	85		20	No aplicable	Ver notas de G1 en Página3	Sistemas de pintado de uno o dos envases resistentes a los productos químicos tipo capa 3 150-300 µm dft	Ver notas de G1 en Página4
AS2/Z52 Metalización de cinc o aluminio fuera de obra conforme a BS 5269 - sellada	150		20	No aplicable	Ver notas de AS1/Z51 Página3	Como en notas anteriores de G1	Ver notas de AS1/Z51 en Página4

Tabla 2 Entorno G: Sistemas de protección característicos Página 14

Costero contaminado	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años (a) prevención de la corrosión del acero	(b) mantenimiento apariencia higiene etc	Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
P6 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 11 o 111 Capa 2 imprimación de dos envases resistente a los productos químicos Capa 3 capa intermedia de dos envases resistente a los productos químicos In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con imprimación tipo capa 2, presentación de las zonas de imprimación con capa intermedia tipo capa 3 Capa 4 acabado de dos envases resistente a los productos químicos Total DFT O sustituir capa 4 acabado de un envase resistente a los productos químicos Total DFT proceso alternativo	15 75 125 (75) (125) 75 275 75 275		10+ 10+	10 7-1 2	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. Esta capa puede anularse si la limpieza por chorro es posterior al trabajo de taller. 3. La imprimación con cinc (tipo III) no suele utilizarse cuando se prevé un ataque químico directo. Consultar al fabricante. 4. Consultar al fabricante acerca de las exigencias de temperatura mínima y humedad máxima durante la aplicación y curación. 5. El intervalo entre capas es crítico; consultar al fabricante. Asegurarse de que la información pertinente está reflejada en la especificación. 6. Es una alternativa útil a la pintura de dos envases como capa final en condiciones frías o cuando son probables los retrasos in situ (incluye poliuretanos de curación por humedad, de un envase) 7. Los acabados brillantes de 1 o 2 envases resistentes a los productos químicos darán DFTs inferiores (aprox. 25 µm).	Preparar y aplicar una o dos capas de acabado de 2 envases resistente a los productos químicos, tipo capa 4. O poliuretanos de curación por humedad de un envase O Preparar y aplicar una o dos capas de acabado de 1 envase resistente a los productos químicos.	La preparación puede incluir una ligera limpieza por chorro. Recordar que la temperatura, humedad e intervalos entre capas son críticos. Puede tenerse en cuenta un recubrimiento con acabado de un envase resistente a los productos químicos, con base de cloro-caucho, vinilo o resina acrílica. También uretano de curación por humedad de un envase.

Tabla 2 Entorno G: Sistemas de protección característicos

Costero contaminado	Espesor película seca (DFT) µm	Coste comparativo	Tiempo probable hasta el primer mantenimiento, en años		Comentarios sobre sistemas iniciales	Sistema probable de repintado	Comentarios sobre el sistema de repintado
			(a)	(b)			
			prevención de la corrosión del acero	mantenimiento apariencia higiene etc			
P9 Fuera de obra: Limpieza por chorro conforme a 2ª calidad BS 4232 perfil medio ISO 8503 Parte 1 Capa 1 imprimación de chorro tipo 11 o 111 Capa 2 imprimación de un envase resistente a los productos químicos In situ: Rectificación de daños de transporte/montaje con dos capas de imprimación de un envase resistente a los productos químicos. Capa 3 Capa intermedia de un envase resistente a los productos químicos Capa 4 Acabado de un envase resistente a los productos químicos Capa 5 Acabado de un envase resistente a los productos químicos Total DFT La sustitución con acabado de un envase resistente a los productos químicos de brillo total da 25 µm para la capa final: Total DFT	15 100 (50) (50) 75 75 75 325 275(6)		15+ 10+	12 10	1. Ignorar este DFT al calcular el espesor total requerido para la protección. 2. La imprimación con cinc (tipo III) no suele utilizarse donde se prevé un ataque químico directo. Consultar al fabricante. 3. Puede ser de pigmentación de óxido de hierro micáceo. 4. Secciones pequeñas vulnerables al “bloqueo” si se reúnen con este espesor: consultar al fabricante. 5. Todo el sistema puede aplicarse in situ. Es probable un aumento del coste y que el control de calidad se dificulte. 6. Resistencia máxima al ataque químico directo sobre la película de pintura, y por razones estéticas. 7. Máxima durabilidad y resistencia química.	Preparación, imprimación de un envase resistente a los productos químicos, presentación con una capa intermedia tipo capa 3, y aplicar globalmente el acabado tipo capa 4 (1 o 2 capas).	Estos productos se secan simplemente por evaporación del disolvente cuando no están modificados con aceite. Por eso la adherencia de los sistemas de mantenimiento suele ser buena.
G1 Fuera de obra: Galvanización - BS 729	140		10+	No Aplicable	Ver notas de G1 en Página3	Sistemas de pintado de uno o dos envases resistentes a los productos químicos tipo capa 3 150-300 µm dft	Ver notas de G1 en Página3
AS2/Z52 Metalización de cinc o aluminio fuera de obra conforme a BS 5269 - sellada	150		15+	No Aplicable	Ver notas de AS1/Z51 en Página3	Como en notas anteriores de G1	Ver notas de AS1/Z51 en Página3

Tabla 3 Métodos de limpieza por chorro

Métodos	Ventajas	Inconvenientes
Métodos secos por aire comprimido o fuerza centrífuga		
Instalaciones automáticas, basadas en el lanzamiento centrífugo del abrasivo.	Cuotas de producción elevadas; gastos mínimos; sin problemas de humedad. Puede combinarse con la aplicación automática de la imprimación; problemas de polvo controlados.	Gastos de inversión y de mantenimiento elevados, falta de flexibilidad, o sea, no adecuado para zonas cerradas etc.
Limpieza por chorro libre, basadas en la propulsión del abrasivo por aire comprimido.	Fácil de manejar; muy flexible y móvil en funcionamiento, en espacios interiores o salas especiales, o in situ. Gastos de inversión y de mantenimiento reducidos.	Elevado coste del aire comprimido, eficacia reducida, susceptible a la entrada de humedad procedente del aire comprimido, manejo manual, puede resultar un perfil variable, el operario requiere una vestimenta protectora, problemas serios de polvo.
Limpieza por chorro en vacío, basada en la propulsión del abrasivo por aire comprimido y en su inmediata recuperación por succión de la superficie limpiada.	Sin problemas de polvo, no es necesario un vestuario protector especial para los operarios, gastos de inversión muy reducidos.	Puede ser muy lento y por ello costoso, especialmente en perfiles complicados y secciones de viga. Puede tomarse en consideración, cuando sea posible, la automatización de chapa plana (“flat-plate automation”)) o de cabezal de cañón (“gun-head automation”), pero sujeta a la entrada de humedad procedente del aire comprimido.
Métodos húmedos (limpieza por chorro húmedo, “hydroblasting”)		
Limpieza por chorro libre, basada en la proyección de agua a muy alta presión.	Fácil de manejar, muy flexible y móvil en funcionamiento, adecuado para eliminar contenidos solubles. A muy alta presión puede eliminar cascarilla de laminación; sin riesgo de polvo seco.	Lento si se han de eliminar contaminantes firmemente adheridos; peligroso a muy alta presión si no se toman las medidas oportunas; limitación de la superficie secante, salvo que se utilicen imprimaciones acuosas o tolerantes de la humedad; exige la disponibilidad de agua y drenaje; los operarios requieren vestimenta protectora.
Limpieza por chorro libre, basada en la proyección de agua a alta presión introduciendo el abrasivo en la corriente de agua.	Fácil de manejar, muy flexible y móvil en funcionamiento, adecuado para eliminar todos los contaminantes, los firmemente adheridos y los solubles.	Peligroso a muy alta presión si no se toman las medidas oportunas; limitación de la superficie secante, salvo que se utilicen imprimaciones acuosas o tolerantes de la humedad; exige la disponibilidad de agua y drenaje; los operarios requieren vestimenta protectora.
Limpieza por chorro libre, basada en la inyección de agua a baja presión en la corriente de aire comprimido que transporta el abrasivo.	Idem.	Coste elevado del aire comprimido,limitación de la superficie secante, salvo que se utilicen imprimaciones acuosas o tolerantes de la humedad; riesgo de polvo reducido; los operarios requieren vestimenta protectora.
Limpieza por chorro de vapor.	Idem.	Similar a lo anterior, en función de si se introduce o no abrasivo.

Tabla 4 Clasificación de los abrasivos utilizados en la limpieza del acero

Abrasivo	Dureza	Uso normal	Ventajas	Inconvenientes
Granalla cortante de fundición de coquilla	60 a 80 RC	Limpieza por chorro controlado (“captive blasting”) o libre con sistemas de recuperación	Relativamente barato, limpia muy rápidamente, realizará el picado tras el impacto repetido contra la superficie de trabajo, presentando bordes de corte limpio	Se inutiliza muy rápidamente. En instalaciones de rueda centrífuga se requiere una protección especial para reducir el desgaste de las piezas móviles
Granalla de fundición de coquilla	60 a 80 RC	Solo limpieza por chorro controlado	Relativamente barato, muy duro, con el uso ha de convertirse en granalla cortante	Los mismos que con la granalla cortante de fundición de coquilla. Debido al efecto de rebote no es adecuado para la limpieza por chorro libre o en espacios abiertos
Granalla o granalla cortante de fundición de coquilla de elevadas características	55 a 64 RC	Limpieza por chorro controlado o libre con recuperación	Se inutiliza con menos rapidez que la fundición de coquilla	Más caro que la fundición de coquilla, se hace esférico con el uso, grado de limpieza peor y más lento que la fundición de coquilla
Granalla o granalla cortante de fundición de coquilla tratada térmicamente	30 a 40 RC	Como la de elevadas características	Como la de elevadas características	Como la de elevadas características
Granalla cortante de acero	60 a 67 RC 47 a 53 RC	Principalmente limpieza por chorro controlado	No se inutiliza tan rápidamente como la fundición de coquilla, causa un desgaste menor en la instalación de rueda centrífuga	Más cara que la fundición de coquilla, se hace esférica con el uso y es menos eficaz; se suministra con varias durezas pero con la mejor de ellas no es tan dura como la granalla cortante de fundición de coquilla, y por ello limpia más lentamente
Granalla de acero	41 a 49 RC	Solo limpieza por chorro controlado	Como la granalla cortante de acero	Como la granalla cortante de acero, produce un perfil de superficie más redondeado; el efecto de rebote lo hace inadecuado para la limpieza por chorro libre
Fragmentos de alambre de acero	41 a 52 RC	Solo limpieza por chorro controlado	Como la granalla de acero; se desgasta en tamaños muy uniformes	Coste elevado, se hace esférico con el uso y limpia más lentamente que la fundición de coquilla
Oxido de aluminio (corindón)		No es habitual en el Reino Unido	Extremadamente duro	Caro, la dureza del polvo es peligrosa para la maquinaria a no ser que se utilice en una instalación controlada sellada
Escoria de cobre		Solo limpieza por chorro libre	Barato, sin riesgos de silicosis	Las partículas iniciales son bastante gruesas, se desintegra en polvo muy rápido, las partículas angulares tienden a quedar incrustadas en el lugar de trabajo
Escoria de hierro		Solo limpieza por chorro libre	Como la escoria de cobre	Como la escoria de cobre
Arena		Limpieza por chorro libre	Barato	En el Reino Unido se requiere la aprobación del inspector de fábrica; riesgo de silicosis

ESDEP TOMO 5
CORROSIÓN

Lección 5.3: Protección Práctica contra la Corrosión de Edificios

OBJETIVOS/CONTENIDO

Ampliar lo expuesto en la lección 5.2, guiando a los jóvenes arquitectos e ingenieros en la utilización de la información relativa a la protección de las estructuras de acero en los edificios.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Lección 5.1: Corrosión General

Lección 5.2: Factores que Gobiernan la Protección del Acero

LECCIONES AFINES

Lección 5.4: Protección contra la Corrosión de Puentes

RESUMEN

En esta lección se exponen los aspectos prácticos del diseño y cómo se han de tratar las conexiones (medios de unión) y soldaduras. Se ocupa de los efectos del entorno sobre la estructura de acero externa de los edificios y sugiere tratamientos de protección. Se exponen los entornos interiores ordinarios. Los elementos de acero ocultos y las estructuras de acero de los muros perimétricos se discuten aparte.

La lección concluye con “casos especiales”, es decir, el acero en el hormigón, las secciones huecas y los revestimientos.

1. PROYECTO PRACTICO

En la sección 2 de la lección 5.2 se exponen nociones generales, así como las ventajas de elaborar un proyecto que permita la utilización eficaz de los revestimientos de protección y la toma de una decisión consciente acerca de dónde se han de aplicar. En el apéndice 1 se describen las exigencias de la norma Eurocódigo 3[1].

La prevención de la corrosión empieza realmente en el tablero de dibujo. Los detalles del proyecto que evitan las retenciones de agua, aseguran un drenaje adecuado y favorecen la circulación del aire, imponen límites a la corrosión. Evitar el contacto entre metales no similares, eliminar las esquinas y bordes agudos, todo ello es importante. De una extremada importancia, pero con frecuencia pasado por alto o ignorado en el proyecto, es el acceso para la inspección, la limpieza y el mantenimiento. No puede hacerse el mantenimiento de la superficie si ésta no es accesible.

El proyecto debe tener en cuenta la vida exigida del edificio, el tiempo probable hasta el primer mantenimiento y los intervalos entre los mantenimientos sucesivos. En la sección 3.1 de la lección 5.2 se exponen las preguntas que hay que responder cuando se quiere hacer una estimación de la exigencia de vida de un edificio. La tabla 2 de esa misma lección muestra sistemas de protección característicos relacionados con definiciones simples de entornos. En el apéndice 2 de dicha lección se describen diversos tipos de pintura.

Las conexiones (medios de unión) forman parte integral de cualquier estructura. A menudo parecen quedar olvidadas cuando se está decidiendo la protección de la estructura de acero contra la corrosión. Por ejemplo, en un entorno agresivo, varios cientos de micras de pintura sobre las vigas no protegerán eficazmente la estructura si las conexiones se realizan mediante tornillos negros.

2. TRATAMIENTOS DE LAS CONEXIONES

Los tornillos, tuercas y otras piezas de conexión deben protegerse con un sistema de revestimiento de una calidad al menos igual a la utilizada en las superficies generales.

El riesgo de dañar las conexiones prerrevestidas y las superficies de las conexiones durante el montaje puede ser elevado. Para reducirlo, quizá sea necesario especificar un sistema de revestimiento distinto al empleado en la estructura de acero. De forma alternativa, el revestimiento de las superficies de conexión accesibles puede retrasarse hasta haberse concluido el montaje del acero. La protección de los medios de unión y de las zonas inmediatamente adyacentes resulta más difícil.

Cuando se especifican sistemas de pintado de alto rendimiento debe utilizarse acero inoxidable, acero resistente a la corrosión atmosférica o medios de unión galvanizados por inmersión en caliente en el tambor.

El apéndice 2 describe el tratamiento de las superficies de contacto de uniones empernadas de resistencia por fricción y de conexiones empernadas con tornillos negros distintas a las primeras, ocupándose también de los medios para asegurar un rendimiento satisfactorio de las conexiones y medios de unión. La corrosión de estos últimos constituye siempre un riesgo potencial importante que puede evitarse simplemente especificando los que sean adecuados para la obra en cuestión.

3. TRATAMIENTO DE LAS SOLDADURAS

La técnica de soldadura influye sobre si las zonas soldadas se protegen (a) tras la preparación de la superficie y antes de la soldadura, o (b) se dejan al descubierto hasta que se ha concluido la soldadura:

a) Cuando la limpieza por chorro tiene lugar antes del trabajo de taller, para proteger la estructura de acero puede utilizarse una imprimación de chorro (ver apéndice 2, lección 5.2). Es importante asegurarse de que esta imprimación es compatible con el sistema de pintado elegido, para proporcionar así una protección a largo plazo.

b) Si la limpieza por chorro es tras el trabajo de taller, para proteger la superficie hasta la aplicación del sistema de pintado puede emplearse una imprimación de "retención" ("holding") de uno de los tres tipos indicados en el apéndice 2 de la lección 5.2. Ha de ponerse atención para elegir una imprimación diseñada para un uso posterior al trabajo de taller. De forma alternativa, la primera capa del sistema de pintado elegido puede a veces sustituirse por la imprimación de "retención".

La soldadura de acero revestido con cinc o con aluminio no es satisfactoria cuando el revestimiento no ferroso tiene un espesor superior a 25 μm. Es mejor tapar las zonas que formarán las soldaduras antes de aplicar el revestimiento metálico.

Tras la soldadura es necesario, antes de aplicar el revestimiento de protección, preparar la superficie conforme a la calidad especificada para la preparación global de la estructura de acero. Algunas formas de soldadura dejan tras de sí depósitos alcalinos. Antes de aplicar los revestimientos de protección deben eliminarse esos depósitos mediante limpieza por chorro, seguida de lavado con agua limpia. Esta exigencia no se aplica a la galvanización cuando este proceso elimina de por sí los depósitos.

4. ENTORNOS EXTERNOS Y EXTERIORES DE EDIFICIOS

Es imposible definir el microclima existente en torno a un edificio. La velocidad de corrosión del acero para estructuras depende en gran medida del tiempo que permanece húmedo. Si el proyecto posibilita un derrame máximo de aguas pluviales y condensación, la corrosión local se reduce al mínimo. Si los detalles que retienen aguas pluviales o condensación no pueden volver a ser proyectados, entonces es necesario un drenaje adecuado (ver apéndice 2 y figura 1).

En la tabla 1 de la lección 5.2 se establece una clasificación de entornos externos generales. Aunque puede parecer algo subjetivo y poco científico, a menudo esta información tan imprecisa contiene los únicos datos disponibles como base del planteamiento de necesidades de protección anticorrosión.

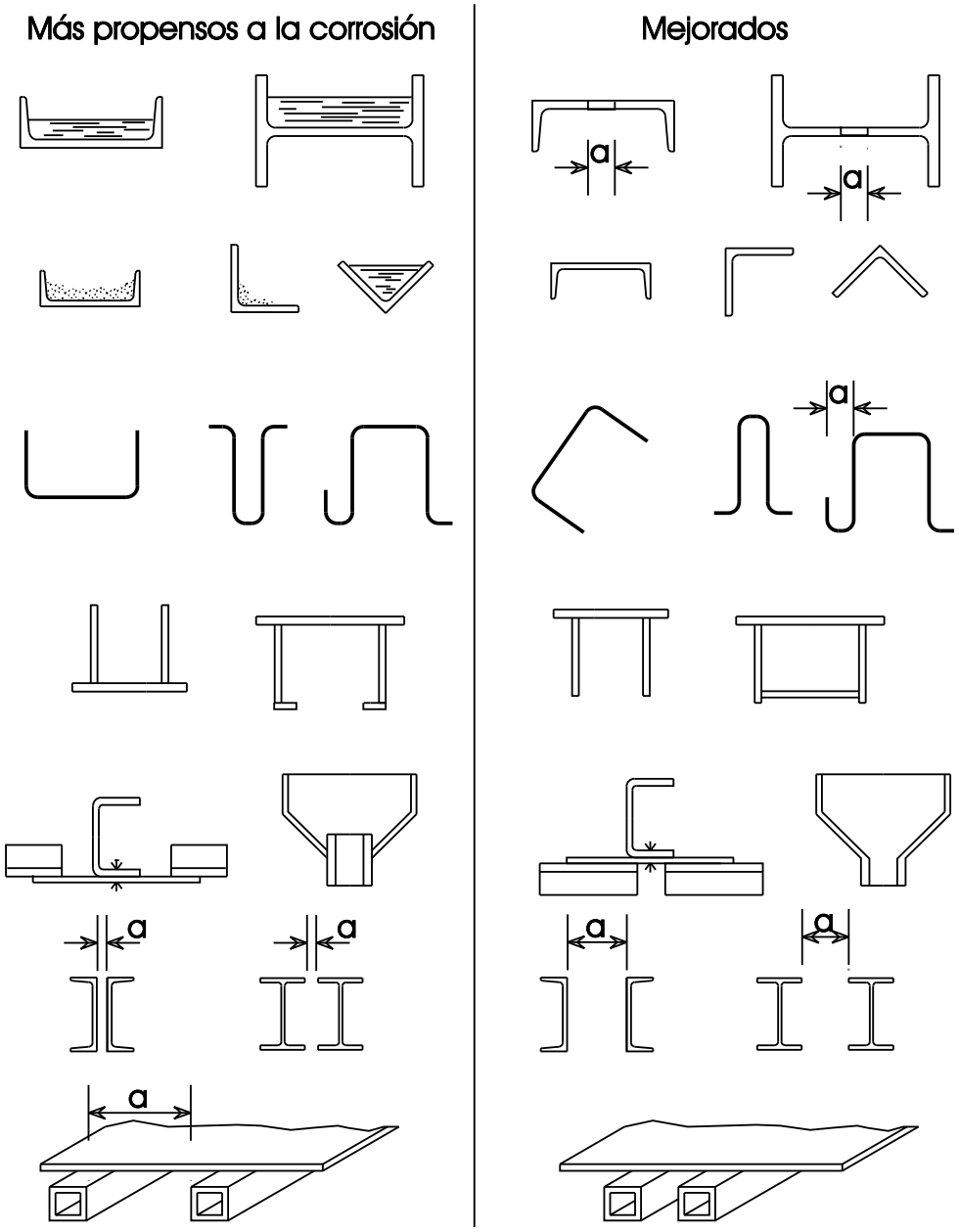


Figura 1 Diseño para evitar la formación de zonas húmedas y con polvo: Drenaje con agujeros y aberturas a > 30mm para drenar humedad y suciedad

5. ENTORNOS EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS

El proyecto juega un importante papel a la hora de establecer el entorno al que se somete el acero. Las superficies sobre las que puede caer o depositarse agua deben evitarse todo lo posible, al igual que los puntos de retención de agua. Un problema particular en las superficies internas, por ejemplo en las fábricas, es la alternancia de ciclos húmedos y secos cuando el agua ligeramente ácida o alcalina deja tras de sí sales que ganan gradualmente en fuerza, formando microclimas notablemente agresivos.

El proceso general de pintado de la tabla 2 de la lección 5.2, refleja los problemas inherentes a cada entorno. Así, todos los procesos del entorno C son escogidos por su resistencia al agua, antes que por la facilidad de aplicación o la tolerancia a una preparación defectuosa de la superficie.

5.1 Estructura de acero oculta

Está ampliamente aceptado que el acero oculto en un interior calentado seco, por ejemplo secciones huecas envueltas o estructura de acero sobre falsos techos, dura unos 50 años sin protección alguna. La corrosión en estas circunstancias es mínima y no influye en la estabilidad de la estructura del edificio. Una condición previa es que la estructura de acero no esté expuesta durante más de dos años antes de ser revestida. Pero existe una consideración aun más importante: ¿seguirá estando seco el interior? Si existe la posibilidad de que el acero se enfríe por debajo de la temperatura del punto de rocío, a veces estará entonces húmedo. El tratamiento de protección deberá estar proyectado convenientemente. El sistema P5 ofrece una protección adecuada. Más práctico es especificar el sistema de galvanización G1 o un proceso de pintado a medida de la situación, no reflejado en la tabla 2 de la lección 5.2, es decir, brea epoxi de curación por isocianato, aplicada en el taller del fabricante o en el laminador de acero, con un espesor de la película seca de 400-500 µm. Con este tipo de sistema de protección es esencial el ensayo de chispas en la muela para detectar zonas delgadas o grietas en la película.

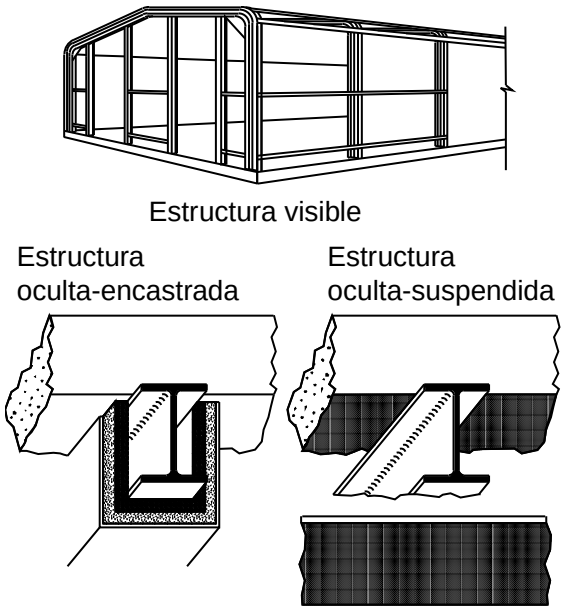


Figura 2

5.2 Estructura de acero en muros perimétricos

Otro tipo de estructura de acero oculta es la de los muros perimétricos. Puede estar separada de la hoja exterior, en contacto con la última, o empotrada en dicha hoja exterior. Los problemas de protección surgen principalmente de la lluvia torrencial que satura rápidamente la superficie externa, sobre todo a través de las uniones de mortero, y humedece la estructura de acero expuesta. El flujo de agua se ve afectado por la capacidad de absorción de la superficie externa; los ladrillos poco porosos aumentan el flujo a través de la unión, mientras que una superficie externa de gran porosidad puede evitar eficazmente la migración de agua a un muro sordo. El proyecto debe asegurar en la base del muro un drenaje adecuado de la estructura de acero.

Se asegura una durabilidad máxima mediante **una separación nítida entre la estructura de acero y la hoja exterior**, por medio de un material aislante no absorbente de al menos 25 mm de espesor, o de un espacio de

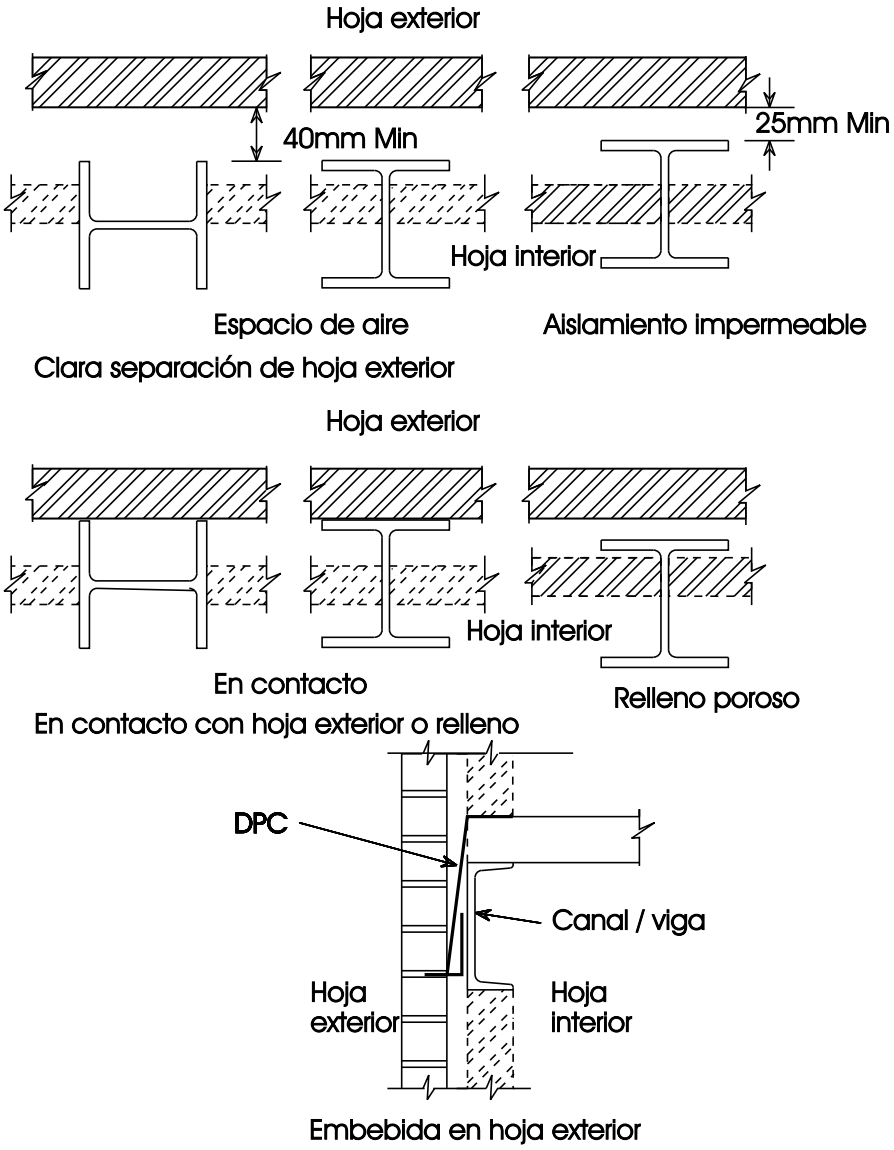


Figura 3 Sistemas de protección contra corrosión en muros perimetrales

aire de 40 mm como mínimo. El proyecto debe evitar los enlaces entre la estructura de acero y la superficie externa para prevenir así la formación de un puente de humedad, es decir, la conducción del calor entre la hoja exterior y la estructura de acero. La tabla 2 de la lección 5.2 no contiene los sistemas de revestimiento de protección para esta situación. Los sistemas más eficaces son brea epoxi de curación por isocianato de 400-500 μm de espesor de película seca, o galvanización por inmersión en caliente, 85 μm, para la estructura de acero y las fijaciones.

Lo mejor es evitar el **contacto de la estructura de acero con la hoja exterior**. Si es probable el contacto, es adecuado cualquiera de los dos sistemas posibles apuntados en el párrafo anterior.

Cuando la estructura de acero está empotrada en la hoja exterior resulta esencial un buen drenaje que favorezca la evaporación de la humedad e impida el encharcamiento. Es aconsejable suponer que la cavidad no está bien ventilada y proteger la estructura de acero mediante galvanización (85 μm) o brea epoxi (400-500 μm), como se apuntó antes.

Debe tenerse en cuenta que los productos de la corrosión se extienden y pueden dañar la fábrica del edificio, por ejemplo desalojando ladrillos de paramento. Es un problema similar al desconchado del hormigón, derivado de la corrosión de la armadura de acero empotrado.

6. CASOS ESPECIALES

6.1 Acero en hormigón

Durante muchos años se mantuvo que el acero en el hormigón no necesitaba protección. Dado el elevado valor de pH del hormigón, esta opinión era cierta siempre que su compactación fuera adecuada, no estuviera contaminado con sales y se mantuviera libre de fisuras. Sin embargo, para que la protección siga siendo eficaz durante toda la vida de la mayoría de las estructuras, el espesor del hormigón debe ser superior a 40 μm.

Un problema particular es el desconchado o la fisuración del hormigón asociados a la corrosión de su armadura. Los cloruros externos procedentes de sales descongelantes, entornos marinos o fuentes internas, por ejemplo de los áridos salinos, pueden alterar localmente el entorno electroquímico haciendo que la armadura de acero del hormigón armado se haga no pasiva.

Si existe una remota posibilidad de corrosión, debe plantearse la protección del acero mediante revestimientos epoxi de ligazón por fusión.

6.2 Secciones huecas

Rara vez es necesaria la protección de la superficie interna de secciones huecas estructurales. Si la sección está sellada, no se oxida. Cuando las secciones no están selladas completamente y no existe un flujo libre de aire, no tiene lugar más que una ligera oxidación superficial. Es razonable disponer orificios de drenaje en los puntos inferiores para evitar que el agua quede retenida, se congele y rompa la sección hueca. Estos orificios de drenaje deben mantenerse desbloqueados.

Las secciones totalmente abiertas, por ejemplo las vigas cajón, quizá requieran una protección interna. La galvanización, los revestimientos epoxi de ligazón por fusión o las pinturas resistentes a los productos químicos son posibles soluciones.

6.3 Revestimiento

El revestimiento prefabricado para techumbres y muros es ligero y su utilización permite un ahorro en los gastos de la estructura global del edificio. Existe disponible una variedad de perfiles cuyo material básico es el acero o el aluminio. Si es acero, está protegido contra la corrosión mediante un revestimiento por inmersión en caliente de cinc o cinc/aluminio.

El metal básico se suministra en bobina o fleje que se desenrolla, se reviste, se cura y vuelve a enrollarse antes de conformarse en diversos perfiles diferentes. Los sistemas de revestimiento son extremadamente sofisticados y se salen del ámbito de esta lección.

Cuando se elabora una especificación es probable que no baste con hacer referencia a la bibliografía de un fabricante. El encargado de las especificaciones tiene que proporcionar una “especificación de rendimiento” que cubra los elementos clave, tales como la carga (incluyendo el viento), el tipo de substrato, el tipo de revestimiento protector (cara interna y externa), la vida prevista, las condiciones del entorno y pruebas de la adecuación del sistema de protección propuesto.

En relación con la resistencia a la corrosión, atmosférica o no, los siguientes aspectos son importantes al hacer la selección.

- **Elección del substrato**

  El revestimiento de acero galvanizado es fuerte, pero puede oxidarse.

  El aluminio requiere taladros en todas las uniones con el acero para estructuras; es menos resistente al daño en la obra, pero también es menos probable su oxidación. Su uso en climas cálidos merece una cuidadosa atención.

- **Elección del revestimiento**

  En aluminio el revestimiento tiene generalmente un espesor de 30 μm o menos, que no ofrece un buen rendimiento externo.

Para el revestimiento de acero galvanizado se dispone de revestimiento protectores “delgados” y “gruesos”. Como ya se ha dicho, los revestimientos protectores “delgados” de 30 μm o menos presentan un pobre comportamiento externo. Los “gruesos” (200 μm) son principalmente plastisoles. Los “delgados”, PVF2, acrílicos o de poliéster.

- **Descripciones del fabricante**

  Hay que tener cuidado con las descripciones de los fabricantes. Muchos revestimientos delgados se presentan como dotados de una excelente retención del color, sin hacerse referencia alguna a la facilidad de sufrir daños en la obra durante el almacenamiento, la instalación o la vida del edificio.

  “Plastisol” es un término genérico aplicado a fórmulas cuyos rendimientos varían muchísimo. Se ha de ser concreto en relación con la contaminación en funcionamiento, y evaluar con igual cuidado los entornos interiores.

- **Exigencia de vida hasta el primer mantenimiento**

  El período hasta el primer mantenimiento se define generalmente como el tiempo tras el cual el sistema de protección deja de proteger la superficie. También puede ser el momento en el que la apariencia del revestimiento deja de ser estéticamente aceptable. Es importante especificar qué definición se está utilizando.

- **Influencia del aspecto**

  Cuando la apariencia es importante, debe tenerse en cuenta que el mismo producto muestra un comportamiento a la corrosión atmosférica diferente en las elevaciones o techos que dan al norte y al sur. Deben estudiarse con atención los datos suministrados por los fabricantes.

  La vida hasta el primer mantenimiento de los revestimientos protegidos modernos puede muy bien alcanzar los veinticinco años. No obstante, es posible que el revestimiento protector requiera en algún momento ser renovado.

El deterioro de los revestimientos protectores presenta cuatro fases:

1. La corrosión atmosférica transforma los yesos de revestimiento, es decir su superficie, en una capa antiestética similar al yeso pero que puede eliminarse, dejando la superficie bajo ella intacta, y reduciendo su espesor. En esta etapa el mantenimiento planificado es de la máxima importancia.

2. El revestimiento protector desarrolla un agrietamiento muy fino que, si se deja, penetra hasta el substrato de metal. Los sistemas de mantenimiento deben poder enfrentarse a esta situación.

3. Al agrietarse y finalmente fisurarse el sistema de revestimiento, el substrato empieza a oxidarse. Pueden usarse con eficacia los procesos de mantenimiento especializado disponibles hoy en día, pero las capas originales deben eliminarse. Así pues, los gastos de mantenimiento se elevan.

4. Cuando el substrato se perfora no queda otra alternativa que volver a aplicar el revestimiento.

El repintado de un revestimiento pintado previamente es una empresa de envergadura. El revestido puede estar acabado con uno de los diversos tipos existentes, planteando todos ellos distintos problemas. Resulta esencial la participación de un contratista especializado para la aplicación del sistema de mantenimiento. A su vez el sistema debe ser suministrado por uno de los pocos fabricantes europeos que producen pinturas específicamente pensadas para el mantenimiento de revestimientos.

7. RESUMEN FINAL

1. Un buen proyecto de los elementos y las uniones de la estructura de acero es la clave para prevenir la corrosión.
2. La calidad de los revestimientos de los medios de unión y las soldaduras es tan importante como la de la estructura principal.
3. Deben tenerse en cuenta los macroclimas y microclimas tanto del exterior como del interior del edificio.
4. Debe prestarse una atención especial al proyectar la estructura de acero que tras la finalización de la obra será inaccesible. Se han de tomar las medidas necesarias relativas a tolerancias de construcción.
5. La estructura de acero envuelta en hormigón con un valor pH bajo, una compactación defectuosa y colocado en capas delgadas, no estará protegida contra la corrosión.
6. El revestimiento no solo es una cubierta contra la corrosión atmosférica, sino que puede también proporcionar aislamiento y resistencia, por lo que requiere un sofisticado revestimiento de protección.
7. Cuando se redacta por primera vez una especificación acerca de la prevención contra la corrosión, debe consultarse a un especialista experimentado.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] Eurocode 3: “Design of Steel Structures”: ENV 1993-1-1: Part 1.1: General rules and rules for buildings. CEN, 1992.

[2] BS 729: Specification for hot dip galvanised coatings on iron and steel articles.

[3] BS 4221: Specification for sheradised coatings in iron and steel articles.

[4] BS 3382: Specification for electroplated coatings on threaded components.

APÉNDICE 1

Exigencias del Eurocódigo 3

El Eurocódigo 3 “Proyecto de Estructuras de Acero. Parte 1 Normas Generales y Normas para Edificios”[1] establece determinadas exigencias generales referidas a la durabilidad, como sigue:

1. Para asegurar una durabilidad adecuada de la estructura deberán tenerse en cuenta los siguientes factores interrelacionados:

   el uso de la estructura

   los criterios de rendimiento exigidos

   las condiciones ambientales previstas

   la composición, propiedades y rendimiento de los materiales

   la forma de los elementos y la concepción de los detalles

   la calidad de ejecución y el nivel de control

   las medidas de protección concretas

   el probable mantenimiento durante la vida planeada.

2. En la fase de proyecto deberán estimarse las condiciones ambientales interiores y exteriores para evaluar su importancia con respecto a la durabilidad y para permitir adoptar las medidas apropiadas para la protección de los materiales.

Con el fin de cumplir estas exigencias el proyectista debe tener en cuenta todos los riesgos posibles y adoptar las medidas necesarias para aplicar un tratamiento de protección adecuado, con la atención debida a los aspectos económicos. Ha de evitarse la fácil opción de sobredimensionar para cubrir riesgos muy poco probables, de manera que el cliente no tenga que cargar con gastos innecesarios.

APÉNDICE 2

2.1 Superficies de contacto en las uniones atornilladas de resistencia por fricción

Son aquéllas que, cuando están en contacto unas con otras, transmiten una carga por fricción a lo largo de la zona de intersección.

Las superficies de contacto requieren una atención especial. Si se dejan desnudas, deben sellarse los puntos de acceso a la humedad. La alternativa es protegerlas, pero antes debe estudiarse en profundidad el efecto de los tratamientos de protección sobre el factor de deslizamiento: debe tenerse en cuenta su comportamiento bajo carga estática, dinámica y constante.

Las superficies de contacto suelen limpiarse por chorro al mismo tiempo que las superficies generales de la estructura de acero. Puede ser ventajoso especificar que se tapen y que se mantengan así como protección provisional hasta el montaje. Debe especificarse con qué se han de tapar para asegurar una mínima contaminación con adhesivos, así como el método de preparación de las superficies tras retirar lo empleado para tapar.

Cuando el sistema de protección especificado es pintura sobre metalización, puede taparse lo que corresponda para evitar que se aplique pintura a las superficies de contacto de las conexiones. Si la protección es galvanización, pueden aplicarse rugosidades inmediatamente antes del montaje. Si se ha de pintar sobre la galvanización, las rugosidades deben aplicarse antes de proceder a tapar.

Para evitar la corrosión cuando la estructura de acero se sitúa en entornos agresivos, puede especificarse el sellado de los bordes de las superficies de contacto. Las cláusulas de la especificación deben asegurar que los bordes de ambas superficies de contacto se pintan en una distancia de 15 mm dentro del perímetro de la conexión.

En entornos similares, cuando se utilizan arandelas indicadoras de carga o tornillos con cabezas indicadoras de carga, que requieren calibradores sensores para medir la tensión de la espiga, resulta ventajoso especificar el sellado de las grietas mediante la aplicación de pintura de gran espesor o masilla compatible con el sistema de revestimiento. Este sellado debe llevarse a cabo tras el apriete final de todos los pernos (ver secciones 1.2. y 1.3).

Las uniones atornilladas de elevada resistencia por fricción suelen suministrarse con un ligero revestimiento de aceite, que se elimina por acción de la corrosión atmosférica y/o por limpieza con disolventes. Las zonas expuestas pueden tratarse con el mismo sistema de protección que la estructura de acero, o con uno modificado para ajustarse a las condiciones de obra.

2.2 Medios de unión

Cuando la estructura de acero se ha de limpiar manualmente tras la exposición a la corrosión atmosférica, los medios de unión pueden prepararse y tratarse del mismo modo que las superficies generales. La imprimación especificada debe ser adecuada para una aplicación en obra sobre estructura de acero preparada manualmente.

Si la preparación global de la superficie es mediante limpieza por chorro tras el atornillado, las superficies expuestas de tornillos, tuercas y arandelas debe limpiarse por chorro al mismo tiempo que las superficies generales. Esta limpieza debe utilizarse igualmente si se emplean en circunstancias similares pernos de gran apriete por fricción altamente resistentes.

En caso de que la limpieza por chorro de las superficies tenga lugar antes del atornillado, y de que sea impracticable utilizar el mismo método de preparación para las superficies de los conectores, puede especificarse el decapado de los pernos para eliminar la cascarilla y favorecer la preparación manual para el revestimiento de las superficies expuestas. El decapado puede no ser adecuado para los pernos de gran apriete por fricción altamente resistentes. A pie de obra, los medios de unión deben ser tratados con una imprimación inhibidora de la corrosión, adecuada para una aplicación en condiciones de obra sobre estructura de acero preparada manualmente.

2.3 Medios de unión con revestimiento metálico

Los medios de unión pueden estar galvanizados por inmersión en caliente, cincados por sublimación, electrocincados o electrocadmiados, o revestidos mecánicamente. La vida del revestimiento de cada metal es directamente proporcional a su espesor. La rosca ha de tener un huelgo extra para admitir los revestimientos más espesos posible, y por ello es aconsejable realizar un pronto pedido. Los revestimientos más delgados no deben utilizarse sin una protección adicional. Para evitar la sustitución deben especificarse normas europeas, ISO o nacionales.

Los pernos con revestimiento metálicos no deben ser cromados si ha de pintarse sobre ellos.

a. **Galvanización por inmersión en caliente**

Los medios de unión están galvanizados en el tambor conforme a BS 729[2]; este proceso ofrece un espesor de revestimiento local mínimo de 43 μm. El cinc se alea con el acero de base. Los pernos de gran apriete por fricción altamente resistentes, de tipo general, pueden galvanizarse, pero las roscas han de lubricarse para prevenir la excoriación.

b. **Cincado por sublimación**

Los revestimientos de cincado por sublimación se especifican en BS 4921[3]. El revestimiento se alea con el metal de base. Un revestimiento de clase I tiene un espesor local mínimo de 30 μm, y uno de clase II, 15 μm.

c. **Electrodepósito**

En las partes 1 y 2 de BS 3382[4] se especifica un revestimiento delgado de cinc y cadmio, con un espesor de 7.5 μm para pernos de diámetro superior a 12 mm. De los revestimientos con un espesor local mínimo de 25 μm se ocupa la parte 7 de BS 3382.

Los elementos electrocadmiados deben estar identificados. En ningún caso deben oxicortarse o soldarse debido a los humos tóxicos, que pueden ser letales.

2.4 Conexiones atornilladas distintas a los pernos de gran apriete por fricción

Cuando las superficies de elementos fabricados se preparan y revisten antes del montaje, las superficies de las uniones suelen revestirse al mismo tiempo.

Si la estructura de acero se monta antes de la preparación y el pintado, las superficies de unión deben recibir una capa de la pintura de imprimación especificada, y dos si el entorno no es benigno. Este tratamiento debe ser también el especificado para la estructura de acero que se suministra en obra tratada únicamente con una imprimación de chorro.

2.5 Aseguramiento del rendimiento satisfactorio de los medios de unión

Las tuercas de fijación y tornillos pueden ser:

Galvanizados por inmersión en caliente

Cincados por sublimación

Electrodepositados

Revestidos mecánicamente

Debe especificarse un espesor de cinc adecuado y hacerse referencia al documento normativo pertinente, si éste existe.

Si (a) el espesor del cinc es demasiado delgado para proporcionar protección a lo largo de la vida prevista, o (b) el cinc va a requerir un mantenimiento mediante pintado, debe especificarse un revestimiento de protección adicional para las superficies expuestas tras el montaje.

Cuando el revestimiento de cinc es la primera parte del sistema inicial de revestimiento de protección, todo el proceso debe aplicarse a los medios de unión como parte del pintado global.

Si el cinc constituye la única protección, el espesor en el medio de unión puede componerse de:

i. Una pintura con contenido de metal de cinc.

ii. Un sistema de pintado de protección, estando formulada la primera capa para una aplicación directa sobre el cinc.

Debe consultarse a los fabricantes de las pinturas sobre un sistema que ofrezca una protección equivalente a la proporcionada a la estructura principal.

Al margen del entorno, cuando se especifica el electrodepósito se exige un aseguramiento estricto de la calidad y una inspección oficial que garanticen una adherencia adecuada y un espesor de revestimiento correcto. Si no, este tipo de revestimiento puede considerarse “sacrificatorio” del mismo modo que una imprimación de chorro o de retención.

En ISO 3269 se encuentran los métodos de inspección para la aprobación de medios de unión.

ESDEP TOMO 5
CORROSIÓN

Lección 5.4: Protección contra la Corrosión de Puentes

OBJETIVOS/CONTENIDO

El objetivo de esta lección es ofrecer al ingeniero de proyecto información detallada acerca de la protección contra la corrosión de elementos de acero de puentes.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Lección 5.2: Factores que Gobiernan la Protección del Acero

RESUMEN

Los puentes se construyen normalmente para una vida de servicio prolongada. Están sometidos a un entorno hostil. Por razones económicas, es necesaria una protección de elevada calidad contra la corrosión. En la estructura principal la elección habitual es la pintura o el acero resistente a la corrosión atmosférica, utilizándose también la galvanización por inmersión en caliente o el acero inoxidable para los detalles menores. Se expone la posibilidad de acero no pintado en secciones cerradas.

1. INTRODUCCIÓN

Los puentes se construyen generalmente para una vida de servicio prolongada, por ejemplo 100 años, y están sometidos al ataque derivado de su uso y del entorno: cargas, viento, daños accidentales, lluvia, sales descongelantes, sol, etc.

Para asegurar una vida suficiente es necesario un grado apropiado de protección contra la corrosión.

Existen numerosos medios de prevención de la corrosión en estructuras de acero, pero para los puentes el método habitual lo constituyen los sistemas de revestimiento, de pintura o metálicos, o en algunas aplicaciones los aceros aleados: aceros resistentes a la corrosión atmosférica y aceros inoxidables.

Varios parámetros influyen en la elección de un método de protección: la vida exigida, el entorno, consideraciones de proyecto y económicas.

La vida exigida del sistema de protección no es la misma que la de la estructura de acero que protege. El sistema de protección que suele necesitarse tiene una vida del orden de 7 a 30 años entre dos períodos de mantenimiento, dependiendo de la dureza del entorno y de la edad de la estructura (7 a 15 para puentes viejos, 10 a 30 para los nuevos).

2. CONDICIONES DE EXPOSICIÓN

2.1 Entornos

El entorno influye en el tipo e intensidad de la corrosión.

Debe tenerse en cuenta la influencia de macroclimas y microclimas:

a. El macroclima es el entorno general en el que está situada la estructura. Los macroclimas pueden dividirse de modo general en:

- tierra adentro rural
- tierra adentro normal
- tierra adentro contaminado
- costero normal
- costero contaminado

pero en la práctica, el entorno real es a menudo una combinación de todos ellos. El entorno urbano, por ejemplo, puede constituir un macroclima tierra adentro parcialmente contaminado.

b. El microclima es el entorno directo de los elementos del puente, y se ve afectado por la configuración de la estructura:

- la parte inferior del puente, donde la condensación puede estar presente durante mucho tiempo
- la presencia de grietas, donde quedan retenidos polvo y humedad
- zonas que la lluvia no lava
- la proximidad de una fábrica química a sotavento de los vientos predominantes
- la dispersión de sales descongelantes
- la contaminación causada por el escape de vehículos a motor

2.2 Factores que influyen en la corrosión

La corrosión atmosférica solo tiene lugar si el aire está lo suficientemente húmedo y contaminado.

Por debajo de un nivel crítico de humedad relativa del 60%, la velocidad de corrosión es muy lenta e insignificante.

Con una humedad relativa por encima del 75% las velocidades de corrosión empiezan a ser graves (ver figura 1). En un puente este nivel de humedad se sobrepasa durante largos períodos.

La presencia de contaminantes químicos en la atmósfera puede aumentar su corrosión:

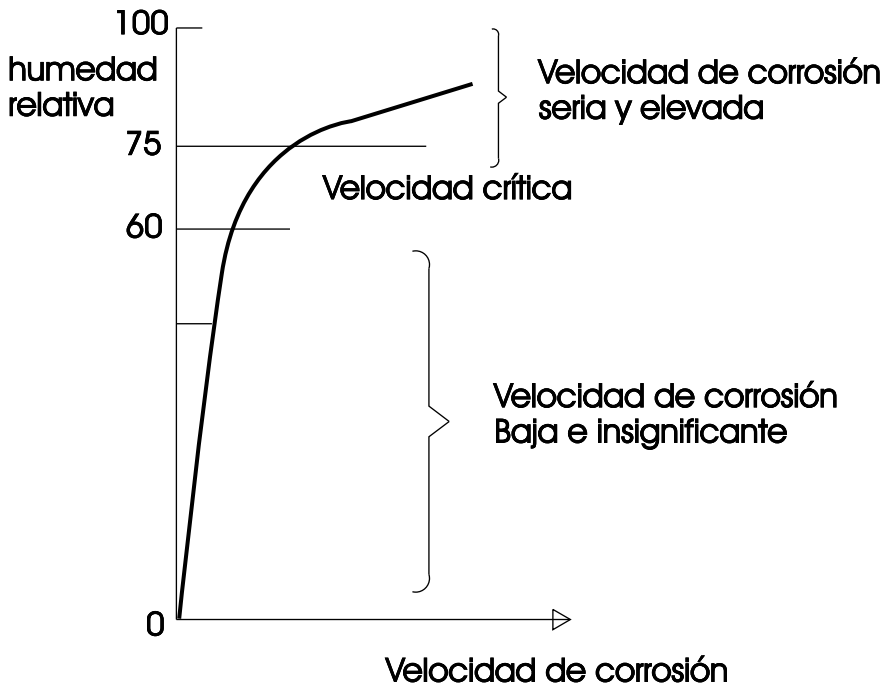


Figura 1

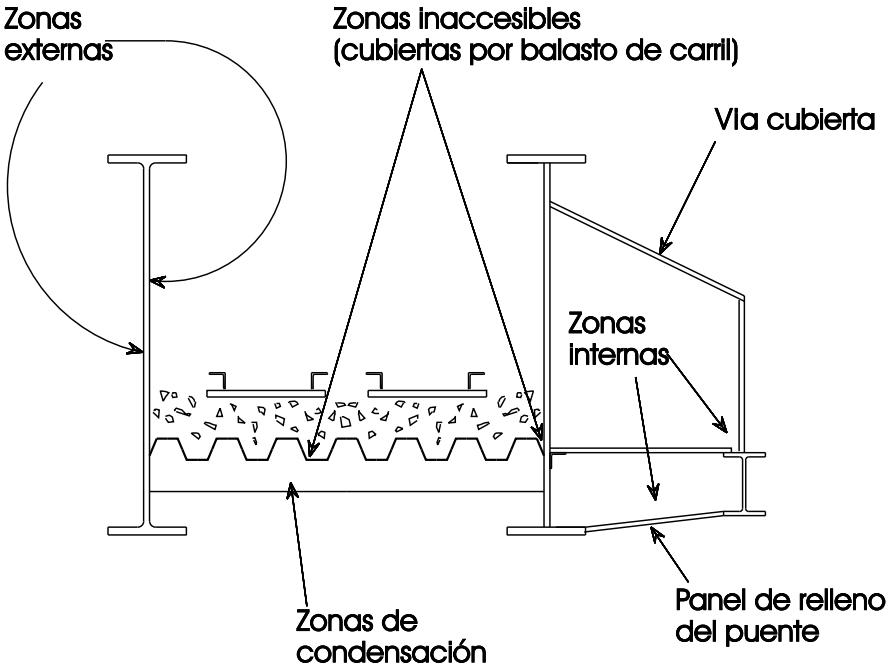


Figura 2 Viejo puente carril con nuevo acceso para peatones

- los cloruros (cerca de las costas) sobre todo favorecen y activan la corrosión

- el bióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y otros contaminantes químicos están presentes en atmósferas industriales y urbanas.

2.3 Diversas zonas

Las distintas partes de un puente no están sometidas a las mismas condiciones de exposición, ver por ejemplo figura 2. La corrosión es más o menos intensa dependiendo de las condiciones de la situación, que puede ser:

- externa
- en zonas de condensación
- interna

Las situaciones **externas** están directamente expuestas, secas y húmedas de forma alternativa y sometidas al influjo de los cambios de temperatura y de las radiaciones UV.

Las zonas de **condensación** presentan una humedad permanente, una alta concentración de contaminantes y la posibilidad de una corrosión localizada.

Zonas no lavadas por la lluvia y humedad permanente.

Las situaciones **internas** no presentan corrosión si no se renueva el aire, o desarrollan una corrosión localizada si se produce una condensación a causa del aire húmedo (dentro de vigas de alma llena).

3. SISTEMAS DE PROTECCIÓN

En la lección 5.2 se ofrece información general acerca de la preparación de la superficie y los revestimientos.

3.1 Sistemas de revestimiento para puentes

Dependiendo del entorno, del tipo de elemento, de la vida esperada y de los equipos de mantenimiento se realiza la elección de uno de los siguientes sistemas de protección.

3.2 Revestimientos metálicos (ver lección 5.2)

Durante muchos se ha utilizado el cinc como revestimiento protector del acero. Es con mucho el metal más empleado en la protección contra la corrosión del acero para estructuras. El cinc presenta un buen comportamiento en entornos tierra adentro y costeros normales, pero se oxida con rapidez en atmósferas ácidas, como puede suceder en entornos industriales o urbanos contaminados. En este caso, el aluminio o la aleación de aluminio y cinc representa una mejor protección.

Algunos breves detalles de este revestimiento son:

- Galvanización por inmersión en caliente:

Se describe en la lección 5.2. Para una eficacia anticorrosiva de 10 a 12 años se necesita normalmente un espesor de entre 60 y 100 micras.

- Metalización de cinc, o de aleaciones de aluminio y cinc.

  Espesor habitual:

  - cinc o Zn/A1 85/15 120 micras
  - aluminio 150 micras

  La eficacia contra la corrosión puede durar 15 años si se combina con revestimientos de pintura.

- Sistemas combinados (a veces llamados sistemas dobles)

  En algunos casos, cuando sea necesaria una protección adicional del revestimiento de cinc, deberá aplicarse un revestimiento de pintura. Estos revestimientos de pintura sobre superficies de cinc tienen que cumplir unos requisitos especiales, por lo que deberá consultarse a los fabricantes de las pinturas.

3.3 Acero inoxidable

Los aceros inoxidables son bien conocidos por su resistencia a la corrosión en atmósferas corrosivas. Esa resistencia es debida a la presencia de elementos de aleación, como cromo o níquel, que proporcionan a la superficie una capa protectora pasiva.

Un ejemplo lo constituye el tipo austenítico con 17-18% Cr y 7-9% Ni. Esta aleación es resistente a la corrosión solo mientras permanece la capa pasiva. En contacto con agua ligeramente ácida esta capa pasiva se disuelve y el acero comienza a oxidarse. Se obtienen una aleación más resistente añadiendo molibdeno, por ejemplo el tipo austenítico con 17% Cr, 11%Ni y 2-3% Mo. Esta aleación es adecuada para entornos costeros e industriales (resistencia especialmente buena con Cl).

Al utilizar acero inoxidable deben tomarse precauciones para evitar la corrosión galvánica en contacto con acero al carbono, cinc o aluminio.

En la construcción de puentes el acero inoxidable puede emplearse para elementos secundarios, conexiones y equipos auxiliares.

3.4 Acero resistente a la corrosión atmosférica

El acero resistente a la corrosión atmosférica (ver lección 5.2) se ha utilizado en puentes durante más de 30 años, con resultados muy

variados. La experiencia demuestra que se puede utilizar con éxito en determinadas condiciones. Un estudio llevado a cabo en los EEUU ha puesto claramente de manifiesto la razón principal de su fracaso: el empleo de agentes descongelantes. Los estados del norte que los utilizan han comprobado una corrosión intensa de las vigas de alma llena de acero resistente a la corrosión atmosférica usadas en los puentes. Es un dato que se ha de tener en cuenta, junto con el hecho de que los puentes norteamericanos raramente poseen un tablero con impermeabilización y de que las uniones pueden no ser estancas. Aunque el tablero del puente puede hacerse estanco en un principio, existe siempre el riesgo de fugas en el futuro. Así pues, debe evitarse la combinación de acero resistente a la corrosión atmosférica y agentes descongelantes.

Para el desarrollo de la pátina protectora es esencial que el acero resistente a la corrosión atmosférica se humedezca de vez en cuando y vuelva a secarse. Por eso deben evitarse en el proyecto las superficies nominalmente horizontales, pues pueden atrapar agua a causa de posibles imperfecciones. Por ejemplo, una cabeza inferior horizontal debería conformarse preferiblemente como una V invertida.

Incluso si no se utilizan agentes descongelantes, la fuga de agua, en grandes cantidades, a través del tablero del puente o de las uniones resulta perjudicial. Debe cuidarse de que el tablero sea lo más estanco posible.

El acero resistente a la corrosión atmosférica tiene un precio solo ligeramente más elevado que el del acero normal, y está disponible con una resistencia equivalente a Fe 520. Su aplicación con éxito proporciona así un ahorro sustancial en el coste de la estructura de acero.

3.5 Secciones cerradas

Un tubo de acero completamente sellado no se oxidará por dentro. Esta característica es útil para secciones pequeñas que pueden cerrarse de un modo eficaz. Sin embargo, un puente de vigas cajón con un tablero de hormigón no puede considerarse totalmente cerrado. El hormigón se fisura y el agua puede penetrar, al igual que el oxígeno. Por eso las vigas cajón están normalmente pintadas por dentro, aunque con un sistema de pintado menos amplio.

Otra posibilidad es cerrar lo más posible el cajón e instalar deshumectadores que mantengan el aire a una humedad relativa inferior al 60%. Ni el equipo ni los gastos de explotación resultan caros.

4. PROTECCIÓN DE DIVERSOS ELEMENTOS

4.1 Estructuras bajo carga

- pintura;
- galvanización;
- metalización;
- sistemas combinados;
- acero resistente a la corrosión atmosférica;

4.2 Cables y aparatos

- galvanización;
- pintura;
- acero inoxidable.

4.3 Elementos secundarios

- galvanización;
- pintura;
- acero inoxidable.

5. PROYECTO

El riesgo de corrosión se puede reducir sustancialmente prestando una atención especial al proyecto.

Un proyecto que tiene en cuenta todas las formas posibles de prevención de la corrosión es mucho mejor que uno en el que la lucha contra la corrosión se basa únicamente en la protección de la estructura de acero.

Lo ideal es plantarse las acciones contra la corrosión en la fase de planificación, y en el tablero de dibujo como muy tarde.

6. MANTENIMIENTO

El tema del mantenimiento se trata en parte en la lección 5.2.

7. RESUMEN FINAL

1. La vida exigida a los puentes es más prolongada que la de los edificios, y su exposición más intensa. Así, la elección del tratamiento de prevención de la corrosión es para ellos más crítica.
2. El trabajo de mantenimiento efectuado en los puentes perturba el flujo de tráfico existente por encima y por debajo de ellos, por lo que debe reducirse al mínimo el tiempo para llevarlo a cabo.
3. Un medio de acceso seguro para realizar las inspecciones y el mantenimiento es importante para asegurar una protección correcta de los puentes contra la corrosión.
4. La utilización de aceros y cerramientos resistentes a la corrosión atmosférica debe plantearse en la fase de proyecto y de elaboración de detalles.
5. Dado que a las estructuras de puentes se les exige una vida prolongada, debe emprenderse el mantenimiento de los revestimientos orgánicos y metálicos de estilo “antiguo”.
6. Para elementos especiales tales como cables de suspensión, parapetos, etc., deberá buscarse un asesoramiento especializado.

8. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Durability of steel structures: Protection of Steel Structures and Buildings from Atmospheric Corrosion; ECCS Report/620.197, 1983.

2. Protection of steel structures against corrosion by coatings, ECCS Publication 50, 1987.

ESDEP TOMO 5
CORROSIÓN

Lección 5.5: Corrosión en Plataformas Petrolíferas y Tablestacas

OBJETIVOS/CONTENIDO

Introducir a los alumnos en el estudio de la protección de estructuras, tuberías, etc. en plataformas petrolíferas y en tierra.

CONOCIMIENTOS PREVIOS

Lección 5.1: Corrosión General

Lección 5.2: Factores que Gobiernan la Protección del Acero

Lección 5.3: Corrosión de Edificios

Lección 5.4: Protección contra la Corrosión de Puentes

RESUMEN

Esta lección se ocupa de los sistemas disponibles para proteger estructuras fijas y móviles de plataformas petrolíferas. Se estudia el tablestacado, la corrosión en suelos, los métodos eléctricos de control de la corrosión y, muy brevemente, la actividad bacteriana y su influencia en las velocidades de corrosión.

1. PLATAFORMAS PETROLÍFERAS

El Mar del Norte es muchos más hostil que los golfos de Tejas o de Arabia. La tecnología utilizada en los climas más cálidos ha tenido que adaptarse y modificarse para afrontar unas condiciones climáticas más frías tanto en los emplazamientos de construcción costeros como en las plataformas petrolíferas del Mar del Norte.

La dificultad de reparar los revestimientos o, peor aún, de reponer el acero, obliga a que el sistema de revestimiento evite la pérdida de este material por corrosión.

Las **construcciones de plataforma petrolífera fijas** se dividen en tres zonas, a saber, submarina y de mareas, zona de salpicaduras y cubiertas.

Zonas submarinas y de mareas

Los ingenieros de la corrosión experimentados no siempre están de acuerdo al respecto de la elección del sistema de protección del acero en estas zonas.

Algunos argumentan que la zona por debajo de la bajamar más baja (LLW, “lowest low waterline”) está sometida a daños mecánicos durante la construcción y la conexión, y que no cabe esperar que ningún sistema de protección dure más de 25 años en el mar. Por eso es necesaria la protección catódica (ánodos sacrificatorios o corriente aplicada) para apoyar a los sistemas de revestimiento. Según esta argumentación la necesidad de los revestimientos es cuestionable, pues la capacidad de la protección catódica se aumenta fácilmente y puede proporcionar una protección total a la superficie de acero sin revestir.

La opinión opuesta es que los revestimientos, aun estando dañados, reducen el amperaje de la corriente aplicada y el consumo de ánodos. En efecto, los revestimientos mejoran la protección contra la corrosión en ángulos agudos y zonas soldadas. Por tanto, parece al menos razonable comparar el coste del revestimiento del acero con una protección únicamente catódica.

No existe discusión acerca de las ventajas de utilizar revestimientos superficiales en la zona de mareas y hasta 10 metros por debajo de la marea media más baja (LAT, “lowest average tide”). Puede disponerse un espesor de acero mayor para hacer frente a la corrosión en esta zona tan agresiva, pero siempre se utiliza la protección catódica en combinación con revestimientos.

Zona de salpicaduras y embarcaderos

Estas zonas se pueden recibir una buena protección mediante los sistemas de revestimiento que se muestran eficaces en la zona de mareas. Las partes inferiores de las cubiertas de apoyo y zonas de nivel inferior entran en general en esta categoría.

Cualquier sistema escogido para funcionar en este entorno debe tener una muy buena resistencia al agua, a la fluencia por herrumbre y al derrame de aceite o de productos químicos. Los revestimientos tienen que ser adecuados para una reparación por parches.

Cubiertas

Las cubiertas de las plataformas petrolíferas pueden necesitar la protección de sistemas de revestimiento de alto rendimiento, ya que se ven sometidas a un tráfico, impacto y derrame de aceite y productos químicos intensos. En los embarcaderos las cubiertas son a menudo una prolongación de la carretera de acceso, y por tanto no vulnerables. Cuando son de acero, se aplican las mismas consideraciones expuestas para la protección de los equipos de sondeo de plataformas petrolíferas.

Equipo móvil de las plataformas petrolíferas

Se incluyen aquí una amplia gama de elementos, por ejemplo equipos de sondeo autoelevadores (para absorber agua), equipos de sondeo de autopropulsión y semi-sumergibles, embarcaciones de suministro. Las condiciones

de servicio varían en función de las condiciones de manejo y del tipo de equipo. Todos ellos sufren impactos y abrasiones intensos que conducen a una destrucción de los revestimientos de protección. El mantenimiento resulta difícil y se lleva a cabo al mismo tiempo que las reparaciones mecánicas y revisiones, o durante los períodos de parada. Los sistemas de revestimiento utilizados en los equipos móviles de plataforma petrolífera son similares a los que se usan en las estructuras fijas.

Selección de la pintura

La selección de la pintura está influida en gran medida por las probables condiciones climáticas durante la construcción y, por supuesto, el mantenimiento. En el caso de obra nueva, la preparación de la superficie (siempre limpieza por chorro de abrasivo) y la aplicación de las primeras capas debe realizarse en talleres donde la puedan controlarse la temperatura y la humedad. Es imposible completar bajo techo el montaje final de la mayoría de las estructuras de plataforma petrolífera, mientras que la enorme complejidad del trabajo de taller exige una gran cantidad de reparaciones puntuales que solo pueden llevarse a cabo a cielo abierto. Aunque la limpieza local por chorro de abrasivo es el método normal de preparación cuando se trata de daños en el trabajo de taller, en ocasiones solo es posible la limpieza con herramientas mecánicas. Los productos utilizados para las reparaciones de parches deben ser capaces de un rendimiento adecuado (aunque inevitablemente en un nivel reducido) sobre una ese tipo de preparación, y poder ser aplicados en condiciones de exposición, posiblemente con una climatología adversa. También los acabados empleados en las estructuras completas deben tener un buen rendimiento en condiciones similares.

Sistemas característicos para las zonas submarinas, de mareas y de salpicaduras;

Obra nueva

En todos los casos la preparación de la superficie es mediante limpieza por chorro de abrasivo conforme a Sa 2 1/2, ISO 8501-1 [1].

Las imprimaciones posibles consisten en una capa de:

silicato de cinc de dos envases @ 75 μm

o epoxi cinc de dos envases @ 75 μm

o epoxi imprimación de retención de dos envases @ 50 μm.

La capa de acabado ordinaria sería:

alquitrán de hulla epoxi de dos envases, de curación por amina “aduct”, volumen de sólidos < 60%, aplicada mediante rociador, 200 μm por capa.

Mantenimiento en servicio

El pintado de mantenimiento de las estructuras fijas, embarcaderos, etc. de plataforma petrolífera no será posible probablemente más que durante 4-5 meses en primavera y verano (“ventana atmosférica” = “weather window”). De manera inevitable el trabajo se paraliza debido al mal tiempo, quedando la última capa expuesta a una inmersión completa o casi, a la sal, etc. Así pues, lo ideal es que cada capa sea tan resistente al entorno como el acabado final.

Es factible reparar zonas submarinas mediante revestimientos epoxi sin disolvente que desplazan el agua. Dado que serían buzos los que aplicarían estos revestimientos, los problemas son obvios. Por eso, en su lugar se suele emplear la protección catódica para prevenir la corrosión allí donde el revestimiento se ha deteriorado.

Debe repararse el daño producido en las zonas de mareas o de salpicaduras, puesto que la protección catódica no es eficaz más allá de 0,2 m por encima del nivel de agua más bajo.

Sistemas característicos para un uso por encima de la zona de salpicaduras

Obra nueva

La elección de imprimación se hace de entre las adecuadas para las zonas submarina,

de mareas y de salpicaduras descritas anteriormente. La preparación de la superficie es la limpieza por chorro de abrasivo conforme Sa 2 1/2, ISO 8501-1.

El sistema de acabado consistirá probablemente en capas intermedias epoxi de curación por poliamida, de alto espesor y dos envases, aplicadas con espesores de película seca (dft, "dry film thickness") de 100-150 µm por capa. Suelen aplicarse dos capas. La primera puede estar pigmentada con óxido de hierro micáceo para aumentar el espesor en los bordes. La capa de acabado de unos 50 µm dft es, o bien una pintura de dos envases descrita como "uretano" o "poliuretano", y probablemente con base de resina acrílica de curación por isocianato, o un uretano de un envase de curación por humedad, es decir, un material que reacciona con la humedad atmosférica y que da lugar a un producto final de características similares a las variedades de dos envases. La capa final suele modificarse para asegurar que pueda ser recubierta mediante pintado de taller o de mantenimiento, sin necesidad de realizar primero una limpieza por chorro para conseguir la adherencia. En los textos técnicos del fabricante la descripción del producto lleva normalmente el nombre de "repintable". Cuando la apariencia no reviste gran importancia, es posible utilizar una imprimación de silicato de cinc (75 µm dft) seguida de dos capas epoxi de dos envases de alto espesor, de curación por poliamida, aplicadas con 150 µm dft por capa.

Mantenimiento

El mantenimiento suele requerir una limpieza por chorro conforme a Sa 2 1/2, seguida de la aplicación del sistema original. El tratamiento puede ser global o puntual, dependiendo de si el deterioro del revestimiento es grave o aislado.

Cuando la preparación de la superficie utiliza una limpieza por chorro de agua con abrasivos se requieren imprimaciones especiales, por ejemplo epoxi de un envase rico en cinc, con modificaciones de desplazamiento de humedad.

Si no es posible la limpieza por chorro, una alternativa es la limpieza con herramienta mecánica conforme a las normas suecas St2, seguida de una imprimación con "masilla" epoxi aluminio de dos envases pigmentada, antes de acabar como se apuntó anteriormente. Su uso debiera limitarse a reparaciones menores.

Sistemas característicos para las cubiertas:

Obra nueva

Las cubiertas exigen sistemas de muy alto rendimiento que deben ser "antideslizantes" y resistentes a las condiciones rigurosas que se han señalado con anterioridad. Existen disponibles sistemas epoxi de dos envases sin disolventes, para una aplicación directa en una capa de 3000 µm sobre superficies limpiadas por chorro (Sa 2 1/2). Estos revestimientos pueden contener sílex para evitar que se vuelvan resbaladizos con el uso. También se dispone de alternativas que no desprenden chispas, para uso en zonas sin llama.

También se utilizan revestimientos epoxi de alto rendimiento normal, de dos envases, del tipo empleado en la zona de salpicaduras, en aplicaciones de dos capas (dft total 200+µm) sobre imprimaciones epoxi de dos envases de silicato de cinc, ricas en cinc o sin cinc.

Mantenimiento

El mantenimiento suele consistir en limpieza por chorro conforme a Sa 2 1/2, seguida de una nueva aplicación de los sistemas originales, globalmente o en zonas localizadas de deterioro. Si por alguna razón no es posible la limpieza por chorro, la limpieza con herramienta mecánica conforme a la norma sueca St3 puede ser aceptable para el sistema de revestimiento más normal, es decir, pintura epoxi de dos envases con 200 µm. El revestimiento de alto rendimiento exige una limpieza por chorro de abrasivo de gran calidad. La preparación de la superficie para el mantenimiento debe ser la misma que la original.

2. TABLESTACADO

Las secciones utilizadas para el tablestacado de acero proporcionan la máxima resistencia y durabilidad (de manera coherente con unas buenas propiedades de hincamiento) con el menor peso que un buen proyecto puede conseguir. El tablestacado se utiliza igualmente en obras provisionales y permanentes. Las aplicaciones características son defensas contra el mar, terrenos ganados al mar, muelles y ataguías. El tablestacado puede conectarse cuando se requieren longitudes superiores a 30 m, y aunque suele asociarse con construcciones en “línea recta”, por ejemplo muros de muelle, pueden utilizarse las secciones para obtener muchas formas, incluidos círculos completos.

La vida efectiva de la estacada desprotegida, ya sea de acero dulce o de acero de fluencia elevada (por ejemplo los tipos 43A y 50A respectivamente de BS 4360: 1986) depende de las tensiones de servicio y de la velocidad de corrosión. La vida potencial de las secciones puede variar de 120 años, cuando están expuestas a una atmósfera con una velocidad media de corrosión de 0,05 mm/año, a unos 80 años en una zona de salpicaduras con una media de 0,09 mm/año, suponiendo que solo está expuesta una de las caras de la estacada. Cuando las dos caras de una estructura de tablestacas están expuestas a la atmósfera, la vida efectiva puede reducirse en cerca de un 30%.

Muchos entornos en los que se usa el tablestacado presentan velocidades de corrosión bajas. Se estima que las estacas hincadas en suelos no perturbados se oxidan a un ritmo máximo de 0,03 mm/año. En esta situación la protección resulta innecesaria. A la inversa, en una zona de salpicaduras la velocidad de corrosión puede llegar a los 0,15 mm/año. Si las tensiones aplicadas también son elevadas se hace necesario tomar medidas para aumentar la vida de la estructura. Una posibilidad es sustituir el acero dulce por acero de fluencia elevada; otra la inclusión de un grosor de acero adicional. La protección catódica puede ser apropiada. En cabeza de la lista de métodos de protección se encuentran las pinturas.

Los revestimientos de protección deben cumplir ciertos requisitos:

- las pinturas deben ser adecuadas para una aplicación mediante rociador sin aire
- deben ser de secado/curado rápidos
- son necesarios volúmenes de sólidos superiores al 50% para asegurar espesores de película seca de 100-400 μm en no más de dos capas.

Estas propiedades son necesarias para asegurar un rendimiento total rápido en los talleres en los que se aplica el revestimiento inicial.

Además, el revestimiento debe:

- tener una excelente adherencia
- ser duro y resistente a la abrasión
- presentar una permeabilidad al agua reducida y una buena resistencia química para aguantar el transporte, hincado y, por último, el entorno al que está expuesto.

El encargado de las especificaciones dispone de varios sistemas de pintado, de entre los cuales solo debe tener en cuenta aquéllos proyectados para este uso final concreto. Un especialista, British Steel, aboga por la utilización solo de dos alternativas, ambas proyectadas específicamente para el estacado.

El primer sistema es brea epoxi de dos envases y alto espesor, de curación por isocianato. Se aplica sobre superficies limpiadas por chorro de abrasivo de calidad Sa 2$^{1}/_{2}$, con hasta 400 μm en una o dos capas. Son usos finales típicos las pilas, embarcaderos, muros de puerto y estacas de apoyo en suelos corrosivos. El tiempo característico hasta el primer mantenimiento se estima, en condiciones de exposición severas, en 15 años. El mantenimiento consiste en limpieza por chorro, seguida de la aplicación mediante rociador sin aire del

revestimiento original en una capa de 400 µm, o dos capas de lo que de hecho es el segundo sistema propuesto como adecuado para la protección del estacado.

El segundo sistema de revestimiento se describe como alquitrán vinílico. Es una brea modificada con resinas de vinilo específicas que le proporcionan cierta elasticidad. El producto de una parte se seca únicamente por evaporación del disolvente, lo que le hace especialmente adecuado para la aplicación in situ. Puede aplicarse hasta con 150 µm por capa. Los usos típicos son muros de canales y ríos, y estructuras generales no expuestas a entornos abrasivos. Aunque se prefiere la limpieza por chorro de abrasivo conforme a Sa 2$^{1}/_{2}$, es un material que puede utilizarse de manera eficaz sobre acero preparado con herramienta mecánica (norma sueca St2 o 3). El mantenimiento requiere la aplicación del material original, con el espesor inicial de película seca, o puede recubrirse también con otras soluciones de brea de alto espesor.

En estructuras con protección catódica solo resulta adecuada la brea epoxi de curación por isocianato.

3. CORROSIÓN EN SUELOS

La corrosión en suelos es similar a la del agua. Requiere la presencia de un electrólito y de circunstancias que produzcan en el acero o el hierro zonas anódicas y catódicas.

Para que las condiciones del suelo den lugar a la corrosión deben existir:

- humedad
- acceso para el oxígeno
- sales disueltas que aumenten la conductividad eléctrica
- un estado ácido

Las estructuras de acero bajo tierra raramente están expuestas a condiciones en las que el electrólito es lo bastante ácido como para sostener la corrosión, sin la presencia de oxígeno para mantener el proceso. La corrosión suele necesitar un suelo permeable al aire, mientras que las variaciones en las condiciones del suelo dan origen a una aireación diferencial y crean zonas catódicas y anódicas (ver figura 1). La excepción la constituye la arcilla empapada en agua; aunque el oxígeno no puede penetrar en el suelo la corrosión tiene lugar a causa de una bacteria reductora de sulfatos presente en él (ver sección 5).

La corriente eléctrica parásita puede ocasionar una corrosión grave, al ofrecer el metal bajo tierra una ruta de baja resistencia. El metal hace de cátodo en el punto donde entra la corriente positiva, y se convierte en el ánodo donde ésta abandona el metal. La figura 2 ilustra este problema. El efecto es peor con corriente directa.

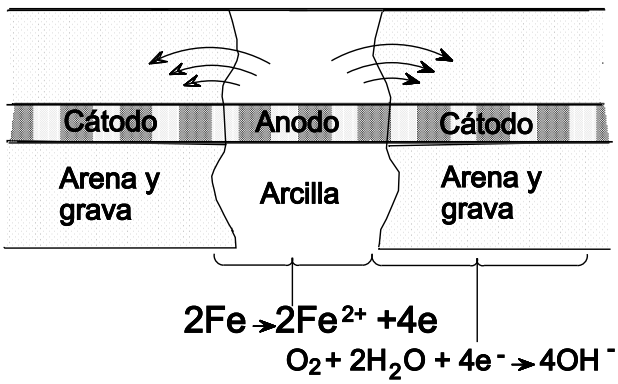


Figura 1 Diferente corrosión por aereación según variación de las condiciones del suelo

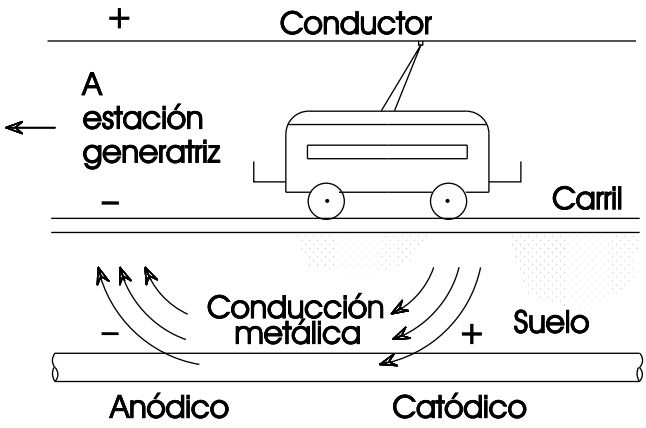


Figura 2 Corrosión de metal enterrado debida a corrientes eléctricas vagabundas que emanan del ferrocarril eléctrico

Los métodos para controlar la corrosión en suelos son limitados. Cuando el suelo es ácido, las tuberías pueden hacerse menos vulnerables mediante trincheras de terraplenado con lascas de piedra caliza, lo cual modifica el pH. No es probable que este método sea adecuado para estructuras o estacas, que requieren un suelo sin perturbaciones con fines mecánicos. En muchos casos, la única solución posible es un nuevo recorrido de la tubería o una reubicación de la estructura.

Tradicionalmente, las estructuras bajo tierra se han protegido mediante revestimiento con pinturas basadas en alquitrán de hulla, brea o bitumen reforzados con una resina. Hoy en día, las resinas comunes para este propósito son derivados de epoxi, vinilo o uretano, es decir, los revestimientos antes expuestos como los adecuados para proteger el acero sumergido o el estacado en suelo. En el caso de las tuberías bajo tierra pueden ser más adecuados otros revestimientos, por ejemplo polvo epoxi, polietileno de tres capas o envolturas.

Con el hierro y acero bajo tierra debiera siempre plantearse la protección catódica como medio para reforzar el rendimiento del revestimiento.

4. MÉTODOS DE CONTROL DE LA CORROSIÓN ELÉCTRICOS

El método más conocido es la protección catódica, pero existen otros: la protección anódica y el aislamiento eléctrico.

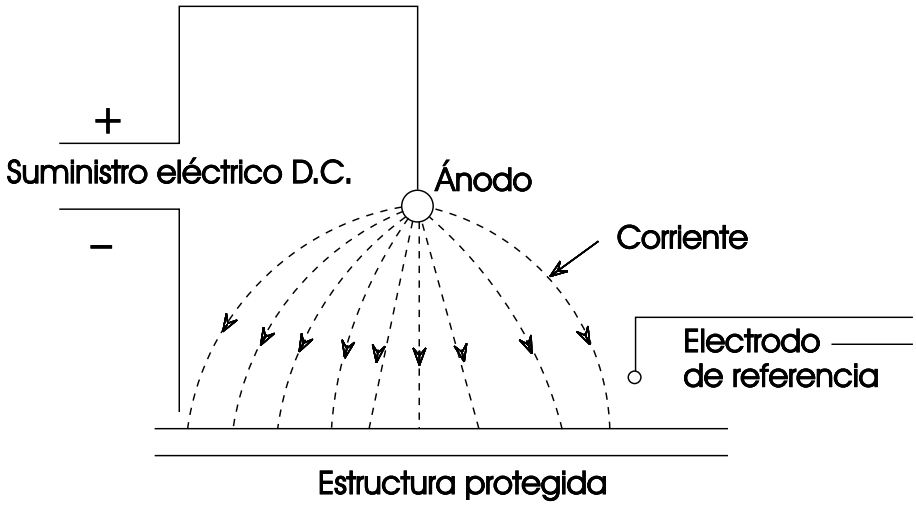


Figura 3 Protección catódica mediante una corriente impresa

La **protección catódica** se basa en el hecho de que la corrosión no tendrá lugar si se consigue hacer catódica toda la superficie del metal utilizando un electrodo externo. La figura 3 ilustra la utilización de un sistema de corriente aplicada. Por lo general, la corriente externa que confiere la protección es una corriente directa de bajo voltaje. El terminal positivo de la fuente de corriente está conectado a un ánodo auxiliar, que se sitúa alejado de la estructura que necesita protección. La propia estructura constituye la conexión al terminal negativo, fluyendo la corriente desde el ánodo a la estructura protegida. Esta última suele estar revestida o envuelta, ya que la corriente necesaria para proteger una estructura sin revestir sería demasiado elevada como para que el método fuera rentable. Así, el revestimiento o la envoltura son la primera defensa, encargándose la protección catódica de los deterioros sufridos por aquél.

También se utilizan (figura 4) ánodos sacrificatorios (aleaciones de cinc, aluminio, magnesio). En este caso, el electrodo auxiliar está hecho de un metal más activo que el que requiere protección. Se convierte en el ánodo en la célula de corrosión al conectarse al elemento que necesita la protección, el cual

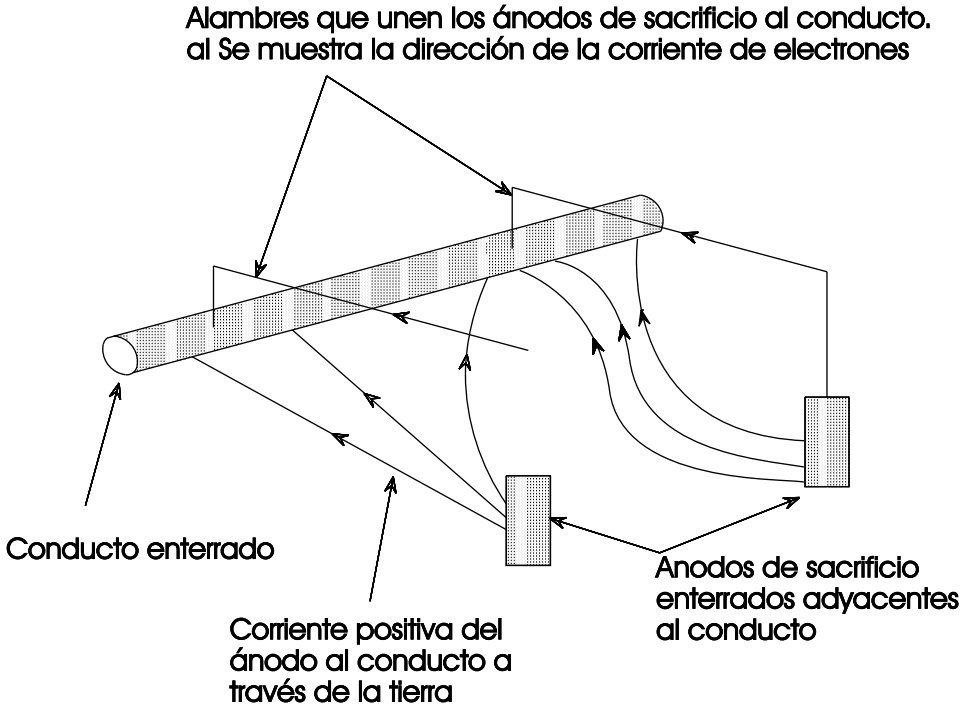


Figura 4 Protección catódica mediante ánodos de sacrificio

pasa a ser el cátodo. No se requiere corriente externa, pero la protección se interrumpe si el ánodo se oxida por completo.

La **protección anódica** exige una capa "pasiva" para formar y proteger el metal de la corrosión. Se aplica una corriente externa en dirección opuesta a la que se usa para un sistema catódico. Esta corriente drena electrones de la superficie, elevando el potencial anódico a un valor al cual el metal se hace pasivo (ver figura 5). Se necesita una densidad de corriente elevada pero, una vez se ha conseguido la pasividad, basta una corriente muy pequeña para hacer funcionar el sistema. Otro atractivo es la gran fuerza de "proyección" de la corriente, que alcanza zonas muy alejadas del cátodo. En potencia el

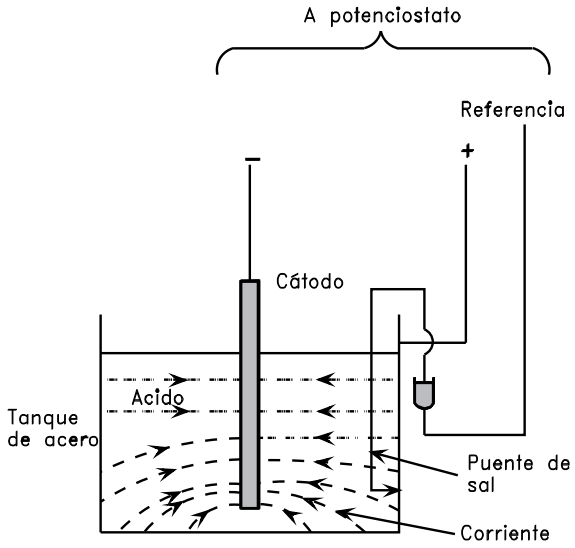


Figura 5 Protección anódica de un tanque de acero

sistema es útil en el interior de depósitos complejos y tuberías largas.

El líquido que se maneja debe adecuarse a la pasivación, por ejemplo ácido sulfúrico. La corriente y el entorno exigen un control cuidadoso para asegurar el mantenimiento de las condiciones correctas. De lo contrario se produce una rápida corrosión.

El **aislamiento eléctrico** aumenta la resistencia en alguna parte de la célula de corrosión, reduciendo el flujo de corriente y por tanto la velocidad de corrosión. Por ejemplo, la resistividad eléctrica del agua desmineralizada es mucho mayor que la de una solución salina, y en consecuencia la velocidad de corrosión es en aquélla proporcionalmente menor.

Un nuevo recorrido de las tuberías, que evite suelos corrosivos de baja resistividad, reduce el riesgo de corrosión. El tendido de las tuberías a través de suelos de diferentes resistividades puede establecer en el metal zonas anódicas, en los suelos de baja resistividad, y regiones catódicas, en los de resistividad elevada, generando células de corrosión.

Estas corrientes de "línea larga" se evitan insertando empalmes aislantes entre secciones de tubería.

Por último, el aislamiento unos de otros de metales no similares, por ejemplo láminas de revestimiento de aluminio y acero portante, elimina el riesgo de corrosión galvánica.

5. ORGANISMOS AERÓBICOS Y ANAERÓBICOS

Aunque una explicación detallada está fuera del contenido de esta lección, los ingenieros y arquitectos deben saber cómo contribuyen los organismos aeróbicos y anaeróbicos a la corrosión del acero o el hierro sumergidos en agua o bajo tierra. En la práctica, cuando se esté trabajando en un proyecto donde es probable que el entorno favorezca el crecimiento de bacterias, debe consultarse a un experto.

Los organismos aeróbicos son aquéllos que necesitan oxígeno para sobrevivir, los anaeróbicos son aquéllos que no lo necesitan.

En materia de corrosión, las bacterias reductoras de sulfatos (SRB, “sulphate reducing bacterial”) son probablemente las más conocidas, y desde luego son las más destructivas. En nuestro entorno predominantemente aeróbico se encuentran en estado latente, pues son organismos estrictamente anaeróbicos. Conforme el nivel de oxígeno de un entorno disminuye, por ejemplo en zonas de agua estancada o en un embarcadero con marea baja, las bacterias reductoras de sulfatos se activan. Según aumentan las células, se generan productos secundarios que inician la corrosión anaeróbica. Su metabolismo requiere la reducción de las moléculas de sulfato a agua, disipando un sulfuro libre que reacciona con el hidrógeno para formar un gas extremadamente corrosivo: sulfuro de hidrógeno. Este proceso no solo reduce el nivel de oxígeno, estimulando un mayor crecimiento, sino que reacciona con el hierro y el acero.

6. RESUMEN FINAL

1. Si bien este área de trabajo corresponde a los técnicos de prevención de la corrosión, los ingenieros y arquitectos necesitan conocer los aspectos que han de tenerse en cuenta.

2. Los tratamientos de protección en estructuras de plataforma petrolífera son diferentes para el acero en el nivel de cubierta y por encima de él, y en los niveles de marea bajo cubierta.

3. Los sistemas de protección para tablestacas exigen conocer los niveles y gamas de tensiones del producto, así como las condiciones del suelo/agua en el que se van a hincar.

4. El daño que puede producirse durante la construcción y utilización exige revestimientos resistentes al impacto, sobre todo en entornos marítimos. Los métodos electrolíticos de control de la corrosión pueden ofrecer las mejores soluciones en estas situaciones.

5. Debe tenerse en cuenta la posibilidad de un crecimiento bacteriano que puede causar una acción corrosiva en el acero sumergido en agua o bajo tierra.

7. BIBLIOGRAFÍA ADICIONAL

1. Escalante, E., “Corrosión and Protection of Steel Piles in a Natural Seawater Environment”, NSB Monograph 158, Washington, National Bureau of Standards, 1977.

2. “Effect of Cathodic Protection Level and Stress Ratio on the Fatigue Strength of Welded Plate Specimens in Seawater”, Microfiche Report with OTH 89 310, London, HMSO, 1990.

3. Thorpe, T. W., “Influence of Stress Spectrum, Seawater and Cathodic Protection on Fatigue Crack Propagation in Structural Steels”, London, HMSO, 1990.

4. Carney, R. F. A., “Cathodic Protection of Steel in Real and Simulated Seawater Environments”, London, HMSO, 1989.

5. Waite, D., “Steel Piles”, Chapter 29 - Steel Designers’ Manual, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1992.

6. Wijngaard, B. H., “Steel Piling Corrosion in Marine Environments - a Survey”, EUR 7430, EEC, ECSC, 1982.

DIAPOSITIVAS COMPLEMENTARIAS DEL TOMO 5: CORROSIÓN



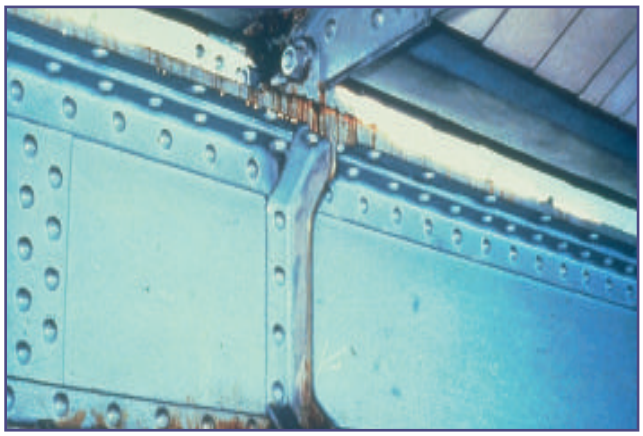
T5c1 Pilar Delhi conservado sin protección durante 1500 años en atmósfera seca



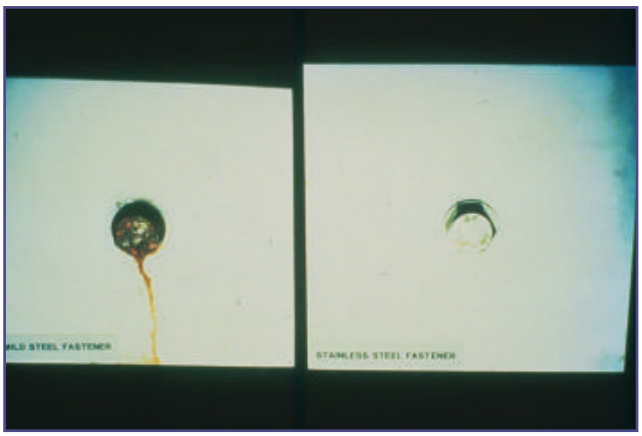
T5c2 Corrosión del acero en presencia de agua y oxígeno



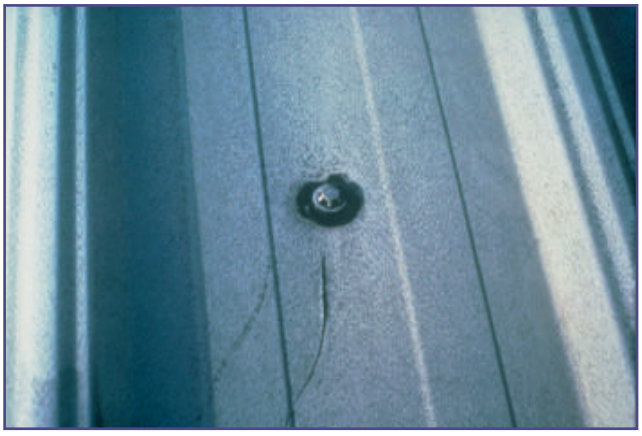
T5c3 Secciones del edificio de correos de Nottingham de 1983, sin apenas corrosión



T5c4 Greene's Boat House, Sheerness, Reino Unido



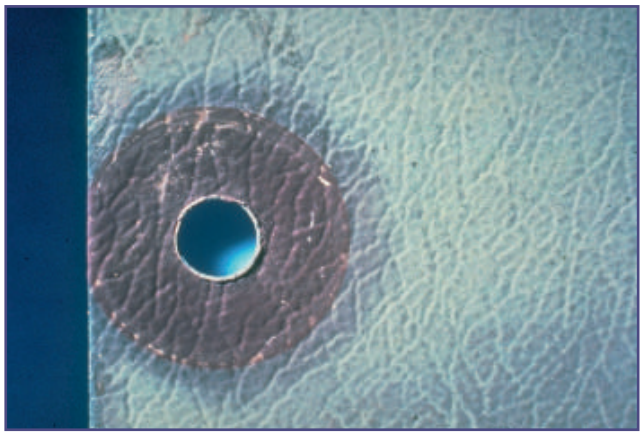
T5c5 Izq. placa con tornillo de material incompatible, dcha. material compatible



T5c6 Evitar la presencia de agua en fijaciones



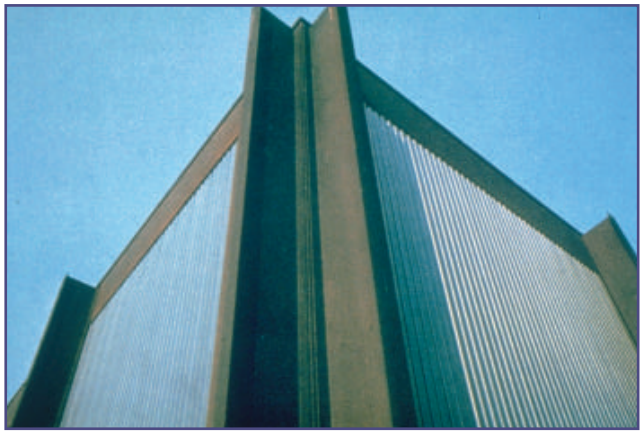
T4c7 Corrosión en contacto con suciedad de mortero de paredes



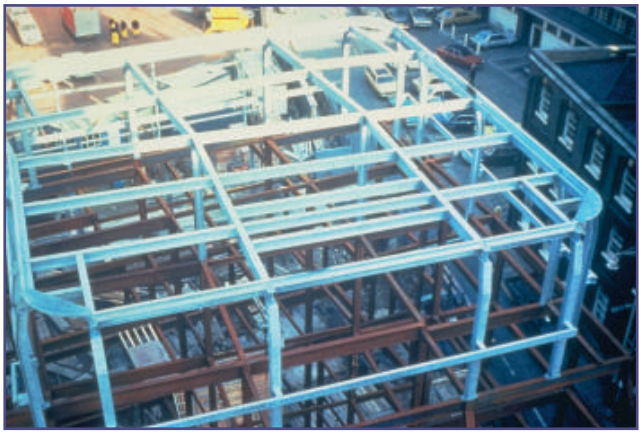
T5c8 Microgrietas superficiales en revestimiento de plastisol de chapa de acero



T5c9 Acero junto a pared porosa donde penetra la suciedad



T5c10 El acero de bajo contenido en cromo desarrolla una pátina autoprotectora



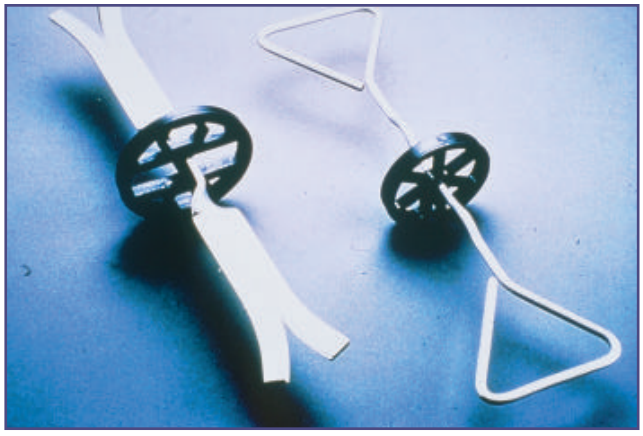
T5c11 Hay que proteger las estructuras a la intemperie contra la corrosión



T5c12 El acero almacenado sufre corrosión, hay que limpiarlo antes de protegerlo



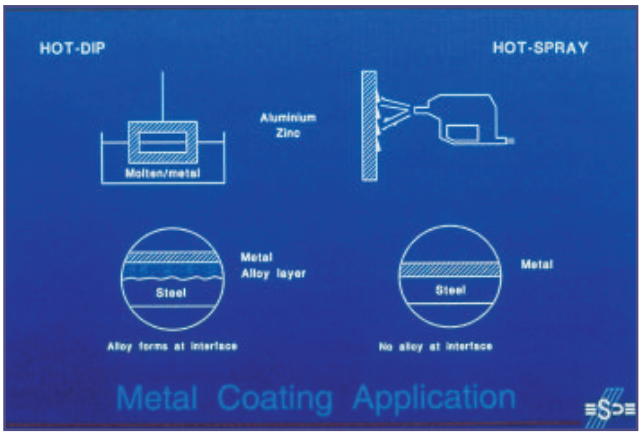
T5c13 El acero utilizado en granjas debe ser galvanizado por la acción bioquímica



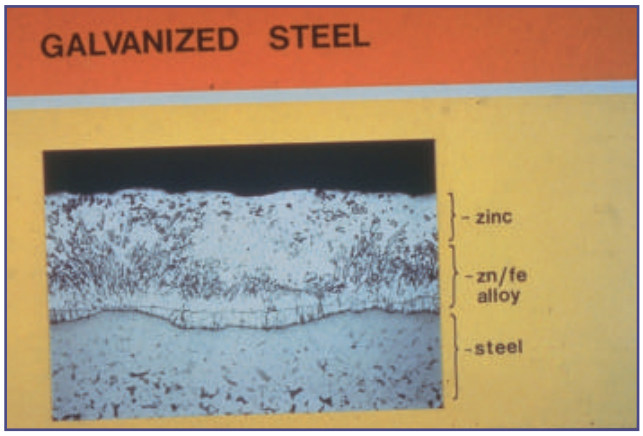
T5c14 En condiciones severas o de difícil acceso puede utilizarse el acero inoxidable



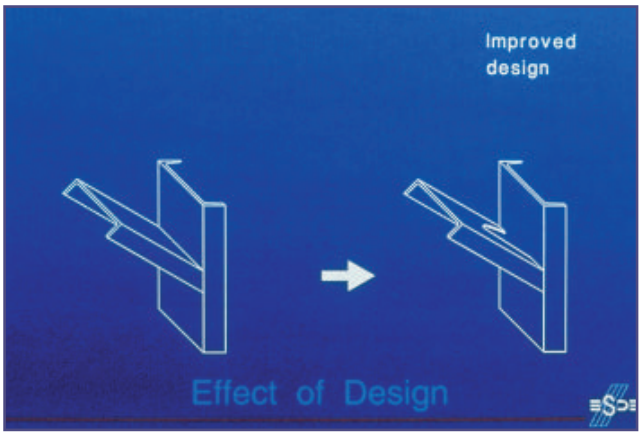
T5c15 Las edificaciones con muchos años pero bien mantenidas, tienen buen aspecto



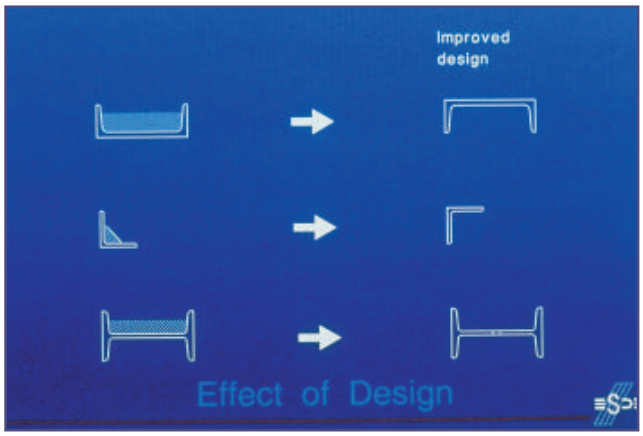
T5c16 Protección del metal (diagrama de representación del proceso)



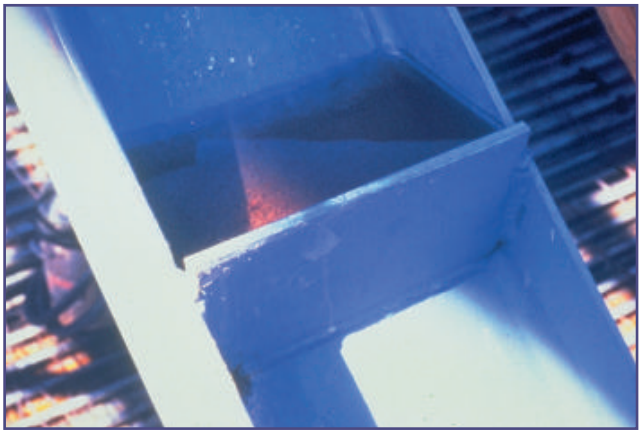
T5c17 Composición de la sección de chapa galvanizada



T5c18 El diseño tiene que evitar la acumulación de agua y suciedad



T5c19 El diseño tiene que evitar la acumulación de agua y suciedad



T5c20 El mal diseño acelera la corrosión. Un taladro en el rigidizador evita el problema



T5c21 Hay que reparar los daños producidos durante la fabricación y el montaje