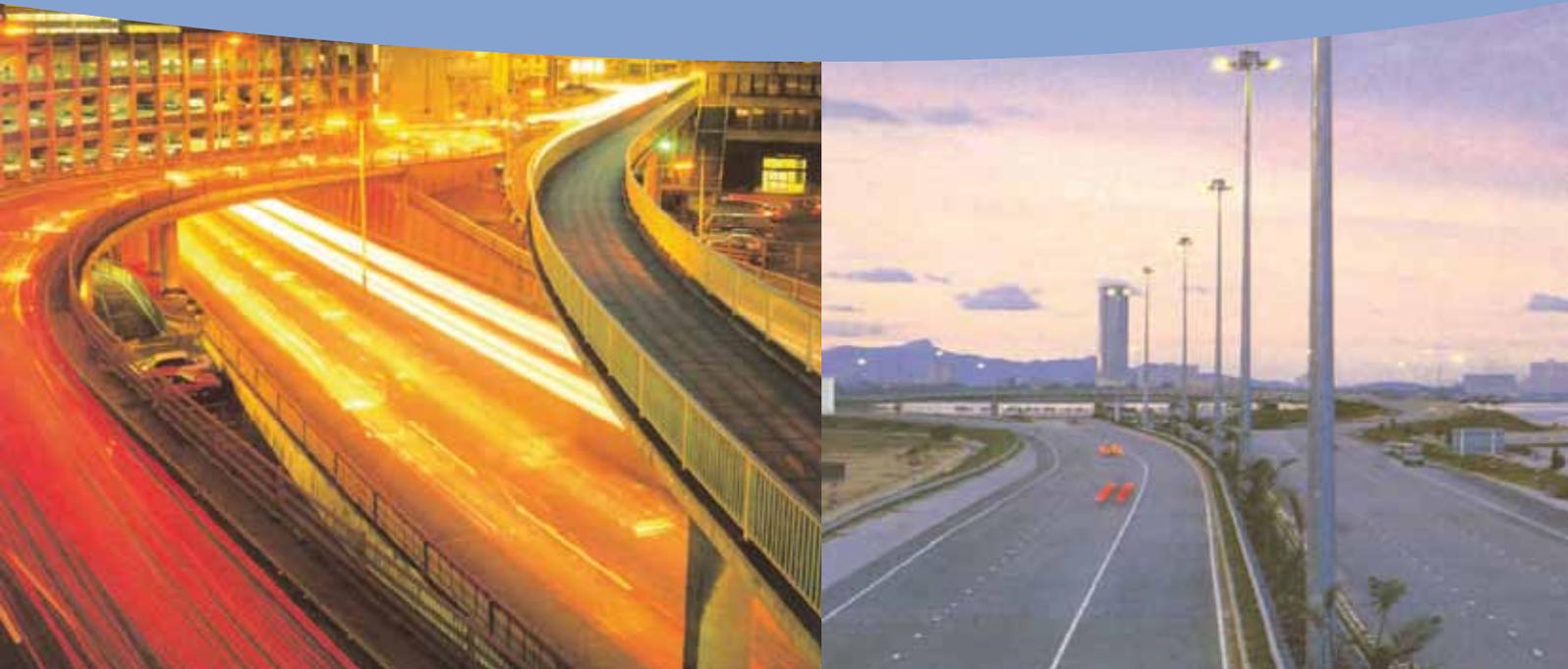
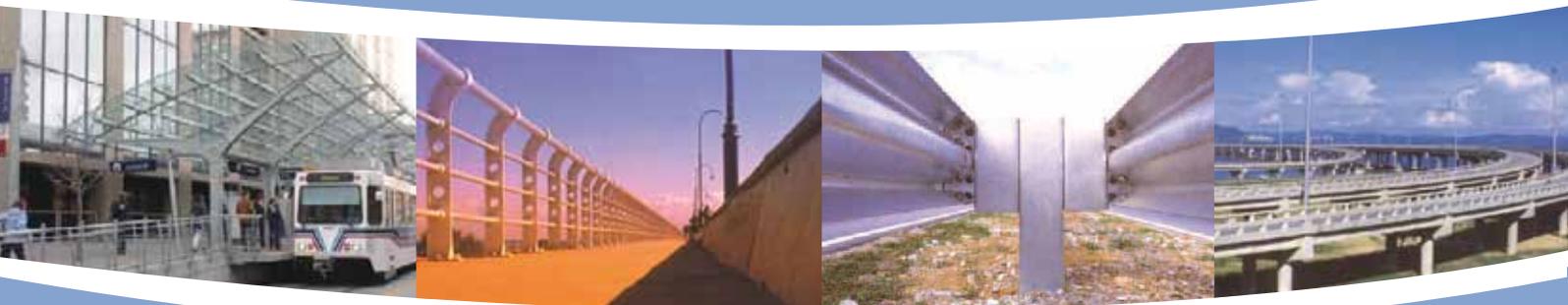




LATIZA

ASOCIACION LATINOAMERICANA DE ZINC

Aplicaciones Prácticas del Acero Galvanizado en Puentes y Carreteras



Aplicaciones Prácticas del Acero Galvanizado en Puentes y Carreteras

La corrosión del acero es un problema serio. El galvanizado es una solución al problema. Los capítulos previos explican el proceso de corrosión, cómo se producen los revestimientos galvanizados y cómo evitan la corrosión. El resto de este libro está dedicado a mostrar el galvanizado en aplicaciones específicas y reales en el sector de los puentes y las carreteras.

El acero ha dominado, y seguirá haciéndolo, el mercado de los puentes como el principal material de construcción. Su resistencia a la razón de carga no tiene igual en ningún otro material alternativo. El acero tiene un problema potencial en las aplicaciones en puentes: la corrosión. Debido a que está constantemente expuesto al clima, a sustancias químicas descongelantes y a contaminantes atmosféricos, el acero debe ser protegido. Desde fines de 1800, se ha usado el galvanizado para proteger tanto los componentes estructurales como misceláneos de los puentes.

Una antigua y famosa aplicación del galvanizado la constituyen los cables de soporte del Puente de Brooklyn. El galvanizado ha entregado protección contra la corrosión a estos cables por más de cien años. Si bien ésta es la aplicación más antigua conocida del galvanizado en la industria de los puentes, hay decenas de miles de otras aplicaciones en toda Norteamérica. Solo el estado de Ohio tiene más de 100 puentes que están totalmente galvanizados, es decir, todos los componentes estructurales y misceláneos de los puentes están galvanizados por inmersión en caliente. También se encuentran puentes totalmente galvanizados en todo Canadá, Michigan, Kentucky, Illinois, Connecticut, Indiana y en la salina atmósfera de Bermudas. Desde simples puentes de alcantarillas hasta complejos puentes de acero, hasta guardarríeles de carreteras, hasta pasarelas de peatones, hasta postes de alumbrado y postes de señalizaciones, el galvanizado ha demostrado su capacidad para proteger exitosamente el acero de la corrosión en la agresiva atmósfera de los puentes y las carreteras. El galvanizado es competitivo en los costos iniciales y minimiza significativamente los costos futuros de mantenimiento.

Puente Parrot
totalmente
galvanizado en
Quebec, Canadá



Cuando se necesita mantenimiento en una estructura galvanizada (por lo general, 40 a 50 años después de la construcción), el procedimiento de mantenimiento es mucho menos caro y más fácil de implementar, ya que no hay presencia de material de escamas, descortezamiento ni burbujas. La superficie galvanizada requiere sólo un lavado con un preparado para revestimiento. No se necesita chorro abrasivo con sus consiguientes problemas. La superficie galvanizada meteorizada proporciona una excelente base para futuros sistemas de pintura extendiendo la vida prevista del sistema de pintura en 1,5 a 2 veces.

Se han galvanizado completamente puentes de hasta 900 pies de longitud. Aplicaciones notables incluyen el primer puente conocido totalmente galvanizado en Norteamérica, construido en Quebec, Canadá: El Puente Lizotte de 400 pies. El galvanizado ha entregado una protección eficaz en función de los costos contra la corrosión y un servicio libre de mantenimiento para el Puente Lizotte desde 1963. La Carretera Expresa Kinki en Japón, es un puente de 1,5 millas, 100 pies de ancho que utiliza 3.000 toneladas de acero galvanizado como protección contra la corrosión a largo plazo. La Carretera Expresa Schuylkill de Filadelfia utiliza acero de refuerzo galvanizado en sus losas para extender sustancialmente la vida del concreto. Un puente reciente completamente galvanizado construido en el Condado de Ashtabula, Ohio, según calcula el diseñador del puente, permanecerá libre de mantenimiento durante 60 años.



Postes de alumbrado galvanizado

Estructuras Galvanizadas de Caminos y Carreteras

Postes de Alumbrado de Acero Galvanizado

Éste es uno de las aplicaciones más comunes y ampliamente usadas del acero galvanizado. Los postes de alumbrado de acero galvanizado se usan en todo el mundo.

El acero galvanizado es la mejor elección de materiales usados para construir postes de alumbrado. El acero galvanizado ofrece mayor resistencia al impacto que otros materiales. El acero es además más fácil de soldar y fabricar, una consideración importante cuando se necesitan postes altos y/o el uso de diseños modulares. Además, es fácil incorporar una base de disipación u otras características de disipación en los postes de acero galvanizado. Los postes de acero galvanizado ofrecen la resistencia necesaria para soportar semáforos y otros equipos de iluminación, incluso en brazos largos que pueden introducir flexión u otras formas de esfuerzo.

Como ilustra la fotografía, los postes de alumbrado de acero galvanizado son estéticamente agradables. Son, además, extremadamente económicos en términos tanto de los costos iniciales como a largo plazo. Un punto importante de señalar es que los postes de acero galvanizado proporcionan protección contra la corrosión tanto interna como externa de los efectos de las atmósferas industriales agresivas, la lluvia, las sales descongelantes de los caminos, el agua escurrida y otros contaminantes.

Sistemas de Drenaje de Puentes y Carreteras

Esto incluye imbornales, alcantarillas, tubos de bajada y drenajes de cunetas. Las sales de cloruro usadas para los deshielos en invierno crean un escurrimiento altamente corrosivo. Los sistemas de drenaje deben sufrir repetidos ciclos de humedad y secado exacerbando



Estructuras
galvanizadas de
señales

incluso más el potencial corrosivo. El galvanizado ha demostrado ser altamente eficaz en la prevención de la corrosión cuando se usa para proteger estos componentes. Las alcantarillas de acero corrugado galvanizado se han usado ampliamente desde 1896.

Instrumentos y Componentes de Control de Tráfico Vehicular

Éstos incluyen soportes simples de señales, soportes de señales del tipo voladizo, soportes de señales superiores, delineadores, guardarrieles, ángulos de soleras, barreras divisorias de acero, barreras de sonido, y tipos “Jersey” de barreras de hormigón armado de acero.

La excelente resistencia a la abrasión del revestimiento galvanizado es una propiedad protectora especialmente importante para soportes de señales y guardarrieles.

Estos componentes están sujetos a abolladuras y rayones de pequeñas rocas, guijarros e impactos de otros materiales arrojados por los neumáticos así como polvo y arena llevado por el viento. En los climas del norte, se ven enfrentados con el daño adicional infligido durante las operaciones de remoción de la nieve. Tanto los ensayos de control a largo plazo y la extensa experiencia de servicio en terreno han demostrado que el galvanizado entrega protección contra la corrosión para estos componentes que es muy superior y mucho más eficaz en términos de costo que la proporcionada por la pintura sola o por otros sistemas de protección.

Diversas formas de barreras de acero y ángulos de soleras están en extenso contacto con agua que contiene grandes cantidades de sales descongelantes de cloruro. Durante e inmediatamente después de la precipitación, estos componentes también están sujetos a constantes ciclos de humedad y secado causados principalmente por el rociado de los neumáticos de los vehículos. Éstas son condiciones ambientales muy corrosivas para el acero. La mayor protección dual (es decir, protección de barrera y protección catódica) proporcionada por el revestimiento galvanizado sirve para prolongar la vida útil real de estos componentes.

Sistema de Control de Tráfico de Peatones

Esto incluye componentes tales como pasarelas para peatones, pasarelas de inspección, rieles de puentes y rieles antisuicidas. Estos componentes por lo general se construyen de acero galvanizado. A menudo se usan sistemas dúplex de fácil aplicación en estos componentes por razones estéticas, así como también para extender la vida útil libre de mantenimiento.

En puentes cuyas vigas longitudinales exceden la capacidad del galvanizador, se puede utilizar un concepto eficaz y de bajo costo de “mezcla y ajuste”. Éste consiste en revestir las partes sobredimensionadas con un sistema de revestimiento de alto rendimiento y revestir las partes intermedias más pequeñas como diafragmas, puntales laterales transversales y puntales diagonales con galvanizado por inmersión en caliente.

Debido a que los elementos más pequeños en pies cuadrados totales pueden exceder el área de superficie de los elementos principales hasta en 400%, esto asegura que hasta el 75% del área total de la superficie está revestida con galvanizado por inmersión en caliente eficaz en términos de costo.

Componentes Galvanizados de Puentes

En puentes compuestos principalmente de hormigón, existen varios componentes expuestos de acero que requieren protección contra la corrosión. Estos componentes pueden dividirse en tres categorías:

- Aquéllos que permiten que el puente se mueva.
- Aquéllos que permiten y/o controlan el acceso a los elementos del puente para inspecciones y reparaciones.
- Componentes y detalles misceláneos estructurales de acero.

Juntas de Expansión, Rodamientos y Conectores de Esfuerzo de corte

Todos éstos son componentes de la superestructura del puente. Su función es permitir el movimiento necesario de los elementos del puente (es decir, expansión y contracción térmica).

Una gran variedad de juntas de expansión se usa hoy con la mayoría incorporando algún acero expuesto y/o empotrado. Las juntas de expansión siempre son áreas problemáticas. Las piezas de acero que pueden estar sometidas a sales descongelantes y muchos ciclos de humedad y secado durante el invierno son excelentes candidatos para la corrosión. Muchas juntas son susceptibles de acumular basura del camino junto con la abrasión y desgaste del contacto directo con los neumáticos, guijarros y rocas. La falla de la junta puede restringir el movimiento necesario de los elementos del puente, produciendo un daño catastrófico al puente. La corrosión puede provocar que las juntas de expansión del puente filtren directamente en los ensambles de los rodamientos del puente, exacerbando incluso más el problema de la corrosión.

El acero usado en las juntas de expansión es un buen candidato para la protección contra la corrosión mediante el galvanizado. La protección contra la corrosión del cepillado y rociado no será lo bastante resistente para soportar la abrasión y el desgaste. La protección catódica y de barrera entregada por el galvanizado ayuda a estos componentes a resistir la corrosión más tiempo bajo sus condiciones de servicio altamente corrosivas, a la vez que aumenta realmente la resistencia a la abrasión del acero base.

Existe en uso en la actualidad una gran variedad de rodamientos de puentes. Materiales elastómeros, componentes no metálico, han revolucionado el diseño de los rodamientos de los puentes. Los componentes de acero usados para contener los rodamientos de elastómero deben ser protegidos mediante el galvanizado o un sistema de galvanizado dúplex por dos razones. Debido a su ubicación, los rodamientos y los ensambles de soporte a menudo están sometidos tanto al agua contaminada de cloruro e importantes ciclos de humedad y secado. Los rodamientos a menudo se ubican en lugares de difícil acceso para las inspecciones y mantenimiento periódicos.

Además, en muchos casos, las aves hacen sus nidos en estos ensambles o cerca de ellos provocando que la vegetación de los nidos forme un casi continuo "cataplasma" húmedo y corrosivo sobre el acero.

Los rodamientos y ensambles no elastómeros incorporan sustancialmente más acero que los rodamientos elastómeros comparables. Las razones precedentes son aún más aplicables a los rodamientos no elastómeros.



Tablero galvanizado de puente

Compuertas, Escaleras y Puertas de Acceso de Acero

Todos éstos son componentes diseñados para permitir y/o controlar el acceso a los elementos del puente para su inspección y mantenimiento. A menudo estos componentes están ubicados en lugares donde es difícil el acceso para reiteradas pinturas. El galvanizado se usa a menudo para entregar un sistema de protección contra la corrosión a largo plazo y estéticamente agradable para estos componentes.

Otros Usos del Acero Galvanizado en Aplicaciones de Puentes

Éstos son muchos y variados. La Figura 16 muestra algunas de las aplicaciones más comunes. Representan aplicaciones reales, probadas, controladas y demostradas, actualmente en uso en toda Norteamérica. El galvanizado es el revestimiento reconocido en el mercado de la prevención contra la corrosión de puentes y carreteras. Sus características únicas ofrecen significativa protección contra la corrosión demostrada y eficaz en términos de costo.

Los cables y las estructuras críticas de soporte de cables en puentes de suspensión en acero y afirmadas en cables de acero a menudo son galvanizados. Se puede hacer una interesante comparación entre los Puentes de Brooklyn y Williamsburg en la ciudad de Nueva York. Los cables del Puente de Brooklyn se hicieron con acero galvanizado. **Cuando se revisaron los cables galvanizados originales principales del Puente de Brooklyn para su centenario en 1983, se encontraron en perfectas condiciones.** Para el Puente Williamsburg, que se terminó en 1903, el diseñador prefirió usar alambre no galvanizado para los cables del puente. Esta decisión empezó a pesar en 1910, sólo siete años después de que fue inaugurado.

Las revisiones de esa época revelaron extensa corrosión en los cables y algunos alambres quebrados. Se hicieron numerosos intentos por reparar el daño y contrarrestar la corrosión de los cables sin éxito notorio. Hacia 1988 los cables se habían corroído hasta el punto que las autoridades del puente estimaron que le quedaban sólo de cinco a diez años de vida con adecuado margen de seguridad. Para mantener operativo el puente, el cable principal requirió una intensa reparación.

FIGURA 16

Puentes y Carreteras

Superestructura del Puente

Pernos de anclaje
 Riel anti-suicida
 Placas base
 Ensamblajes de rodamientos
 Placas de rodamientos
 Pernos
 Riel de caja
 Riel del puente
 Conectores de cable
 Cables
 Conectores de esfuerzo de canal
 Soportes transversales
 Ángulos de soleras
 Diafragmas
 Diques de extremos
 Diques de Expansión
 Diques de expansión de junta digital
 Parrilla de pisos
 Rejillas de pisos
 Vigas
 Guardarrieles
 Pasarelas de Inspección
 Recubrimientos de Barreras Jersey
 Postes de Alumbrado
 Soportes de cañerías
 Rieles de cañerías
 Cañerías
 Rodamientos en cofre
 Moldes para vaciado en sitio

Pasillos
 Soportes de drenaje
 Sistemas de drenaje
 Pilotes hincado
 Enrejado
 De anclajes de tierra
 Escaleras
 Pilotes de espigón
 Abrazaderas de unión de refuerzo
 Acero de refuerzo
 Muros de contención
 Tablestacado
 Soportes de Señales

Puentes Temporales

Estructuras completas de "Puente Bailey"
 Módulos insertos

Carreteras

Pernos de anclaje
 Riel anti-suicida
 Placas base
 Riel de caja
 Disipadores
 Alcantarillas
 Ángulos de soleras
 Delineadores
 Enrejado
 Compuertas
 Láminas brillantes
 Guardarrieles
 Postes guardarrieles

Abrazaderas de unión de refuerzo	Recubrimientos de Barreras Jersey
Acero de refuerzo	Postes de alumbrado
Imbornales y drenajes	Barreras medianas
Pernos de corte	Soportes de señales superiores
Soportes de señales	Puente pasarela peatones
Postes de Luces de Señales	Baranda de tuberías
Conectores de corte espiral	Acero de refuerzo
Placas abrazaderas	Imbornales y drenajes
Barreras divisorias de acero	Soportes de señales
Vigas longitudinales	Soportes de letreros
Drenajes de fosas	Postes de luces de señales
Sub-estructura del Puente	Barreras de sonido
Puertas de acceso	Barreras divisorias de acero
Muros de contención tipo depósito	Drenajes de fosas
Pernos	

Historias de Casos Reales

La decisión de usar el galvanizado como método de protección contra la corrosión para puentes de acero se basó, en parte, en el excelente rendimiento de las torres de transmisión galvanizadas. Los servicios de electricidad de la región de los Estados del Golfo de Estados Unidos han estado usando el galvanizado en sus torres de transmisión desde principios de este siglo y siguen siendo usuarios satisfechos. Esto es importante dado el ambiente lleno de sales, caliente y húmedo prevaleciente en gran parte de esta región. Además, los puentes portátiles o temporales del tipo Callender - Hamilton ("Acrow o Bailey") de acero totalmente galvanizado se han instalado en todo el mundo desde 1940. Debido al daño físico encontrado durante la continua instalación y desmantelamiento, un galvanizado resistente y durable es el único revestimientológico.

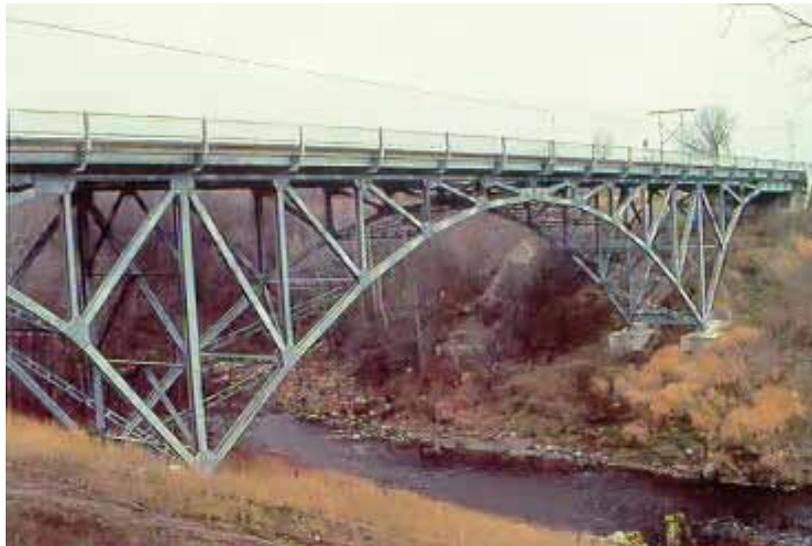
Puente Lizotte - Quebec, Canadá

El primer puente convencional de acero galvanizado en Norteamérica, el Puente Lizotte (Pont Lizotte), se instaló en Quebec, Canadá, en 1963. El puente tiene tres arcos voladizos y una ribera que están a 400 pies de distancia. Hay un evidente medio ojo de 200 pies. El puente se vuela 60 pies desde los pilares y lleva vigas tubulares suspendidas de 45 pies de largo. La carpeta es del tipo de armadura y está construida con perfiles laminados de ala ancha y algunas secciones H soldadas. El Puente Lizotte fue diseñado para una carga de H-20 y pesos de casi 400 toneladas, incluyendo alrededor de 350 toneladas de acero galvanizado.

En 1962, después de dos años de intensos análisis técnicos y económicos, los ingenieros del gobierno decidieron usar galvanizado por inmersión en caliente después de la construcción como método de protección contra la corrosión. Algunos de los puntos de preocupación que se investigaron completamente antes de especificar el galvanizado fueron:

Resistencia al Desliz de las Conexiones Galvanizadas

Antes de la construcción del Puente Lizotte, la práctica aceptada entre los diseñadores de puentes era requerir que las superficies de contacto de las piezas conectadas de alta resistencia a la tensión estuvieran limpias hasta el acero desnudo. Si se hubiera aplicado este requisito al Puente Lizotte, habría sido necesario cubrir las áreas de contacto durante el galvanizado o raspar estas áreas después del galvanizado. Se necesitó de intensos controles sobre los efectos del revestimiento galvanizado sobre la resistencia al desliz al igual que una intensa revisión de la literatura sobre esta materia. Después de una cuidadosa investigación, se determinó que la resistencia al desliz entre las superficies de contacto galvanizadas excedía la que se necesitaba y no fue necesario limpiar ni raspar.



Puente Lizotte,
Quebec, Canadá

Uso de Pernos Galvanizados

Se llevaron a cabo controles de las principales conexiones consistentes en pernos de alta tensión de una pulgada de diámetro de conformidad con la norma ASTM 325. Las tuercas se roscaron de manera sobredimensionada, se galvanizaron y luego se volvieron a roscar. Esto dejó los hilos hembra sin revestimiento. Sin embargo, se determinó que el zinc del hilo del perno macho proporcionaba la protección contra la corrosión requerida. Sobre la base de estos controles y la revisión de la literatura, los ingenieros concluyeron que los pernos de alta tensión, diseñados para desarrollar fricción total en las superficies de contacto se podían recomendar para ser usados en estructuras galvanizadas; el torque requerido en los pernos galvanizados es mayor que el del acero desnudo, pero se alcanza la prueba de carga en el perno sin falla del perno y se requiere lubricante según el tamaño de algunos pernos.

Efectos Físicos del Galvanizado y los Baños Químicos

Existió preocupación de que ocurriera quebramiento de hidrógeno y envejecimiento por deformación durante el proceso de galvanizado. Consecuentemente se realizaron controles en laboratorio de las secciones "H" fabricadas con acero semi-muerto y totalmente muerto al igual que intensas revisiones de la literatura. Como conclusión, los ingenieros canadienses determinaron que la falla por envejecimiento por deformación no radicaba en el proceso de galvanizado sino en el diseño inadecuado para los artículos fabricados trabajados en frío o la inadecuada selección del acero. Se concluyó que el quebramiento de hidrógeno era más un problema teórico que uno práctico.

Capacidad y Posibilidades de una Planta de Galvanizado

Los ingenieros de la provincia de Quebec encontraron que algunas plantas de galvanizado tenían instalaciones de calderas y manipulación suficientes para permitirles procesar elementos que pesaban cinco toneladas o más. Las vigas y los cuarterones de más de cincuenta pies de largo podían ser y habían sido galvanizados. Mediante el proceso de inmersión de doble extremo, es posible galvanizar elementos de hasta ochenta pies de longitud con una caldera de cincuenta pies. Las calderas de este tamaño están disponibles en muchas áreas industriales y existen calderas de sesenta pies de longitud que son capaces de galvanizar artículos de más de 100 pies.

Los elementos más largos del Puente Lizotte eran secciones de cordón flexible de 49 pies y los más pesados eran vigas tubulares que pesaban 4,5 toneladas cada una.

Éstas tenían una sección transversal de 2' x 3,5' y de 45 pies de largo. Tanto las secciones de cuerda como las vigas tubulares fueron galvanizadas por inmersión en caliente después de la fabricación sin dificultad.

En el caso de que los elementos del puente excedan la longitud o capacidad máxima de las calderas disponibles, existen dos alternativas. Se puede reducir la longitud de los componentes individuales que requieren galvanizado mediante el uso de empalmes o se puede usar metalizado de zinc en los elementos demasiado grandes para galvanizar. También es posible y se realiza comúnmente una combinación de metalización y galvanizado en la misma pieza grande.

Costo Inicial y Costo de Mantenimiento

En el momento en que se realizó el análisis económico, el costo inicial de galvanizar el puente excedía el costo inicial de pintarlo (con un sistema de 5 años) en alrededor US\$11.000. En total, el galvanizado sumaba alrededor del 3% del costo inicial total del puente Lizotte. Sin embargo, la vida esperada del revestimiento galvanizado era de por lo menos 30 años. Los ingenieros de proyecto consideraron la pintura como una "batalla perdida". Si bien no se podía discutir que la pintura entregaba alguna protección contra la corrosión a los puentes, las fallas del sistema de pintura en áreas de difícil acceso y difíciles de inspeccionar habían causado considerable daño por corrosión y consiguientes gastos en reparación o rehabilitación en puentes comparables. Era claro que si el revestimiento galvanizado rendía según las expectativas o cerca de ellas, les ahorraría gran cantidad de dinero tanto en dólares reales como nominales cuando se comparaba con la pintura.

Sobre la base de los resultados altamente favorables de este exhaustivo análisis ingenieril, se tomó la decisión de galvanizar el puente Lizotte. Se usaron varios aceros diferentes en la fabricación de los componentes del puente. Se usó Belén V-45 y Stelco A44 para los elementos principales y ASTM A36 para los elementos secundarios. Las conexiones de taller fueron soldadas y los ensamblajes en terreno fueron unidos con pernos de alta resistencia de 1" de diámetro. Además de los elementos del puente, todos los otros elementos del puente fueron galvanizados. Éstos incluían rieles, pernos, empalmes de expansión, soleras, pernos de anclaje y barras de anclaje para veredas.

El galvanizado ha rendido tan bien como se esperaba o mejor. El Puente Lizotte ha permanecido sin mantenimiento desde 1963. A partir de 1989, el espesor del revestimiento galvanizado aún excedía las especificaciones de espesor ASTM, AASHTO y CSA. Es evidente que la vida del revestimiento galvanizado del Puente Lizotte cumplirá o excederá el cálculo inicial de 30 años. Todos los otros puentes galvanizados construidos en Canadá durante este período han mostrado el mismo excelente rendimiento. Se puede encontrar información adicional respecto del rendimiento de estos primeros puentes de acero totalmente galvanizados en la publicación *Galvanized Steel Bridges in the Province of Quebec*, disponible en su galvanizador local o en AGA. También es posible conseguir a

pedido una publicación llamada *Bolting of Galvanized Steel*, que detalla el procedimiento requerido para el uso de pernos galvanizados.

Puente Stearns Bayou – Michigan

El Puente Stearns Bayou, construido en 1966 en el Condado de Ottawa, Michigan, es el primer puente totalmente galvanizado construido en los Estados Unidos. Todos los elementos estructurales, sujetadores y demás componentes de acero del puente de 425 pies fueron galvanizados por inmersión en caliente después de la fabricación. El puente tiene una calzada de 30 pies con pasarelas de 5 pies a cada lado. Los detalles de diseño y construcción del puente incluyen:

- Ocho tramos, dos a 60 pies y seis a 50 pies
- Una sección central continúa de cuatro tramos y una sección continua de dos tramos a cada lado. Atornillado en terreno con uniones galvanizadas por inmersión en caliente.
- Carga de Diseño, H20-S16-44
- Zapata de viga de 30 pulgadas de ancho a 99 y 108 libras/pie
- Conectores de corte, pernos prisioneros soldados en taller
- Diafragmas, placa inclinada de 3/8 pulgada formada para canal de 19½ pulgadas de profundidad con zapatas de 3½ pulgadas
- Pasamanos, secciones rectangulares laminadas en frío de acero de calibre 12.

La obra en acero se encuentra a seis pies sobre agua dulce para la mayor parte de la longitud del puente y está sometida a gran salinización en invierno. La carpeta es una losa de hormigón armado apoyada sobre vigas de acero laminado, construcción mixta.

Las unidades de la sub-estructura están apoyadas en pilotes de acero "H". La profundidad de estas unidades varía entre 80 pies a 125 pies. Los pilares fueron diseñados como armaduras de un solo pilote con travesaños de hormigón armado que permiten que los pilares se muevan con la expansión y contracción de la superestructura. Esta característica de diseño elimina la necesidad de rodamientos de expansión. Otras medidas de protección contra la corrosión incorporadas al diseño del Puente Stearns Bayou incluyen salpicaderas telescópicas en las uniones de expansión para mantener el drenaje de la losa lejos de las vigas.

Se especificó originalmente un sistema de pintura de tres capas como método de protección contra la corrosión. Sin embargo, se investigó el galvanizado como alternativa. Sobre la base de este estudio, se hicieron varias modificaciones de diseño al puente para facilitar el galvanizado. Éstas incluyeron:

- El uso de uniones atornillada de alta resistencia en los puntos de inflexión de las secciones continuas
- Soldadura de sellado para todos los accesorios
- Esquinas recortadas de los montantes de refuerzo para permitir el libre flujo de zinc derretido cuando los montantes de refuerzo fueran sumergidos en la caldera del galvanizado
- Soldadura en taller de los componentes que desarrollan corte antes del galvanizado.



Puente Stearns Bayou,
Michigan

Con la excepción de las uniones atornilladas, éstas constituyeron cambios menores de diseño. El galvanizado es altamente compatible con el uso de uniones atornilladas. Los conectores usados para las uniones son pernos galvanizados ASTM A325. Son de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y fluctúan hasta 3,5" de largo. Se usó cera de abeja como lubricante para reducir o eliminar el raspado junto con el método de tensionamiento "vuelta de tuerca".

El costo inicial del galvanizado del Puente Stearns Bayou fue de US\$8.750. El cálculo comparable de pintura era de US\$5.500. La licitación para la alternativa de pintura no incluía preparación de la superficie. Se calcula que, a la fecha del trabajo, esto habría agregado US\$15 a US\$20 por tonelada al costo de la pintura. Esto hacía que las alternativas de galvanizado y pintura fueran casi idénticas en el costo inicial.

Cuando se revisó en abril de 1986, veinte años después de que fuera puesto en servicio, las vigas y diafragmas aún mostraban brillo y ausencia de moho en todas las superficies expuestas. Los espesores de los revestimientos fluctuaban de 3,0 milipulgadas a 5,5 milipulgadas con un promedio de 4,4 milipulgadas, aún muy por encima de lo que se especificó originalmente. El revestimiento mínimo de los atenuadores de los rodamientos era de 3,5 milipulgadas y los pasamanos tenían un grosor mínimo de revestimiento de 2,0 milipulgadas. Sobre la base de la información expuesta, la vida restante esperada del revestimiento del acero del puente era, a la fecha de la inspección, de 66 años; el cálculo correspondiente de vida restante del revestimiento de los pasamanos era de 44 años. La vida total esperada del revestimiento del acero del puente era de 86 años y para el pasamanos, de 64 años.

Desde la construcción del Puente Lizotte y el Puente Stearns-Bayou, se han construido en Estados Unidos y Canadá cientos de puentes de acero que hacen un similar uso extensivo del galvanizado como protección contra la corrosión. El galvanizado es ahora considerado un método demostrado y eficaz en términos de costo de protección contra la corrosión para los puentes de acero.



Puente Lincoln
Avenue, Michigan

Puente Lincoln Avenue – Michigan

Inaugurado en octubre de 1977, es una estructura de 3 vías y 6 tramos que mide 49,5 pies de baranda a baranda y 356 pies de largo. Todo el tablestacado y los pilotes tubulares usados en la construcción del puente fueron galvanizados. Galvanizar las 160.000 libras de pilotes tubulares ahorró un 75% del costo de la protección de los pilotes de concreto.



Interestatal I-69,
Michigan

Interestatal 69 – Michigan

Construido en 1960 y diseñado para evaluar ocho sistemas distintos de revestimiento de puentes, este puente interestatal de 4 pistas y 4 tramos fue construido con acero ASTM A7. La mitad del tramo sur poniente está galvanizado. Durante una inspección veinte años después de la construcción, el grosor promedio de revestimiento era entre 8 y 9 milipulgadas. Algunas secciones tenían un grosor de hasta 11 milipulgadas. Sobre la base de la inspección del Departamento de Transporte de Michigan, la vida prevista del revestimiento galvanizado es de más de cuarenta años.

Puente sobre el Canal Hood – Washington

Un ejemplo más reciente en que se ha usado el galvanizado para dar protección contra la corrosión a largo plazo para un puente de acero es el Puente Flotante sobre el Canal Hood de 7.000 pies, construido en 1983 con los auspicios del Departamento de Transporte del Estado de Washington. Cada tramo de elevación tiene aproximadamente 104 pies de largo y 75 pies de ancho. El puente en Puget Sound, Seattle, está construido con vigas de palastro soldadas y vigas transversales de acero de alta resistencia.



Puente sobre Canal Hood,
Estado de Washington

Se consideraron varias opciones de protección contra la corrosión para las 450 toneladas de acero estructural usado en este puente. Las opciones consideradas incluían pintura, metalizado en zinc y un sistema doble. Se aceptó el galvanizado en lugar del metalizado porque se encontró que el galvanizado era un medio menos caro de depositar zinc sobre el acero; las instalaciones de galvanizado eran localmente disponibles, las vigas de palastro, las vigas transversales, los montantes de refuerzo y las escuadras de ensamble tenían muchas áreas que eran inaccesibles para el metalizado y se encontró que la unión metalúrgica creada por el proceso de galvanizado daba mayor protección contra el daño y la abrasión.

Sobre la base de la experiencia anterior, los funcionarios estatales concluyeron que un sistema de 3 capas de pintura habría requerido repintar cada ocho a doce años y que aparecería moho en un nivel de 5% a 15% entre seis a ocho años después de cada aplicación. Determinaron además que un sistema doble consistente en 2 capas de pintura sobre el galvanizado duraría toda la vida de diseño del puente. Para propósitos de un análisis económico, los funcionarios estatales supusieron

que el sistema doble requeriría repintar cada 24 años por razones estrictamente estéticas. Los funcionarios estatales realizaron un análisis del valor actualizado del sistema de 3 capas de pintura y del sistema de galvanizado doble a la vida de diseño del puente. Las presunciones hechas durante este análisis incluyeron una tasa de inflación promedio anual de 6% y una tasa de interés anual promedio de 10%. Además, supusieron que la opción de las 3 capas de pintura requeriría repintar cada doce años. La Figura 17 indica los resultados del análisis económico basado en la Práctica Recomendada para evaluación económica por la Asociación Nacional de Ingenieros de Corrosión (NACE-RP-02-72).

Sobre la base de este análisis, el sistema doble de galvanizado ahorrará \$8.966.250 de dólares nominales sobre la alternativa “sólo pintura” de la vida de diseño del puente. El sistema doble de galvanizado ahorrará \$92.700 de dólares constantes de 1983n sobre la alternativa “sólo pintura”. Los ingenieros eligieron implementar el sistema de galvanizado doble en el Puente Flotante del Canal Hood. Debido a que el puente se encuentra en un ambiente marino muy duro, el Departamento de Transporte de Washington requirió protección contra la corrosión a largo plazo. Los ingenieros luego declararon que la vieja estructura debía ser repintada cada ocho a diez años y estos estudios indicaron que el tramo debería estar relativamente libre de mantenimiento durante aproximadamente 75 años, con gran ahorro para los contribuyentes de los elevados costos de mantenimiento.

FIGURA 17

Departamento de Transporte del Estado de Washington – Puente sobre el Canal Hood

Determinaciones del Costo por Ciclo de Vida				
Año	Costos de Galvanizado + Pintura		Costos sólo Pintura	
	Costo Reajustado	Valor Actual	Costo Reajustado	Valor Actual
0 (1983)	680	680	380	380
12	0	0	764	244
24	800	81	1.539	156
36			3.096	100
48	3.279	34	6.230	64
60	0	0	12.535	41
Total	\$ 4.759/ton	\$ 795/ton	\$ 24.545/ton	\$ 985/ton

Fuente: Junta de Investigación de Transporte, Investigación del Consejo Nacional de Investigación patrocinada por AASHTO y FHWA

Puentes del Condado Ashtabula – Ohio

En respuesta a las regulaciones EPA acerca de la aplicación y eliminación de pintura, el Departamento de Transporte de Ohio ha especificado el galvanizado para la protección contra la corrosión de varios puentes nuevos del condado. Las cuadrillas de construcción del condado completaron el trabajo en el primero de estos puentes, una armadura rebajada Warren, en Mayo de 1991. Esta estructura tiene 108 pies de largo y 24 pies de ancho. Los ingenieros del condado están proyectando una de vida de servicio libre de mantenimiento de 60 años del revestimiento galvanizado. Un segundo puente galvanizado más pequeño se completó durante el verano de 1991, y está programada la construcción de dos más en 1991.



Puente del Camino
Montgomery, Condado de
Ashtabula, Ohio

Estos puentes fueron diseñados con equipos CADD que permitieron a los ingenieros trazar en papel los diseños para las veinte variaciones distintas de escuadras de ensamble. Los ingenieros de puentes señalaron que la selección del galvanizado para toda la estructura de un puente era una progresión natural de exitosas experiencias pasadas al utilizar componentes galvanizados en puentes tales como tableros y elementos de armadura.

Se usaron pernos galvanizados de alta resistencia ASTM A325 para conseguir conexiones tipo fricción con todos los pernos con torques a 550 pies - libras para cumplir las especificaciones. El puente está fabricado con acero laminado en caliente y el revestimiento galvanizado excede las especificaciones ASTM A123.

El Condado Ashtabula es sólo uno de los miles de condados en Estados Unidos que requieren extensiva rehabilitación de puentes y construcción de nuevos puentes.

Los ingenieros del Departamento de Transporte de Ohio creen que es más importante que nunca especificar el sistema anticorrosivo más eficaz en términos de costo y de mínimo mantenimiento que se encuentre disponible.



Puente del Condado Stark,
Sparta Este, Ohio

Puente del Condado Stark - Ohio

En 1971, se le otorgó el Premio al Mérito de Construcción en Acero del Instituto Estadounidense al Puente de la calle Walnut-Farber en Sparta Este, Ohio. El puente consta de dos tramos de 60 pies y está a 12 pies sobre una elevación normal de agua. El ingeniero del condado y diseñador de puentes Richard La Rocco afirmó: “La economía definitivamente radica en el galvanizado. El galvanizado y la pintura cuestan cada una más o menos lo mismo, pero un puente pintado por lo general es recubierto cada 5 años. Esto significa que un puente tendría que ser repintado dieciséis veces, en tanto que con el galvanizado, no tengo que hacer nada por los próximos ochenta años”.

Puente de la Calle Pleasant – Connecticut

A mediados de la década del 60, la preocupación que había por el puente existente de dos tramos de armadura rebajada que estaba muy corroído y una represa cercana finalmente logró un puente de reemplazo. En 1967 se completaron los diseños y los planos para el nuevo puente de dos tramos de vigas laminadas compuestas de 125 pies. Cada tramo tenía cuatro vigas de zapata ancha de 36 pulgadas de profundidad, 62,8 pies de largo con dos diafragmas intermedios y dos diafragmas extremos compuestos de canales de 15 pulgadas.

Las discusiones entre los funcionarios de la ciudad y los ingenieros de puentes del estado garantizaron la inclusión de un sistema de revestimiento alternativo para este proyecto. El sistema de revestimiento normal consistía en resinas alkyd a base de aceite, pigmentadas de plomo y el sistema de revestimiento alternativo propuesta era galvanizado por inmersión en caliente.

Surgió la interrogante de los conectores de corte de los espárragos de soldar en el acero galvanizado. Consecuentemente, se enviaron al laboratorio del Departamento de Transporte de Connecticut muestras de pernos soldados en placas galvanizadas y fueron controladas satisfactoriamente.

En enero de 1969, se abrieron las licitaciones del proyecto y la diferencia en precio entre los dos sistemas de revestimiento fue de sólo US\$5.000. La elección de los funcionarios de la ciudad fue galvanizar el acero del puente en lugar de pintar debido a la economía en el mantenimiento. Se realizó una inspección del puente en junio de 1988 que informó que el revestimiento galvanizado estaba en excelentes condiciones. En conclusión, el revestimiento galvanizado ha rendido bien y se espera que dure veinte años más antes de que se necesite alguna acción protectora remedial.

Refuerzo Galvanizado para el Concreto

Se usa acero de refuerzo (“barra de refuerzo”) para darle resistencia a la tensión al concreto. La creación de una fuerte unión entre la barra de refuerzo empotrado y el concreto hará que el concreto y la barra de refuerzo funcionen como una unidad homogénea. Se ha usado la barra de refuerzo en losas de puentes de concreto, vigas, pilares y otros componentes estructurales de concreto durante muchas décadas. La corrosión de la barra de refuerzo puede ser un problema extremadamente serio. Cuando la barra de refuerzo se corroe, se forman fuerzas de tensión que hacen que el concreto se agriete, se deslamine y por último se descascare. La pérdida seccional de la barra de refuerzo produce una reducción en la fuerza de adhesión entre el acero y el concreto con una correspondiente pérdida de rigidez y capacidad de llevar carga de la estructura. La corrosión del acero pretensado puede llevar a la falla de la unión entre el concreto y el acero y causar la pérdida del efecto pretensionante.

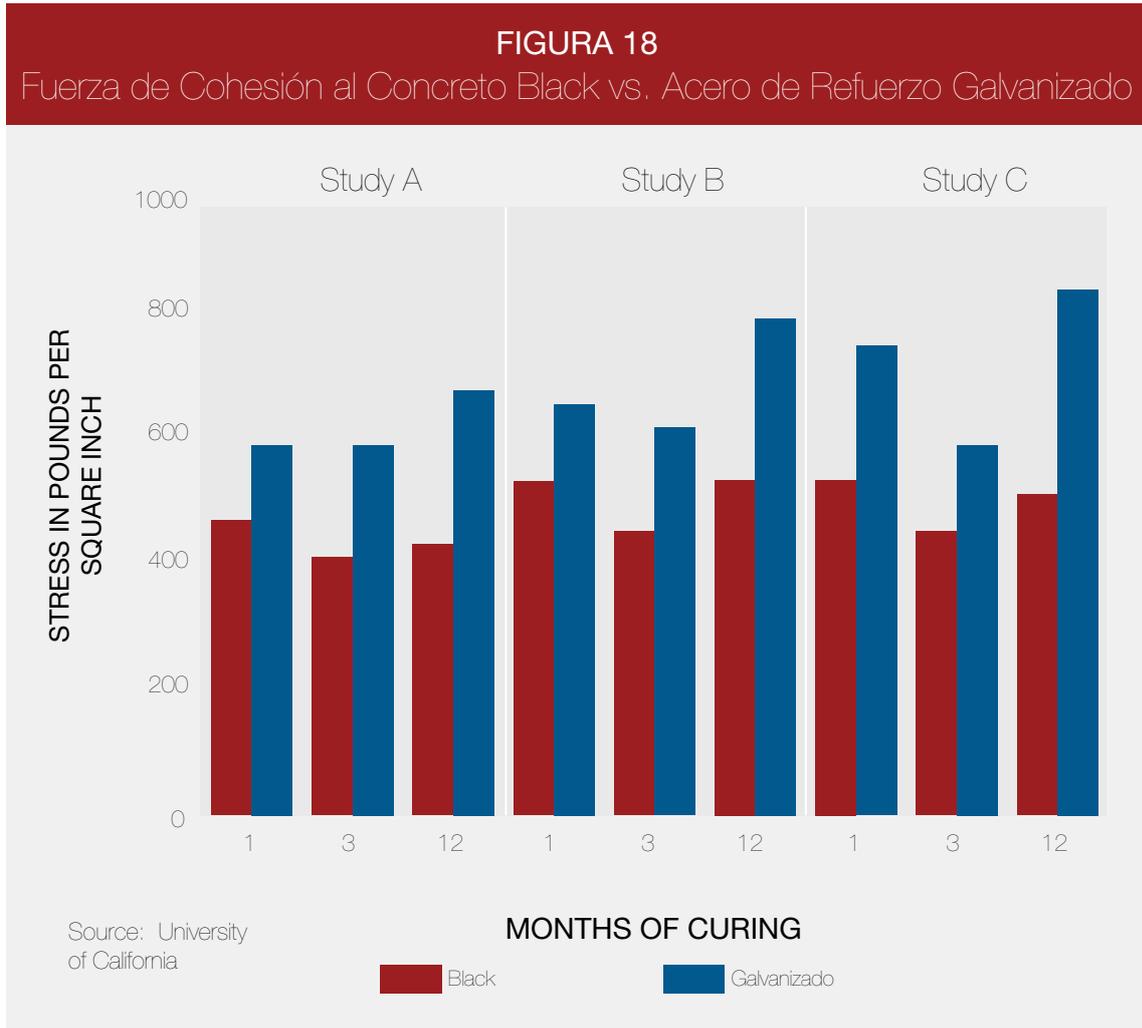
Se pueden tomar medidas para prevenir, aminorar y/o reducir la corrosión del acero empotrado en concreto. Estas medidas incluyen usar áridos finos, tipo y composición del cemento, proporción de agua y cemento, mano de obra, calidad del agua, drenaje, espesor de la cubierta, protección catódica, membrana impermeable, aditivos químicos y revestimiento de la barra de refuerzo. Generalmente se acepta que la medida más eficaz para reducir la corrosión de los elementos de acero empotrados sea impedir que la humedad llegue a estar en contacto con el acero.

El concreto es un material extremadamente complejo. El uso de diversos tipos de concreto en la construcción ha hecho de las propiedades químicas, físicas y mecánicas del concreto y su relación con los metales un tema de constante estudio. Se puede galvanizar la barra de refuerzo para retardar efectivamente la corrosión. **El uso de barras de refuerzo galvanizado como sistema de protección de la losa de los puentes es aceptable (Código del Reglamento Federal 23CFR 650.609) y favorecido por la FHWA.** El Sub-comité AASHTO-AGC-ARTBA para Nuevos Materiales de Carreteras - Grupo de Estudio 32 ha apoyado la barra de refuerzo galvanizado para nuevas construcciones y para reemplazar parte de construcciones existentes.

El galvanizado protege la barra de refuerzo proporcionando tanto una protección de barrera como una protección catódica para el acero de refuerzo. Como los productos de corrosión del zinc son mucho menos voluminosos que los del acero, se elimina el ciclo de agrietamiento, la delaminación y el descascaramiento o, por lo menos, los reduce. La información de laboratorio apoya y los resultados de los controles en terreno confirman que las estructuras de concreto armado expuestas a ambientes agresivos tienen una vida de servicio significativamente más larga cuando se usa barra de refuerzo galvanizado en oposición al acero desnudo u otros revestimientos de barra de refuerzo.

Taywood Engineering de Inglaterra realizó controles en terreno de barra de refuerzos cubiertos con resina epóxica para determinar si estas barras se dañaban durante la construcción y las posibles consecuencias de ese daño. Taywood informó que “los vibradores de atizadores provocaban serios daños al revestimiento de resina epóxica; la colocación de concreto sobre los barra de refuerzos recubiertos con resina epóxica daña el revestimiento y doblar, manipular y transportar las barra de refuerzos recubiertos con resina epóxica pueden causar daño al revestimiento”. Una vez que el revestimiento de resina epóxica está comprometido, no hay ninguna protección contra la corrosión y el deterioro final del concreto.

La fuerza de adhesión entre la barra de refuerzo galvanizada y el concreto es excelente. Si bien se puede demorar un poco más en desarrollar que la adhesión entre la barra de refuerzo desnuda y el concreto, la adhesión entre la barra de refuerzo galvanizada y el concreto es, de acuerdo a los controles en terreno y en laboratorio, mayor que la adhesión entre la barra de refuerzo desnuda y el concreto en un margen considerable. (Vea la Figura 18).



Algunos informes de investigaciones recientemente publicados y nuevos códigos del Instituto Estadounidense del Concreto indican que la barra de refuerzo recubierta de resina epóxica tiene una fuerza de adhesión significativamente menor que la barra de refuerzo desnuda. En algunos casos, la disminución de la fuerza de adhesión es de hasta cincuenta por ciento. Toda la función de la barra de refuerzo en el concreto desaparece si no se desarrolla una adecuada fuerza de adhesión entre el concreto y la barra de refuerzo. La Figura 19 presenta una comparación entre refuerzos galvanizados y refuerzos recubiertos con resina epóxica. Demuestra que la barra de refuerzo es un producto significativamente más fácil de usar y más confiable.

FIGURA 19

Comparación de Refuerzos Recubiertos con Resina epóxica y Refuerzos Galvanizados por Inmersión en Caliente

Comentario	Revestimiento de Resina epóxica	Galvanizado por inmersión en caliente
1. Primer uso	1977	Principios 1900
2. Requiere cuidado en la manipulación	Sí	No
3. Puede ser arrastrado por el suelo	No	Sí
4. DEBE ser retocado	Sí	No
5. Tiene protección de barrera	Sí	Sí
6. Tiene protección catódica	No	Sí
7. Fuerza de adhesión con concreto	Pobre	Excelente
8. Resistencia UV	Cuestionable	Excelente
9. Aplicación después de fabricación	Difícil	Simple
10. Ampliamente usado	Sí	Sí
11. Costo	Comparable*	Comparable
12. Tiempo ejecución	3 semanas	1-3 días
13. Disponibilidad de revestimiento para otros elementos empotrados	Escasa	Fácilmente disponible
14. Cantidad de acero requerido	Hasta 20% adicional**	No se requiere adicional

*Los precios del resina epóxica varía enormemente en todo Estados Unidos y Canadá y se deben esperar grandes variaciones.
 **Por Código de Instituto Norteamericano de Concreto 318-12.2.4.3

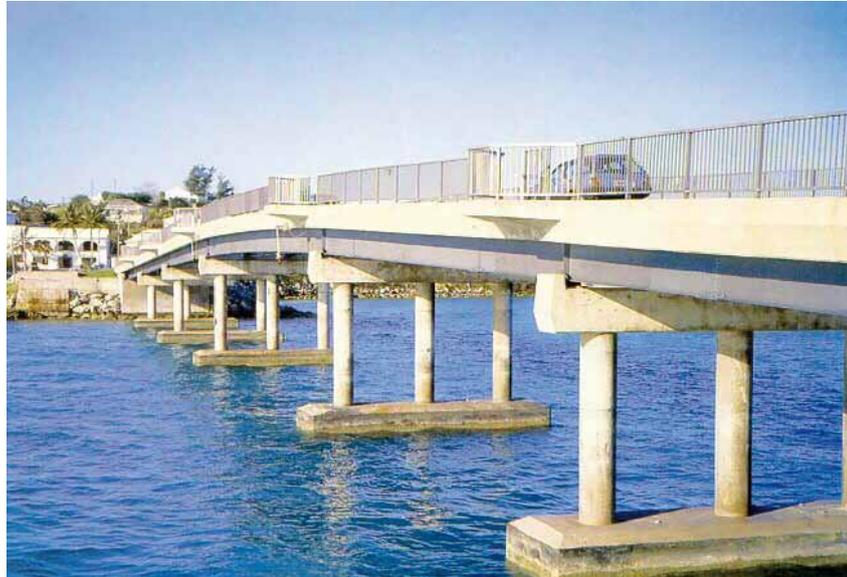
Debido a la disminución de la fuerza de adhesión de la barra de refuerzo recubierta con resina epóxica, si se elige la barra de refuerzo recubierta de resina epóxica, puede que haya que comprar hasta 20% más de refuerzo, de acuerdo con el Código de Instituto Norteamericano de Concreto 318-12.2.4.3.

Queda bien establecido el sobresaliente rendimiento en servicio del acero galvanizado empotrado en elementos de puente de concreto bajo condiciones altamente corrosivas. La barra de refuerzo galvanizado ha rendido exitosamente en las aplicaciones de concreto en todo el mundo desde 1933. Los siguientes son ejemplos de diversas áreas geográficas.

Bermudas

Debido a las condiciones altamente corrosivas de la isla de Bermudas, el Ministerio de Obras e Ingeniería ha usado barras de refuerzo galvanizadas en de concreto de puentes desde principios de 1900. Los puentes de Bermudas han entregado servicio libre de problemas durante más de medio siglo. Después de más de treinta años de vida útil, el examen entrega una vida útil proyectada adicional de más de 80 años. La Figura 20 muestra los resultados de un examen de barras de refuerzo galvanizadas tomado de puentes y muelles de la isla de

Bermudas. Un nivel de cloruro concreto de entre 1,1 y 1,3 libras de cloruro por yarda cúbica de concreto es el nivel umbral al cual ocurre la corrosión del acero desnudo. La figura indica el excelente rendimiento del revestimiento galvanizado a pesar de los niveles de cloruro, en algunos casos, entre nueve y diez veces el nivel de umbral de corrosión para la barra de refuerzo de acero desnudo.



Los 12 puentes de Bermudas utilizan exclusivamente barras de refuerzo galvanizadas

El Ministerio de Obras e Ingeniería (MOI) afirma que “siguen especificando barras de refuerzo galvanizado a favor de otros sistemas de protección, a saber revestimiento de resina epóxica, debido a la resistencia superior del galvanizado al daño durante la manipulación de embarque, almacenamiento y terreno. MOI concluye que “el refuerzo galvanizado puede extender significativamente la vida de las estructuras de concreto reforzado”

Fuerza de Adhesión y Barra de Refuerzo Recubierta con Resina epóxica

La preocupación acerca de si las barras de refuerzo recubiertas con resina epóxica proporcionan una suficiente adhesión con el concreto y su capacidad para detener la corrosión de las barras de refuerzo ha impulsado al Departamento de Transportes de Florida a re-evaluar el uso de barras de refuerzo recubiertas con resina epóxica en las subestructuras. El Departamento de Transportes de Florida informó en Agosto de 1988 que había encontrado “significativos signos de corrosión” en tres puentes del Cayo de Florida y señales de que la corrosión había comenzado en un cuarto puente que contenía barras de refuerzo recubiertas con resina epóxica. El Departamento de Transportes de Florida ha decidido además especificar el revestimiento después de la fabricación para el Puente Dodge Island de Miami.

El Departamento de Transportes de Florida informó: “En la práctica el revestimiento está sometido a defectos de producción y daño durante la construcción a pesar de los mejores esfuerzos de inspección. Además existen complicaciones cuando se fabrica la barra de refuerzo revestida. La fabricación consiste en doblar mecánicamente las barras de refuerzo en varias formas después del revestimiento.”

“Los estudios han demostrado que el revestimiento se despega durante la fabricación. Este despegamiento, junto con otros daños, permite que el ion de cloruro ataque el

acero subyacente. Los controles de laboratorio e inspecciones en terreno elementos indican que la barra de refuerzo recubierta con resina epóxica en la aplicación de una subestructura marina es más susceptible de corrosión que la barra desnuda. El metal limpio y brillante que subyace, que no se hace neutro, como lo hace el acero desnudo cuando está en contacto con el cemento, es altamente susceptible a la corrosión.”

“La barra de refuerzo recubierta con resina epóxica se ha deteriorado más rápidamente que el acero desnudo. Si bien el acero desnudo se corroe activamente en ambientes marinos (12-15 años), la barra de refuerzo recubierta con resina epóxica ha comenzado a corroerse mucho antes en estas estructuras (siete a nueve años).

El Instituto Norteamericano de Concreto (ACI) informa: Basándose en 21 controles de uniones con barras de refuerzo recubiertas con resina epóxica, ACI concluye que “el revestimiento de resina epóxica reducía significativamente la fuerza de adhesión de las barras de refuerzo. La cantidad de reducción dependía del modo de la falla: arranque o división”.

“Si ocurría una falla por división, la fuerza de adherencia de las barras revestidas de resina epóxica era de aproximadamente 65% de la fuerza de adhesión de las barras no recubiertas. Si ocurría una falla de arranque, la fuerza de adhesión era de aproximadamente 85% de la de las barras no recubiertas. La reducción de la fuerza de adhesión era independiente del tamaño de la barra y la resistencia del concreto. El año y el espaciamiento de las grietas del concreto aumentaban significativamente con el revestimiento de resina epóxica”.

Se formularon nuevos requisitos para la longitud del desarrollo de tensión de las barras revestidas con resina epóxica para el Código de Construcción ACI 1989. La barra recubierta con resina epóxica debe aumentarse en longitud en 50% cuando la cubierta de concreto es menor de tres diámetros de la barra o cuando el espaciamiento entre las barras es menor de seis diámetros de barra. Del mismo modo, las longitudes de las tensiones de las uniones de solapa para las barras recubiertas con resina epóxica deben aumentarse cuando se usan barras de refuerzo recubiertas con resina epóxica.

El Centro de Investigación Técnica de Finlandia concluyó: “Los resultados de los controles revelaron que algunos revestimientos epóxicos pueden aumentar la corrosión. Todos los revestimientos epóxicos estudiados en estos controles fueron permeables al agua y a los iones de cloruro. La mejor manera de impedir que se agrietara el revestimiento debido a los dobleces resultó ser doblar las barras antes del revestimiento. Normalmente las barras se doblan después del revestimiento y el revestimiento tiende a agrietarse. Mientras más delgado es el revestimiento, más flexible se pone. Por otra parte, mientras más grueso es el revestimiento, es mejor la protección contra la corrosión entregada. Por una parte, el revestimiento debe ser lo más delgado posible y por otra, lo más grueso posible. Las propiedades adhesivas de las barras recubiertas fueron un tanto más pobres que las de las barras no recubiertas. Mientras más grueso es el revestimiento, mayor es la reducción de la adhesión”.

El Departamento de Transportes de Pennsylvania informa: “Debe tomarse nota de que la mayoría de las barras cubiertas con resina epóxica mostraban muy poca adhesión con el concreto circundante. Las barras con revestimiento epóxico eran las únicas barras de refuerzo que carecían de adhesión con el concreto”. Se llegó a esta conclusión después de revisar un total de 69 puentes en todo el estado con métodos de control visuales y físicos. Además, el Departamento de Transportes del estado encontró que “siete de 12 barras con recubrimiento epóxico controladas estaban fuera de las especificaciones” para el espesor del revestimiento epóxico.

FIGURA 20

Resumen del Estudio de la Asociación de Cemento de Portal de los Puentes y Muelles de Bermudas, Abril 1978

	Edad en años	Cloruro en el Concreto en el nivel del Acero libras/yardas ³ (kg/m ³)	Espesor Promedio de la Capa de Corrosión Milipulgadas (µm)	% de Revestimiento Remanente
Saint George (SG 17)	7	5,0 (3,0)	0,1 (2,54)	98
Club de Yates de Bermudas (BYC 3)	8	6,1 (3,7)	0,0 (0,00)	100
Hamilton (H22)	10	3,2 (1,9)	0,2 (5,08)	95
Hamilton (H26)	10	6,0 (3,6)	0,3 (7,62)	96
Saint George (SG 10)	10	7,7 (4,6)	0,2 (5,08)	99
Saint George (SG 9)	12	10,7 (6,4)	0,5 (12,7)	92
Longbird (LB 20)	23	7,3 (4,4)	0,2 (5,08)	98

Puente Longbird

El Puente Longbird de Bermudas, construido en 1948, es el primer puente con losa construido con barra de reforzamiento galvanizada. El puente, construido por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, incorpora barras de refuerzo galvanizadas en el estribo y la losa del puente. El puente consta de un solo tramo de 18 pies de largo por 30 pies de ancho. La losa de fundación superior de acero reforzado está compuesta de tres capas. Las barras superiores e inferiores son barras de refuerzo longitudinales #4 con centros en zigzag de dieciséis pulgadas. La barra del mismo tamaño se usa en la capa intermedia excepto que las barras están a centros de ocho pulgadas. La losa de fundación inferior de refuerzo está construida del mismo modo.

La especificación original incluía una cubierta de concreto claro de dos pulgadas sobre el refuerzo superior. El estribo incorporaba barras #6.

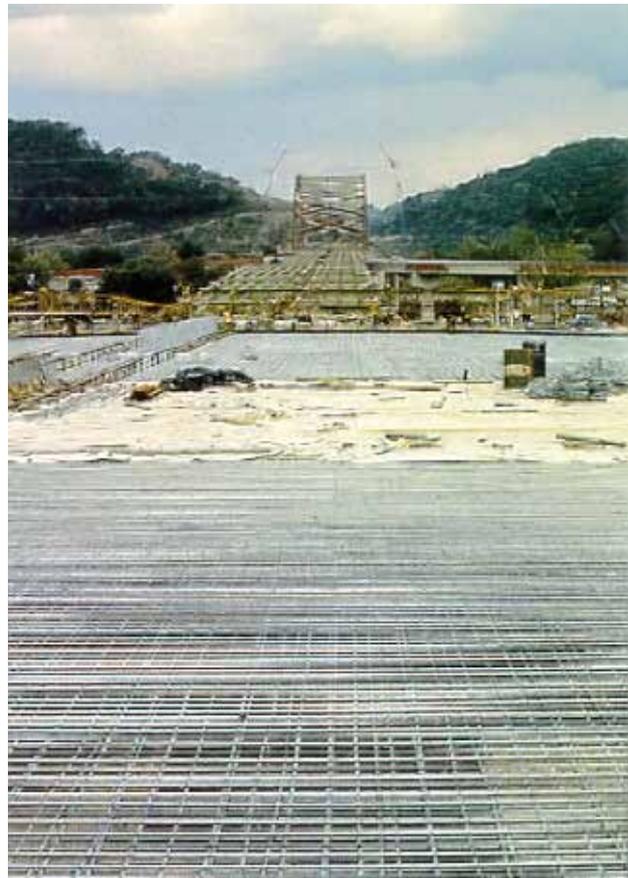
El estribo del Puente Longbird fue revisado veintitrés años después de que fue puesto en funcionamiento y se encontró que estaba en excelentes condiciones. En esta oportunidad, se tomaron testigos de perforación de dos y cuatro pulgadas de diámetro del estribo en distintos niveles en relación con las mareas. Los análisis de cloruro de estos testigos demostraron que las barras de refuerzo galvanizadas del estribo se encontraban en un ambiente altamente corrosivo para el acero no recubierto. Los niveles de cloruro de alrededor de ocho libras por yarda cúbica fueron medidos en el nivel del acero alrededor de cuatro pies sobre la marea promedio. Bajo la exposición prolongada y severa sugerida por los niveles de cloruro medidos, el valor promedio del grosor de la capa de corrosión en la barra de refuerzo galvanizada examinada fue de sólo 0,2 milipulgadas. Al revestimiento aún le quedaba una capa substancial externa de zinc puro sobre las capas intermetálicas formadas por el proceso de galvanizado.

Después de veintitrés años de funcionamiento bajo condiciones altamente corrosivas, los productos de corrosión medidos en la barra de refuerzo tomados del estribo alcanzaban sólo al 2-3% del grosor original del revestimiento. No había ninguna evidencia de deterioro en estas áreas del concreto.

Un examen de la losa del Puente Longbird después de veintidós años de funcionamiento también mostraba que estaba en excelentes condiciones. Los testigos tomados mostraban niveles de cloruro de alrededor de 1,7 libras por yarda cúbica, aún muy por encima del nivel umbral de corrosión de la barra de refuerzo desnuda. La condición del revestimiento galvanizado de la barra de refuerzo presente en estos testigos era similar a la de la barra de refuerzo encontrada en los testigos del estribo.

Pennsylvania

La barra de refuerzo galvanizada, por supuesto, ha sido usada en cientos de puentes carreteros importantes de Estados Unidos y otras partes de Norteamérica. Un ejemplo es el Puente Athens – Puente LR1097-2 sobre el río Chemung en la Ruta 220 ubicada en el Condado Bradford, en el sur de Athens, Pennsylvania. Construido en 1973, el puente tiene once tramos y cuatro pistas divididas. Todo el acero de refuerzo usado en la losa del puente está galvanizado.



Carretera Expresa sobre el Río Schuylkill, Filadelfia, PA.

400 toneladas de barras de refuerzo galvanizadas protegen la losa de este puente

Se tomaron testigos de concreto ocho años después de que se construyó el puente para determinar el rendimiento de la barra de refuerzo galvanizada. Se encontraron niveles de cloruro muy altos en el concreto en la losa de fundación superior de la barra de refuerzo que fluctuaban entre 1,8 y 7,98 libras por yarda cúbica de concreto. En todos los casos, la barra de refuerzo galvanizada no mostraba ningún signo de corrosión. Aun cuando la cubierta de concreto era delgada, el deterioro del revestimiento era menor y el revestimiento que quedaba era de 10 milipulgadas de espesor (el doble del grosor de revestimiento exigido por la Especificación de la Norma ASTM A767); el examen no indicaba ningún signo de corrosión en el acero subyacente.

En julio de 1988, la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos junto con el Departamento de Transportes del estado de Pennsylvania (PennDOT) evaluó los sistemas de protección de la losa del puente usados en Pennsylvania y publicó un informe FHWA-PA-88-001+85-17. Se evaluaron seis tipos de sistemas de protección contra la corrosión de losas de puentes: acero de refuerzo galvanizado, acero de refuerzo revestido con resina epóxica, membranas impermeables, concreto modificado de látex, concreto modificado de látex sobre losas contaminadas con sales y concreto de bajo asentamiento. Un total de 148 losas recibieron inspección visual solamente. 21 losas adicionales recibieron un análisis más completo incluyendo toma de testigos de concreto y análisis. Todas las losas de este estudio se construyeron entre 1973 y 1985. Tres de las 21 losas que fueron sometidas a análisis más profundos eran losas que usaban barras de refuerzo galvanizadas. **Al examinar los testigos tomados de estos puentes el estudio FHWA/PennDOT encontró que la barra de refuerzo galvanizada estaba en excelentes condiciones.** El grosor promedio que quedaba del revestimiento galvanizado de las barras de refuerzo muestreadas era de 12,2 milipulgadas. A todas las barras galvanizadas controladas les quedaba un revestimiento muy superior al mínimo especificado por ASTM A767 para revestimientos de barras.

El estudio FHWA/PennDOT señalaba "...la mayoría de las barras de refuerzo con revestimiento de resina epóxica mostraban muy poca adhesión con el concreto circundante de los testigos. Las barras revestidas de resina epóxica fueron las únicas barras de refuerzo que carecían de adhesión con el concreto..."

Las aplicaciones presentadas en esta sección están orientadas a las losas y estribos de los puentes. Hay numerosas otros componentes de concreto de los puentes que comúnmente contienen acero galvanizado. Éstos incluyen pilares de concreto, vigas tubulares, vigas longitudinales o maestras de concreto, sistemas de pisos de parrilla de acero de puentes, moldes de acero de losas de puentes que se dejan en terreno, estribos, muros aleros y concreto pretensado.



Asociación Latinoamericana de Zinc - LATIZA
Av. Javier Prado Este 897 Of. 52 San Isidro, Lima 27 – Perú
Telefax: + 51 1 440-1530
www.latiza.com
dvela@latiza.com / ebarbaran@latiza.com