

Biografía de la autora

Catherine Houska, CSI (Construction Specifications Institute), es gerente ejecutiva de desarrollo en TMR Consulting. Ingeniero metalúrgica especializada en la especificación, selección y análisis de falla del metal arquitectónico. Es la autora de más de 45 publicaciones, y puede ser contactada vía correo electrónico en chouska@tmr-inc.com.

Ventaja ecológica del acero inoxidable

Introducción

El acero inoxidable es uno de los metales ambientalmente amigables más comúnmente usados en la construcción. Se usa para ayudar a generar energía, ahorrar energía, proveer aire limpio, conservar agua, evitar productos químicos peligrosos, y limitar la contaminación del medio ambiente y los rellenos sanitarios a causa del metal. Si se seleccionan correctamente el acero inoxidable y el acabado, y se les da el mantenimiento adecuado, permanecerán atractivos durante toda la vida de la construcción incluso si esta se prolonga por cientos de años. Aún después de muchos años de descuido, el acero inoxidable puede frecuentemente restaurarse a su apariencia original o puede ser reutilizado en otras aplicaciones. Muchas de las características que determinan si un metal es "verde" están relacionadas directa o indirectamente con la resistencia a la corrosión. Los altos valores de la chatarra de acero inoxidable y los muy bajos índices de corrosión aseguran altos porcentajes de reciclaje después de una larga vida de servicio. Los recubrimientos que desprenden gases o que adversamente afectan la capacidad de reciclar metal son innecesarios. La larga duración del acero inoxidable maximiza la vida de otros materiales, previniendo fallas prematuras de los sistemas diseñados con piedra, mampostería o madera. El conocimiento y uso de la gran cantidad de aplicaciones y ventajas del acero inoxidable pueden contribuir a crear un mundo más "verde".

¿Qué hace "verde" al acero inoxidable?

El interés en las construcciones "verdes" ha aumentado significativamente poniendo énfasis en la evaluación de las construcciones completas, así como en cada material por separado. El LEED^{MR} Green Building Rating System (Sistema de Evaluación de Construcción Ecológica) y los sistemas de evaluación de diversos productos, plantean muchas preguntas que están relacionadas directa o indirectamente con la elección del metal. Estas incluyen el contenido reciclado, la posibilidad de volver a usar el producto, el impacto en el consumo de agua y energía, la probabilidad de emisiones del producto o del recubrimiento, el impacto en la calidad del aire interior, el confort térmico, la durabilidad, los requerimientos de mantenimiento y el impacto en la luz interior.

De manera ideal, el diseñador necesita una base maestra de datos totalmente cuantificados que proporcione el cálculo del impacto ambiental de todos los materiales de construcción en su ciclo de vida objetivo. Desafortunadamente, esa información no está disponible. Los datos disponibles de diferentes materiales a menudo no son

comparables directamente, y es importante plantear preguntas. La Tabla 1 sintetiza las preguntas y respuestas más comunes acerca de la cordialidad ambiental del acero inoxidable, las cuales se discuten más detalladamente en las siguientes secciones.

Tabla 1: Evaluación ambiental del acero inoxidable

¿Cuál es el contenido del reciclado?	60%*
¿Es 100% reciclable?	Si
¿Proporciona larga vida, reduciendo la frecuencia de mantenimiento y desecho eliminación?	Si
¿Hay contenido reciclado post-industrial y post-consumidor?	Si
¿Es desviado el desperdicio de construcción de los rellenos sanitarios (Alto valor de la chatarra y potencial de reuso)?	Si
¿Puede ser rescatado y reutilizado durante las renovaciones de la construcción?	Si
¿Es un material de baja emisión?(sin recubrimientos por lo tanto hay cero emisiones)	Si
¿Puede ayudar a mejorar la calidad del aire interior? (Sin compuestos orgánicos volátiles, ductos resistente a la corrosión con alta capacidad de limpieza)	Si
¿Ayuda a evitar el uso de materiales que son tóxicos para el medio ambiente? (barreras de termitas de larga duración, el escurrimiento no es tóxico para plantas o peces)	Si
¿Puede ahorrar energía? (pantallas solares y techados)	Si
¿Puede ayudar a generar energía? (paneles solares, centrales eléctricas)	Si
¿Puede conservar el agua? (tanques y tuberías para agua interiores y subterráneos resistentes a los temblores y a la corrosión)	Si
¿Los paneles reflexivos pueden agregar luz natural?	Si
¿Puede alargar la vida de otros materiales? (Piedra, mampostería, madera, otros metales de larga duración)	Si

*Así fue reportado por el Foro Internacional del Acero Inoxidable en el 2002. El índice puede haber disminuido debido a la reducida disponibilidad de chatarra.

Reciclado

Los índices reportados de reciclado están basados en el porcentaje de metal reciclado que se usa en el "colada" promedio de metal producido. Los datos del porcentaje de reciclado pueden ser difíciles de comparar. Por ejemplo, los índices publicados de reciclado para el aluminio son muy altos, porque se producen grandes cantidades de latas de aluminio, y estas latas pueden ser recicladas varias veces en un año. En comparación, el acero inoxidable está generalmente en uso por 20 o 30 años antes de ser reciclado. Aunque la chatarra de acero inoxidable debido a su valor, tiene un gran índice de recuperación, su larga vida de servicio y el rápido crecimiento histórico de la producción de acero inoxidable hacen imposible a las "coladas" de acero inoxidable tener un alto contenido reciclado. A los productores de acero inoxidable les gustaría tener "coladas" de 100% de chatarra pero no la hay disponible en cantidad suficiente. En el 2002, el Foro Internacional del Acero Inoxidable estimó que el contenido típico reciclado fue de alrededor del 60%. [1] El contenido reciclado probablemente ha disminuido, debido en parte a que el excedente del inventario de chatarra de Europa Oriental ya ha

sido reciclado. Es importante reconocer que el acero inoxidable es 100% reciclable y que el ciclaje no disminuye sin importar cuantas veces sea reciclado.

Al evaluar los metales, sería más significativo considerar la probabilidad de que una pieza de metal promedio será reciclada. Grandes extensiones de paneles de techado o de pared probablemente serán recicladas, pero un objeto más pequeño como por ejemplo una solera de puerta, canaleta, botaguas, o barandal corroídos quizás terminen en un relleno sanitario, si el valor de la chatarra no es alto. Si el metal merma debido a la corrosión, no puede ser reciclado. Algunos recubrimientos limitan o impiden el reciclado del metal base. La resistencia a la corrosión, el valor del metal chatarra, el tipo de aplicación, y la presencia y tipo de recubrimientos determinan si una pieza de metal promedio será reciclada. Los componentes del metal con una masa importante de metal perdida debido a la corrosión pueden tener un valor insignificante o nulo de chatarra. El acero inoxidable se usa para aplicaciones que son diseñadas para tener una larga vida, lo cual limita la frecuencia de refundido, pero los altos valores de la chatarra, la evitación de recubrimientos y el insignificante porcentaje de corrosión, aseguran que la mayoría del acero inoxidable empleado en la construcción será eventualmente reciclado.

La Corrosión y el Medio Ambiente

El gobierno de Estados Unidos determina el costo económico anual de la corrosión metálica sobre una base regular. El estudio más reciente, terminado en el 2001, determinó que el costo total directo de la corrosión fue de \$296 billones/año (dólares) y el costo indirecto fue de \$255.4 billones/año (dólares) para un total de \$551.4 billones/año (dólares). [3] De éstos, \$113.6 billones/año (dólares) fueron atribuidos al costo directo e indirecto de la corrosión del material de construcción. Este análisis no incluye ni la infraestructura ni la construcción industrial. Los autores estiman que por lo menos del 20 al 25% de las fallas de corrosión relacionadas con la construcción fueron evitables e indicaron que los números podrían ser más altos. Esto incluye fallas obvias tales como la perforación de panel prefabricado o techo o un barandal que se ha vuelto estructuralmente inseguro. Esta categoría podría también incluir el reemplazo de los componentes que se han vuelto estéticamente feos debido a la corrosión cuando la restauración no es posible o no es rentable.

El alto costo económico es una indicación del significativo costo ambiental asociado con los materiales seleccionados que no permanecerán atractivos y/o funcionales durante la vida del edificio o la estructura. En el diseño verde, el arquitecto debe considerar las siguientes cuestiones cuando seleccione los metales arquitectónicos:

- ¿El producto tendrá que ser reemplazado durante la vida probable del edificio?
- ¿Qué tan reciclable o reutilizable es el producto?
- Si un revestimiento es especificado, ¿La pérdida del revestimiento o el desprendimiento de gases al medio ambiente debido al desgaste o al astillamiento serán una preocupación?
- ¿Algún recubrimiento limitará o impedirá el reciclado del metal de base?
- ¿Cuánto metal ingresará al medio ambiente debido a la corrosión? ¿Es peligroso el producto de la corrosión o es la apariencia corroída estéticamente no atractiva?
- Considerando la pérdida de metal debido a la corrosión, ¿Cuánto no será reciclable y tendrá que ser reemplazado con la extracción de nuevo metal?

- ¿Cuánto mantenimiento será requerido y son los productos de limpieza potencialmente peligrosos?

La información comparativa de la corrosión atmosférica para las diferentes aleaciones de metal puede ser utilizada para predecir la vida de servicio de un componente, los requerimientos de mantenimiento, y la pérdida de metal al medio ambiente. Esta información puede ser encontrada en artículos previos de Construction Specifier y una publicación del Instituto del Níquel escrita por la autora. [3, 4, 5] Los mapas de corrosión generalizada han sido desarrollados basados en esa prueba de corrosión atmosférica, los cuales indican que la corrosividad relativa de las diferentes ubicaciones y pueden ayudar guiar la decisión de la selección del metal. Una fuente de estos mapas es el sitio web <http://corrosion-doctors.org>. Generalmente, las áreas con particularmente lluvia ácida, altos niveles de particulado en el aire, niveles más altos de óxidos nitrosos y de azufre y ozono, y la exposición a sal costera y para deshielo son los más corrosivos y requiere metales más resistentes a la corrosión.

Cuando la cordialidad ambiental es una preocupación, es importante seleccionar metales, como el acero inoxidable, el cual no requiere recubrimientos, pero proporciona un alto nivel de protección a la corrosión. Estos materiales no necesitarán ser reemplazados durante la vida del edificio, y éstos no acortarán la vida de otros materiales de la construcción a causa de sus fallas. El acero inoxidable es más resistente a la corrosión que otros metales arquitectónicos comunes y no es afectado por algunos de los contaminantes que los corroerán tales como el ácido nítrico, el ácido carbónico y el amonio, los cuales pueden encontrarse en la lluvia ácida. Los ambientes potencialmente corrosivos para los aceros inoxidables y otros metales incluyendo el ácido sulfúrico en la lluvia ácida, los altos niveles del particulado atmosférico, y/o la sal costera o para deshielo (cloruro). Si el acero inoxidable y el acabado correcto son seleccionados y es adecuadamente fabricado, instalado y mantenido, no habrá problema de corrosión. Por favor vea la sección de información de recursos adicionales para obtener más datos sobre la selección acero inoxidable.

Mejorando el Medio Ambiente Interior y Exterior

El acero inoxidable es ideal para las aplicaciones interiores debido a que ningunos recubrimiento son requeridos y no hay emisiones. Con la selección adecuada, los ductos hechos de acero inoxidable no serán perforados debido a la corrosión y pueden ser completamente sanitizados. Los paneles reflexivos de acero inoxidable pueden ser utilizados para traer luz natural a los edificios. Especificar una efectiva barrera de termita de acero inoxidable de larga duración puede eliminar los tratamientos pesticidas de termita y puede reducir el costo de cobertura del seguro. La limpieza del acero inoxidable no requerirá químicos que son peligrosos para los trabajadores o el medio ambiente. Además, el acero inoxidable es una importante parte de los sistemas de reducción de emisiones automotrices e industriales.

La información del escurrimiento del techo que fue generada en un estudio sueco que comparó el acero inoxidable, el cobre y el zinc (recubrimientos sobre chapas de acero galvanizado y zinc) puede ser encontrada en la Tabla 2. [6] Esos niveles de escurrimiento son representativos del área de Estocolmo, una región con niveles de contaminación

relativamente bajos. El enfoque principal de esta investigación fue la influencia de la corrosión atmosférica sobre los niveles de escurrimiento del techo, la bio-disponibilidad y la eco-toxicidad. Las tasas de escurrimiento del níquel y el cromo estuvieron extremadamente bajas y, en muchas muestras, los niveles de níquel y cromo estuvieron por debajo de los límites detectables y todas las muestras estuvieron debajo de las concentraciones típicas del agua potable. Las pruebas sugieren que de los techos de acero inoxidable fueron liberados níquel y cromo en tan bajas tasas que éstas no causan eco-toxicidad. Los niveles de escurrimiento de cobre y zinc estuvieron aproximadamente 10,000 veces más altos, ambos estuvieron en una forma bio-disponible y la eco-toxicidad es posible según el agua se concentre durante los periodos secos. Un estudio similar de escurrimiento de plomo de los techos en unos sitios rurales interiores y marinos de baja contaminación en Oregon encontró que las concentraciones estuvieron entre 0.7 y 3.7 mg/L comparadas con la norma EPA de Estados Unidos sobre plomo en agua potable de 0 mg/L (con un nivel de acción de 0.015 mg/L). [7] En las áreas ambientalmente sensibles, el techado de acero inoxidable debe ser considerado.

Tabla 2: Estudio sueco de escurrimiento de techo de metal [6]

Material	Escurrecimiento Anual Promedio mg/m ² (mg/yd ²)
Zinc (1)	2,800 - 3,000 (2,340 - 2,508)
Cobre	1300 - 2000 (1,087 - 1,672)
Inoxidable Tipo 304 (2)	
Níquel	0.3 - 0.4 (0.25 - 0.33)
Cromo	0.25 - 0.3 (0.21 - 0.25)

(1) En forma de chapa de zinc y acero galvanizado

(2) En muchas muestras, los niveles de níquel y cromo estuvieron por debajo de los límites detectables. La concentración promedio por litro estuvo muy por debajo de los niveles típicos de agua potable.

Larga vida de servicio

Los materiales que continúan proporcionando excelente comportamiento/rendimiento durante la vida del edificio o estructura tienen un costo de ciclo de vida mucho más bajo y son ambientalmente más amigables debido a que éstos no requieren reemplazo ni contribuyen a desecho de rellenos sanitarios. El acero inoxidable es un material arquitectónico relativamente nuevo con los usos más antiguos fechados a mediados de los 20's, lo cual no fue mucho tiempo después de la invención del acero inoxidable. El más antiguo conocido techo de acero inoxidable está en la Corte del Condado de Butler en Pensilvania, y éste ha provisto un servicio libre de problemas durante aproximadamente ochenta años. (Ver figura 1.)

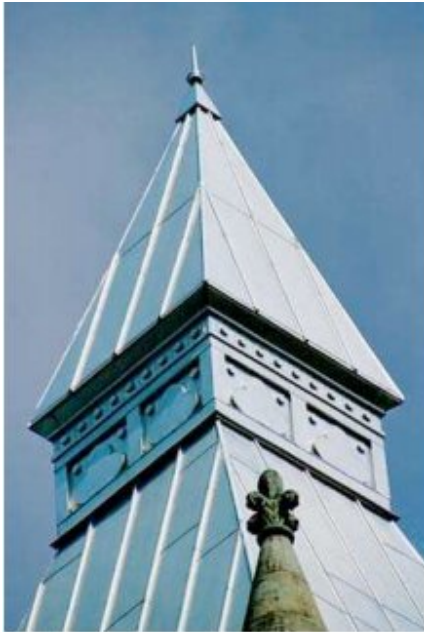


Figura 1 El techo de acero inoxidable tipo 302 en la Corte del Condado de Butler en Pensilvania ha proporcionado aproximadamente 80 años de servicio libre de mantenimiento y problemas. (Crédito de la fotografía: Catherine Houska, TMR Consulting).

Los beneficios de una larga vida de servicio son más fácilmente vistos en comparaciones “lado a lado” de los metales en un ambiente corrosivo. Los muelles en Progreso, México ilustran claramente las diferencias en el rendimiento entre las varillas de acero inoxidable y de acero al carbón. (Ver Figura 2). El muelle que aún está en servicio fue terminado hace más de sesenta años utilizando varillas de acero inoxidable. El muestreo no ha mostrado deterioro en el acero inoxidable o en el concreto, y es probable que el muelle proporcionará por lo menos otros sesenta años de servicio en este ambiente marino corrosivo. Los restos de un segundo muelle son visibles en la imagen. Ese muelle fue construido aproximadamente treinta años después utilizando varillas de acero al carbón. Éste no ha estado en servicio por algún tiempo, y, además de los importantes costos asociados con el reemplazo y el servicio perdido, todos los materiales originales deben ser completamente reemplazados a costos ambientales considerables.

Figura 2. El muelle funcional en Progreso, México fue construido con varillas de acero inoxidable entre 1939 y 1941 y aún se encuentra en excelentes condiciones. El muelle caído fue construido con varilla de acero al carbono en 1969.



Conservando los recursos naturales

El acero inoxidable conserva los recursos naturales en muchas formas. Menor explotación minera es requerida debido a que las tasas

de corrosión son muy bajas y los porcentajes reales de reciclado son muy altos, de forma que el reemplazo del metal existente es insignificante. En las aplicaciones estructurales, los requerimientos de material son reducidos si los diseñadores sacan provecho del rendimiento superior en alta temperatura del acero inoxidable y si los aceros inoxidables de resistencia más alta son utilizados para reducir el tamaño de la sección. Por ejemplo, en las aplicaciones de techado es posible usar paneles más delgados y reducir el incremento de calor y los costos de aire acondicionado al especificar acero inoxidable. Las pantallas solares de acero inoxidable reducen los costos de aire acondicionado, lo cual ahorra energía y las celdas solares de acero inoxidable ayudan a generar energía limpia.

El Ayuntamiento de Phoenix es un excelente ejemplo de los ahorros posibles de energía y costo con las pantallas solares de acero inoxidable. Las pantallas de acero inoxidable perforadas y pulidas fueron colocadas sobre la mayoría de las ventanas durante la construcción. Éstas permiten que entre la luz natural mientras se reduce el incremento de calor. Los ahorros de costo de capital inicial debido a los reducidos requerimientos de equipo de aire acondicionado fueron de \$285,000 (dólares) y se estimó que un ahorro de costo anual de \$200,000 (dólares) sería logrado. El acabado del acero inoxidable no cambiará con el tiempo, de forma que la efectividad de la superficie reflexiva no disminuirá debido a la corrosión. (Ver figura 3).



Figura 3 Las pantallas de las ventanas de acero inoxidable perforado y pulido en el Ayuntamiento de Phoenix redujeron dramáticamente los costos de aire acondicionado y mejoraron la comodidad del trabajador. (Fotografía cortesía de Allegheny Technologies).

La tubería maestra de acero inoxidable del agua es menos probable a tener fugas debido a la corrosión o a romperse durante terremotos, incluso después de vidas de servicio muy largas. Mientras que las tuberías y los tanques de acero inoxidable son relativamente una nueva aplicación en los Estados Unidos, éstas se han vuelto comunes en Europa Occidental y Japón. La sociedad puede ser muy corrosiva, particularmente en las áreas costeras y donde se utiliza la sal para deshielo. En Zurich, la necesidad de asegurar la alta calidad del agua y minimizar la pérdida de agua lleva al reemplazo de todas las tuberías maestras y las instalaciones de almacenaje y bombeo de agua potable con un sistema de acero inoxidable y concreto. En Japón, los tanques y las tuberías maestras de agua de acero inoxidable son populares debido a que son resistentes al daño durante los terremotos y previenen fugas debido a la corrosión.

Los sub-productos corrosivos de piedra, mampostería, secoya, cedro, madera contrachapada, y otros productos de madera pueden causar corrosión rápida de otros metales. Los soportes, sujetadores y otros componentes no son corroídos por esos materiales y su vida de servicio es maximizada.

Restauración

El edificio Chrysler y el Empire State son ejemplos de capacidad para restaurar el acero inoxidable a su gloria anterior. Ambos han sido limpiados aproximadamente cada treinta años, y hubo considerable acumulación de depósito en la superficie entre las limpiezas. Éstos no son los únicos ejemplos. El anterior edificio Socony Mobil (ahora 150 East 42nd Street) fue construido en 1954 y adyacente al edificio Chrysler. Éste fue limpiado por primera vez 1995 después de más de cuarenta años de servicio. La fotografía de la Figura 4 fue tomada durante la limpieza y muestra la dramática diferencia en la apariencia entre las áreas limpias y sucias. La Figura 5 muestra el edificio Socony Mobil y el Chrysler después de la limpieza.



Figuras 4 y 5. En 1995, la limpieza del Edificio Chrysler alentó a los propietarios del edificio adyacente de la calle 150 East 42nd Street para eliminar cuarenta y un años de suciedad. Ambos edificios fueron limpiados con una solución suave detergente, desengrasantes y agua y, donde fue necesario, un abrasivo fino que no rayara. Ambos edificios, el Chrysler y el 150 East 42nd Street fueron restauradas a su brillante apariencia original. Ningún químico peligroso fue requerido. (Fotografías cortesía de Alleghen Teccnologies).

Estos tres edificios fueron limpiados con una solución de detergente suave y agua, la cual contenía un desengrasante para remover los depósitos de hidrocarburos. Una fina solución abrasiva que no raya el acabado fue utilizada cuando fue necesario para retirar los depósitos más adheridos a la superficie. Ningún material agresivo o ambientalmente peligroso fue requerido, y no hubo necesidad de utilizar productos cuyo desprendimiento de gases pudiera ser agresivo o peligroso para los limpiadores o los habitantes del edificio. El mismo método de limpieza es utilizado regularmente en los edificios más recientes, los cuales reciben limpieza más frecuente.

Reutilizar

Ahorrar y reutilizar productos es la fuente más amigable ambientalmente de los materiales disponibles para los arquitectos. Cuando a la firma de arquitectura IKM Inc, ubicada en Pittsburg, le fue dada la responsabilidad de modernizar y abrillantar el vestíbulo y la entrada del 525 William Penn Place, ellos encontraron la pared y los paneles del elevador de acero inoxidable obscurecidos por cincuenta años de cera, aceite y suciedad y estropeados por algunos rayones y abolladuras (Figura 6). Como una firma acreditada LEED^{MR} comprometida al diseño verde, ellos exploraron la posibilidad de re-acabar y reutilizar por lo menos algo del acero inoxidable en el nuevo diseño. Mientras que el nuevo vestíbulo mostrado en la Figura 7 luce algo diferente, la mayoría del acero inoxidable es cincuenta años más viejo. Éste fue limpiado y re-acabado con abrasivos no metálicos, modificado según lo necesario y reutilizado. Los componentes de acero inoxidable que no podían ser reutilizados fueron reciclados. Si hay otra renovación en cincuenta años, tal vez el acero inoxidable será reutilizado otra vez.



Figuras 6 y 7: Los paneles de acero inoxidable en el vestíbulo del 525 William Penn Place en Pittsburg se llegaron a ensuciar y tener ralladuras después de cincuenta años de uso. Durante la renovación del vestíbulo del 525 William Penn Place, los paneles de acero inoxidable de 50 años de antigüedad fueron retirados, limpiados, re-acabados y reutilizados. (Crédito de la fotografía: Catherine Houska, TMR Consulting e IKM Inc.)

Este no es el único ejemplo de reuso del acero inoxidable. Los paneles prefabricados exteriores de acero inoxidable fueron recientemente limpiados, re-formados y reutilizados cuando un edificio de oficinas industriales en Nueva York fue destruido y rediseñado. La durabilidad del acero inoxidable significa que éste puede permanecer en servicio mientras otros productos del edificio son enviados a rellenos sanitarios.

Conclusiones

Los productos fabricados de acero inoxidable son una excelente opción para proteger el medio ambiente y para crear estructuras atractivas y confortables. Aunque la información independiente que compara el impacto ambiental del ciclo de vida de los diferentes materiales aún no está disponible, no hay duda de que el acero inoxidable recibirá altas calificaciones. El rendimiento ambiental y estético del acero inoxidable depende de la selección del acero inoxidable, acabado y diseño adecuados.

Recursos adicionales

Hay información adicional gratuita sobre la selección y el uso del acero inoxidable en aplicaciones arquitectónicas que puede ser obtenida del Instituto del Níquel (<http://www.stainlessarchitecture.org>) o la Asociación Internacional del Molibdeno (IMOA) (<http://www.imoa.info>). Los artículos de Construction Specifier identificados en la referencia [4] y [5] contienen información comparativa y guías para la selección del acero inoxidable.

Agradecimientos

La autora reconoce con agradecimiento el apoyo del Instituto del Níquel en la preparación de este artículo.

Referencias

- [1] "Recycling Stainless Steel", International Stainless Steel Forum (ISSF), presentación basada en el sitio web <http://www.worldstainless.org/>
- [2] Koch, G., M. Brongers, N. Thompson, Y. Paul Virmani, J. Payer, "Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States", Final Report 1999 – 2001, Office of Infrastructure Research and Development, Federal Highway Administration, No de Reporte. FHWA-RD-01-156
- [3] Houska, C., "Stainless Steels in Architecture, Building and Construction: Guidelines for Corrosion Prevention", Nickel Development Institute, Publicación 11 024, 44 páginas, 2001
- [4] "Stainless Steel Selection for Exterior Applications", Catherine Houska, The Construction Specifier, Volume 56, Number 1, January 2003, páginas 32 - 42.
- [5] "Metals for Corrosion Resistance: Part II", Catherine Houska, The Construction Specifier, Volume 53, Number 11, November 2000, páginas 23 – 30.
- [6] Leygraf, C., I. O. Wallinder, "Environmental Effects of Metals Induced by Atmospheric Corrosion", Outdoor Atmospheric Corrosion, ASTM STP 1421, H. E. Townsend, Editor, American Society for Testing and materials International, West Conshocken, PA 2002
- [7] Matthes, S. A., S.D. Cramer, B. S. Covino, Jr., S. J. Bullard, and G.R. Holcomb, "Precipitation Runoff From Lead", Outdoor Atmospheric Corrosion, ASTM STP 1421, H. E. Townsend, Editor, American Society for Testing and materials International, West Conshocken, PA 2002