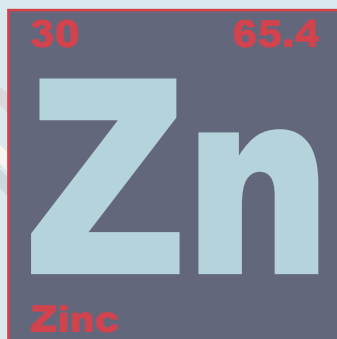


REVESTIMIENTOS DE ZINC

Análisis Comparativo de las
Características de Proceso y Rendimiento

Contenido

INTRODUCCIÓN	◆◆◆◆	1
GALVANIZADO EN CALIENTE POR LOTES	◆	2
GALVANIZADO DE LÁMINA CONTINUO	◆◆◆	4
PINTADO CON ZINC	◆◆◆◆	6
METALIZADO CON ESPRAY DE ZINC	◆◆◆◆	7
GALVANOPLASTIA MECÁNICA	◆◆◆◆	8
ELECTROGALVANIZADO	◆◆◆◆	9
GALVANIPLASTIA CON ZINC	◆◆◆◆	10
SELECCIÓN DE REVESTIMIENTOS CON ZINC	◆◆◆◆	10
CONCLUSIÓN	◆◆◆◆	11
COMPARACIÓN DE REVESTIMIENTOS DE ZINC	◆◆◆◆	12
AGRADECIMIENTOS	◆◆◆◆	13



© 2015 American Galvanizers Association. El material que se provee en el presente documento se ha desarrollado para brindar información precisa y acreditada sobre el acero galvanizado posterior a su fabricación. Este material proporciona información general solamente y no está previsto como un sustituto para el examen y la verificación competentes profesionales en cuanto a idoneidad y aplicabilidad. La información que se provee aquí no está prevista como una representación o garantía por parte de la AGA. Cualquiera que emplee esta información asume toda responsabilidad que surja de tal uso.

INTRODUCCIÓN

El zinc, un elemento natural, sano y abundante se usó por primera vez en la construcción en el 79 a.C.; por eso, desde hace mucho se han conocido sus características como un revestimiento protector apto contra la corrosión para productos de hierro y acero. El elemento más abundante número 27 en la corteza terrestre, el zinc está naturalmente presente en rocas, suelo, aire, agua y en la biósfera, y también en plantas, animales y humanos. De hecho, el zinc es esencial para la vida ya que todos los organismos lo necesitan para vivir y completar las funciones fisiológicas normales.

En el presente, más de 13 toneladas de zinc se producen al año en el mundo, 70% de menas minadas y 30% de fuentes recicladas. Más de la mitad de la producción anual se usa en revestimientos de zinc para proteger el acero de la corrosión. Como el zinc es un material infinitamente reciclable, el nivel de reciclado aumenta cada año, y, de hecho, en la actualidad se reclama el 80% del zinc disponible para reciclarlo. No obstante, dado el excelente rendimiento de campo del zinc como un revestimiento de protección contra la corrosión, a menudo permanece en servicio por generaciones antes del reciclado.

El zinc, como todos los metales, se corroe cuando se lo expone a la atmósfera. Sin embargo, por su capacidad para formar subproductos de la corrosión densos y adherentes, la tasa de corrosión es considerablemente más baja que en los materiales ferrosos (10 a 100 veces más baja según el entorno). Los productos de la corrosión del zinc se desarrollan naturalmente en la superficie a medida que el revestimiento está expuesto a los ciclos naturales de humectación y secado en la atmósfera, y a menudo se los llama pátina de zinc. La pátina de zinc actúa como una barrera adicional entre el acero y el entorno.

Además de la protección natural de barrera del revestimiento y la pátina, el zinc también protege el acero base catódicamente. La Serie Galvánica de Metales (*Ilustración 1*) lista los metales en orden de su potencial electromecánico en presencia de agua salada. Cuando se

conectan dos metales, los más altos en la lista se volverán anódicos y se corroerán por preferencia para proteger los metales más bajos en la serie. Por eso, el zinc es anódico al acero y se corroerá en sacrificio para proteger el acero subyacente de la corrosión.

Hay una cierta cantidad de revestimientos de zinc que por lo general se denominan “galvanizado”, pero cada uno tiene características únicas. Estas características no solo afectan la aplicabilidad, sino también la economía y el rendimiento en el ambiente. El método de aplicación, la adhesión al metal base, la dureza, la resistencia a la corrosión y el espesor (*Ilustración 2*) de cada revestimiento de zinc varían.

Esta ayuda práctica examina los siguientes revestimientos de zinc: galvanizado en caliente por lotes, galvanizado de lámina continuo, metalizado con espray de zinc, galvanoplastia mecánica, electrogalvanizado y galvanoplastia con zinc; para ayudar a arquitectos, ingenieros y otros especificadores a evaluar y seleccionar el revestimiento de zinc más adecuado para la protección contra la corrosión.

Arreglo de Metales en Serie Galvánica

EXTREMO CORROÍDO: Anódico o menos noble (ELECTRONEGATIVO)

Magnesio
Zinc
Aluminio
Acero
Plomo
Estaño
Níquel
Latón
Bronce
Cobre
Acero inoxidable (pasivo)
Plata
Oro
Platino

La protección catódica ocurre cuando dos metales están conectados eléctricamente. En teoría, cualquiera de estos metales o aleaciones se corroerán mientras ofrecen protección a cualquier otro por debajo en la serie, siempre y cuando estén conectados eléctricamente. Sin embargo, en la práctica real, el zinc es por mucho el más eficaz en este aspecto.

EXTREMO PROTEGIDO: Catódico o más noble (ELECTROPOSITIVO)

Ilustración 1: Protección catódica del zinc

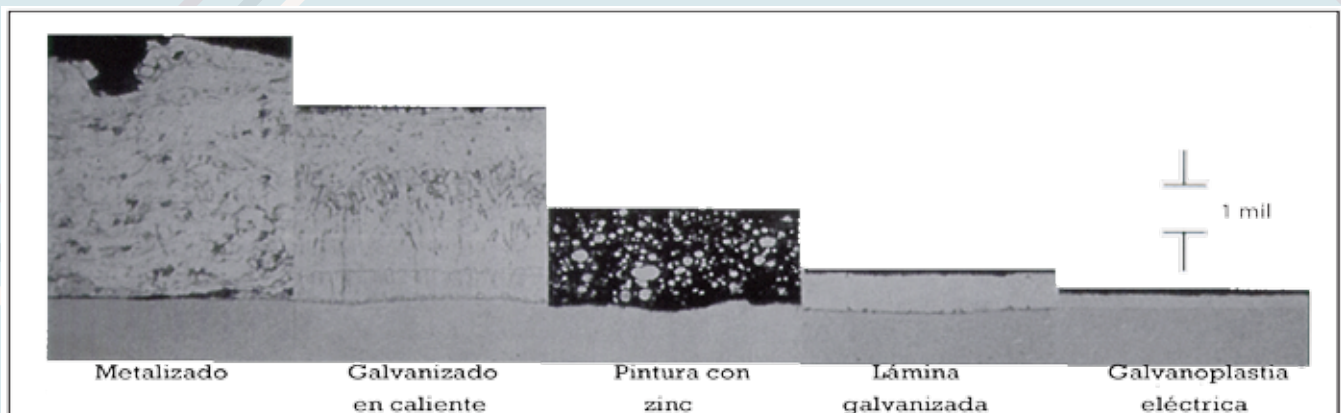


Ilustración 2 : Microestructuras de diversos revestimientos de zinc

GALVANIZADO EN CALIENTE POR LOTES

Proceso de aplicación de zinc

El galvanizado en caliente por lotes, también conocido como galvanizado general, produce un revestimiento de zinc al sumergir por completo el producto de acero en un baño (caldera) de zinc fundido (*Ilustración 3*). Antes de la inmersión en el baño de zinc, el acero se limpia con químicos para eliminar los aceites, grasas, tierra, escoria y óxidos. La preparación de la superficie consta de estos pasos: desgrasado para quitar los contaminantes orgánicos, decapado ácido para eliminar la escoria y el herrumbre, y aplicación de flujos, que inhibe la oxidación del acero antes de sumergirlo en el zinc fundido. La preparación de la superficie es crítica ya que el zinc no reacciona con el acero no limpio.

Después de la preparación de la superficie, se sumerge el acero en el baño de zinc fundido (443 °C [830 °F]). El baño consta de más de 98% de zinc puro y menos de 2% de aditivos, en general aluminio, níquel y bismuto, que ayudan a la fluidez y el consumo del zinc, aspecto del revestimiento, etc. Mientras está en la caldera de galvanizado, el zinc fundido reacciona metalúrgicamente con el hierro en el acero para formar el revestimiento. Después de la extracción del baño de zinc, el revestimiento se inspecciona para determinar el cumplimiento con las especificaciones de ASTM, CSA o ISO.

Procesos de Galvanizado

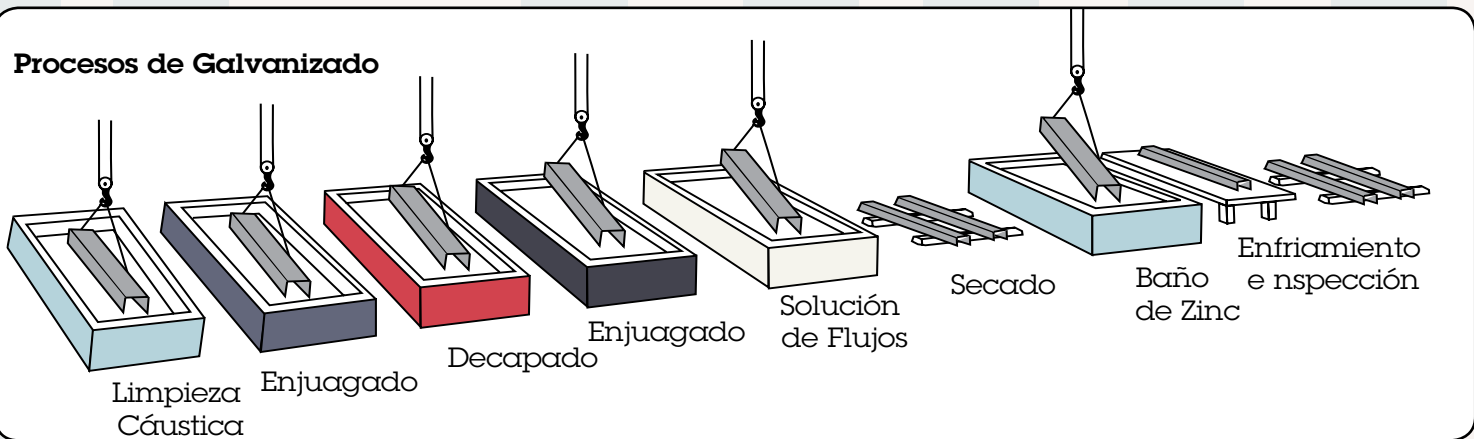


Ilustración 3: Procesos de galvanizado en caliente por lotes

Características y Rendimiento del Revestimiento

El revestimiento del galvanizado en caliente por lotes consta de una serie de capas de aleación zinc/hierro con una capa de superficie de zinc puro (*Ilustración 4*). Las únicas capas intermetálicas están unidas fuertemente (3600 psi) al acero base, y son más duras que este, lo que ofrece una excelente resistencia a la abrasión. Las capas de aleación zinc/hierro están unidas metalúrgicamente al acero y, por eso, se vuelven una parte integral del acero en lugar de solo un revestimiento de superficie. Más aún, como se mencionó antes, el zinc es anódico al acero; por eso, incluso si las capas intermetálicas durables del revestimiento galvanizado en caliente se dañan (hasta 1/4" de diámetro), el zinc adyacente se sacrificará para proteger el acero expuesto hasta que todo el zinc circundante se consuma.

Otras características únicas del revestimiento galvanizado en caliente por lotes es su cobertura uniforme y completa. Durante la reacción de difusión en la caldera, las capas de aleación zinc/hierro crecen perpendiculares a todas las superficies, lo que garantiza que las esquinas, los bordes y los roscados tengan una misma protección.

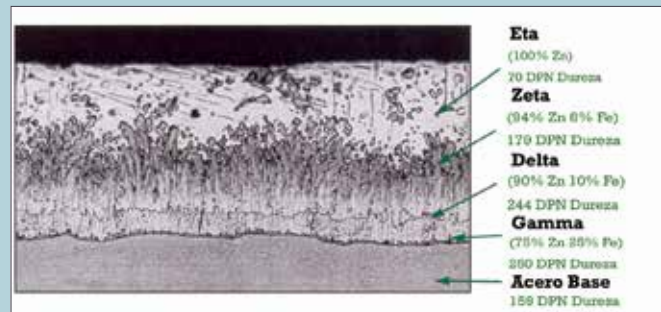


Ilustración 4: Fotomicrografía de un revestimiento galvanizado

Además, como el galvanizado en caliente es un proceso de inmersión total, se revisten todas las superficies interiores de estructuras huecas y recovecos de difícil acceso de piezas complejas. Esta cobertura completa y uniforme indica que los puntos críticos donde por lo general se produce la corrosión reciben la misma protección que las superficies exteriores y planas accesibles.

El galvanizado en caliente por lotes produce un revestimiento más espeso y/o denso que otros procesos de revestimiento con zinc. Las especificaciones que rigen el galvanizado en caliente; A123, A153 y A767 de la ASTM, G164 de la CSA y 1461 de la ISO contienen los requisitos

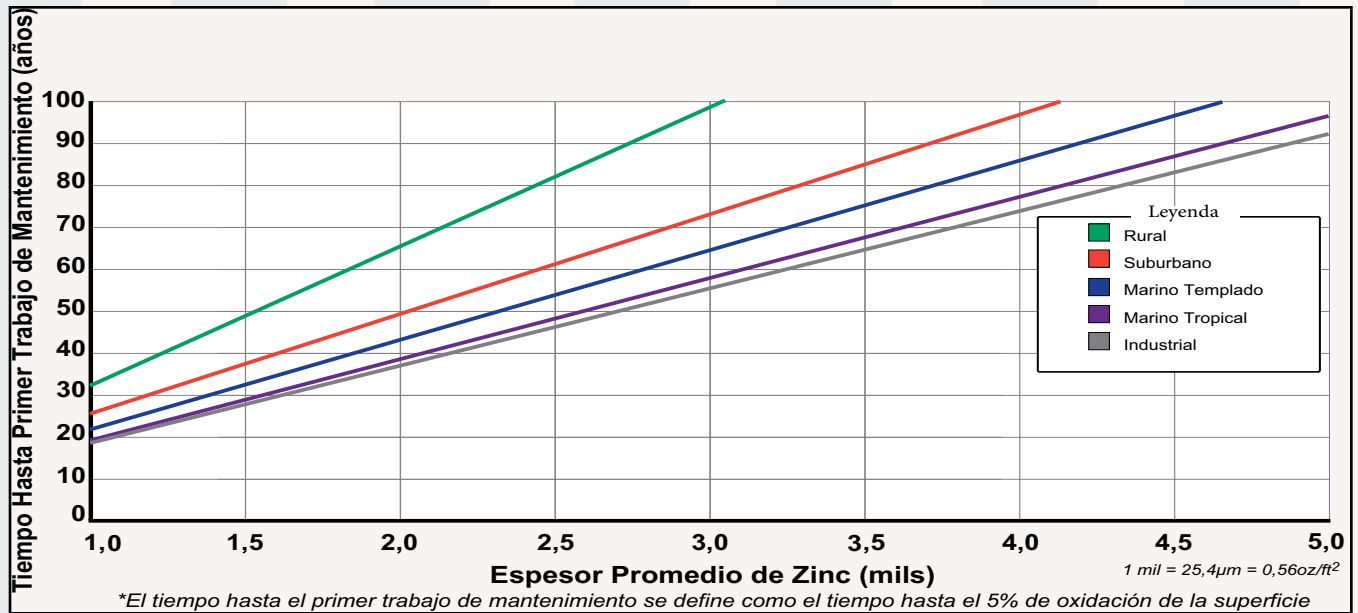


Ilustración 5: Cuadro de tiempo hasta el primer trabajo de mantenimiento

de espesor de revestimiento mínimo basado en tipo de acero y espesor. El cuadro del tiempo Hasta el Primer Trabajo de mantenimiento (*Ilustración 5*) muestra la relación lineal entre el espesor del revestimiento de zinc y la vida útil sin mantenimiento. Por ejemplo, según la A123 de la ASTM, el acero estructural más grande o igual que un espesor de $\frac{1}{4}$ de pulgada tiene un mínimo requisito de revestimiento de 3,9 mils, lo que equivale a una vida útil sin mantenimiento de alrededor de 72 años en un ambiente industrial.

Aplicaciones/Condiciones de Exposición

Los revestimientos galvanizados en caliente se usan en diversos materiales en varios sectores de construcción, desde servicios eléctricos hasta esculturas artísticas. Con tamaños que oscilan desde partes pequeñas como tuercas, tornillos y clavos hasta formas estructurales muy grandes, el galvanizado es íntegro a la infraestructura de Estados Unidos. El galvanizado en caliente se usa, con mayor frecuencia, en acero expuesto a la atmósfera; sin embargo, también se lo usa en aplicaciones de agua dulce y salada, enterrado en el suelo, incrustado en concreto y mucho más. Para más información sobre el rendimiento del galvanizado en caliente por lotes en varios entornos, consulte la publicación de la American Galvanizers Association, Rendimiento de productos de acero galvanizados en caliente.

El tamaño puede ser una limitación para la aplicación del galvanizado en caliente por lotes; no obstante, la longitud promedio de los baños de zinc en Estados Unidos es de 40 pies, y las calderas de 55 a 60 pies son comunes. La inmersión progresiva (sumergir una parte del producto y luego la otra) reduce considerablemente el tamaño máximo al que se puede dar lugar a casi el doble del tamaño del baño.

RESUMEN DE GALVANIZADO EN CALIENTE POR LOTES

- Controlado en fábrica
- Disponible 24/7/365
- Cobertura completa
- Unión superior al acero
- Revestimiento más duro que el acero
- Bueno para uso exterior e interior



GALVANIZADO DE LÁMINA CONTINUO

Proceso de Aplicación de Zinc

El galvanizado de lámina continuo también es un proceso en caliente, pero solo aplica a lámina, tira y alambre de acero. Un proceso de carbón a carbón, se pasa una lámina de acero, de 0,25 mm a 4,30 mm (0,010 a 1,70 pulgadas) de espesor y hasta 1830 mm (72 pulgadas) de ancho, como una cinta continua a través de baños de limpieza y zinc fundido a velocidades de hasta 600 pies por minuto.

Preparar el acero para el revestimiento de galvanizado en caliente continuo comienza con la limpieza en líquido alcalino combinado con cepillado, enjuagado y secado. Luego, el acero pasa por un horno de calentamiento o recocido para ablandarlo e impartir la resistencia y formabilidad deseadas. En este horno de recocido, el acero se mantiene bajo una atmósfera de gas reductora, compuesta de hidrógeno y nitrógeno, para eliminar cualquier óxido que pueda quedar en la superficie. Como sucede en el proceso por lotes, el acero debe estar completamente limpio de óxidos y contaminantes para un revestimiento satisfactorio.

A medida que el acero sale del horno, entra en una cámara de vacío, o boquilla, antes de ingresar al baño de zinc fundido para prevenir el aire de la reoxidación del producto de acero calentado. Después se manda el acero alrededor de un rollo sumergido en el baño fundido para crear un revestimiento unido y se lo extrae en posición

vertical. A medida que se retira el producto del baño, se usa aire de alta presión regulado con precisión (cuchillo de aire) para eliminar cualquier exceso de zinc y crear un espesor de revestimiento controlado con minuciosidad. Luego se lo deja enfriar y solidificar antes de entrar en contacto con otro rollo para evitar la transferencia o daño al revestimiento.

En el presente, el proceso en caliente continuo se usa para crear siete tipos distintos de productos de láminas, incluido galvanizado (zinc), revestimiento galvalume (90-92% de aleación de zinc/8-10% de hierro), dos aleaciones de zinc y aluminio (55% de aleación de aluminio/45% de zinc y 95% de aleación de zinc/5% de aluminio), dos aleaciones a base de aluminio (100% de aleación de aluminio, 89-95% de aluminio/5-11% de silicio), y el revestimiento denso (85-97% de aleación de plomo/3-15% de estaño).

Características y Rendimiento del Revestimiento

Como ambos son procesos en caliente, por lo general se confunden el galvanizado en caliente de lámina continuo y por lotes. Una diferencia importante en los dos revestimientos es el espesor. El proceso del galvanizado de lámina continuo tiene mayor control y precisión en cuanto a espesor de zinc, ya que el cuchillo de aire usado después del galvanizado garantiza un espesor uniforme

Galvanizado de Lámina Continuo				
Grado de revestimiento	Total de Ambos Lados	Por Lado		
	oz/ft ²	oz/ft ²	mils	µm
G360	3,60	1,80	3,24	82,3
G300	3,00	1,50	2,70	68,6
G235	2,35	1,18	2,12	53,7
G210	2,10	1,05	1,89	48,0
G185	1,85	0,93	1,67	42,3
G165	1,65	0,83	1,49	37,7
G140	1,40	0,70	1,26	32,0
G115	1,15	0,58	1,04	26,3
G90	0,90	0,45	0,81	20,6
G60	0,60	0,30	0,54	13,7
G40	0,40	0,20	0,36	9,1
G30	0,30	0,15	0,27	6,9
G01	sin mínimo			

Galvanizado de lámina continuo El número después de la designación del grado de revestimiento "G" se correlaciona con el espesor total del zinc aplicado en ambos lados de la lámina de acero.

Tabla 1: Espesor del galvanizado de lámina continuo

en la lámina de acero. El revestimiento es principalmente zinc no aleado, aunque las capas de aleación mínimas están presentes, y es dúctil y capaz de resistir el estirado y curvado sin dañarse. Esto es importante porque el revestimiento se aplica antes de la fabricación final, como punzado, curvado y cortado.

Dado el control preciso del espesor del revestimiento, la lámina continua se apila en diversos pesos de revestimiento. Uno de los revestimientos de zinc más comunes es Clase G90, que tiene 0,9 oz/ft² de zinc (total en ambos lados) o alrededor de 20 µm (0,80 mils) por lado. La *Tabla 1* (página 4) muestra los grados de revestimiento disponibles del galvanizado de lámina continuo.

Como se mencionó antes, la vida útil para todos los revestimientos de zinc es lineal al espesor del zinc (*Ilustración 5*, página 3). Como el revestimiento de lámina continuo se aplica antes de la fabricación, la formación y la colocación finales a menudo incluye el punzado de agujeros, el cortado, etc., lo que crea áreas no revestidas. Como con el galvanizado en caliente por lotes, el zinc circundante de los revestimientos de lámina continuos brindará protección catódica a estas áreas no



revestidas; sin embargo, como hay mucho menos zinc presente, lo mejor es retocar cualquier área expuesta después de la fabricación para extender la vida útil.

Aplicaciones/Condiciones de Exposición

Como el nombre lo indica, el proceso de galvanizado continuo solo se aplica a láminas de acero. Las aplicaciones más comunes son en carrocerías de autos, aparatos, cubiertas y forros corrugados, trabajo en canal y acueductos. El revestimiento uniforme permite que se lo trate para pintado, lo que aumentará la vida útil. Debido al revestimiento relativamente delgado, se recomienda el galvanizado de lámina continuo no pintado para aplicaciones de interior o donde la exposición a elementos corrosivos sea leve.

RESUMEN DE GALVANIZADO DE LÁMINA CONTINUO

- Controlado en fábrica
- Espesor de revestimiento preciso y constante
- Solo aplicaciones de interior (a menos que se pinte sobre ellas)
- Disponible en condición recocido para formabilidad
- Revestimiento principalmente de zinc puro - más blando que el acero



PINTADO CON ZINC

Proceso de Aplicación de Zinc

El pintado con zinc, a menudo mal denominado “galvanizado en frío”, es la aplicación con cepillo o espray de polvo de zinc mezclado con adhesivos orgánicos o inorgánicos. Antes de la aplicación, el acero debe limpiarse mediante arenado a casi metal blanco (SSPC-SP 10), limpieza a chorro comercial (SSPC-SP 6) o metal blanco (SSPC-SP 5). El polvo de zinc debe mezclarse con un vehículo que contenga polímeros y agitarse constantemente durante la aplicación para producir una mezcla homogénea y una adhesión adecuada. Las pinturas ricas en zinc tradicionalmente contienen de 92 a 95% de zinc metálico en película seca. Al aplicar el espray, las líneas de alimentación deben mantenerse lo más cortas posibles para prevenir el asentamiento del polvo de zinc y los revestimientos de película no uniformes. El pintado con zinc puede aplicarse en fábrica o campo.

Características y Rendimiento del Revestimiento

Como todos los revestimientos con pintura, la pintura rica en zinc es un revestimiento de superficie, unido mecánicamente al acero a unos cuantos cientos de libras por pulgada cuadrada (psi). Las pinturas ricas en zinc son orgánicas, que constan de epoxies, hidrocarburos clorados y otros polímeros, o inorgánicas según los alquilsilicatos orgánicos. Las pinturas orgánicas o inorgánicas se aplican a un espesor de película seca de 2,5 a 3,5 mils. Si se aplica con mucho espesor se puede producir agrietamiento.



Un aspecto en común de todos los revestimientos de zinc examinados hasta ahora es la protección catódica que brindan. Los revestimientos de pinturas ricas en zinc son diferentes de otros revestimientos, ya que se usa un material de unión para adherir las partículas de zinc. Para que la protección catódica sea posible, el polvo de zinc debe estar a una concentración lo bastante alta como para brindar conductividad entre las partículas de zinc y el acero. Hay otra razón por la que la agitación constante

y la mezcla homogénea son importantes durante la aplicación. Hay cierta cuestión en cuanto a si la protección catódica es siquiera posible si las partículas de zinc están encapsuladas en el ligante y el ligante no es conductivo.

Las pinturas orgánicas e inorgánicas ricas en zinc varían un poco en su rendimiento. Las pinturas inorgánicas ricas en zinc, que se adhieren al acero con reactividad química leve, tienen una buena resistencia a solventes y pueden resistir temperaturas de hasta 375 °C (700 °F). Las pinturas inorgánicas ricas en zinc no se desgastan, descascaran o ampolan con facilidad, son fáciles de soldar y brindan una limpieza más simple que las orgánicas. La densidad de las pinturas inorgánicas ricas en zinc tienen alrededor de la mitad de zinc por mil de los revestimientos galvanizados en caliente por lotes.

Las propiedades de las pinturas orgánicas ricas en zinc dependen del sistema de solventes. Pueden aplicarse múltiples revestimientos en el plazo de 24 horas sin agrietamiento. Las pinturas orgánicas ricas en zinc no tienen la misma resistencia a la temperatura que los zincs inorgánicos, ya que se limitan a 94-150 °C (200-300 °F). También están sujetas a degradación ultravioleta (luz de sol), y no son tan eficaces como las inorgánicas en cuanto a protección contra la corrosión.

Aplicaciones

La pintura rica en zinc puede aplicarse al acero de cualquier tamaño y forma, aunque la aplicación es difícil en las fabricaciones más complejas. Las pinturas ricas en zinc se usan ampliamente como pintura de fondo de dos y tres sistemas de revestimiento de alto rendimiento y para retoque y reparación de revestimientos galvanizados en caliente por lotes. En ambientes templados, la pintura de zinc inorgánica puede usarse independientemente para la protección contra la corrosión, pero debería revestírsela en los ambientes más hostiles para extender la vida útil.

RESUMEN DE PINTADO CON ZINC

- Aplicación en fábrica o campo
- Unión débil al acero
- Revestimiento más delgado en esquinas y bordes
- El espesor de revestimiento depende constantemente de la habilidad de la aplicación
- La durabilidad depende del contenido de zinc en estado de película seca

METALIZADO CON ESPRAY DE ZINC

Proceso de Aplicación de Zinc

La aplicación de espray de zinc, o metalizado, se logra al ingresar polvo o alambre de zinc en una pistola calentada, donde se funde y rocía sobre la parte mediante gases de combustión y/o aire auxiliar comprimido para brindar la velocidad necesaria (Ilustración 6). Antes del metalizado, el acero debe limpiarse con abrasivos.

El revestimiento 100% de zinc puede aplicarse en fábrica o campo, pero se lo hace con mayor frecuencia en fábrica donde el calor para la fundición se alcanza con más facilidad. El calor se suministra por combustión de una llama por oxígeno y gas combustible o por arco eléctrico. Los procesos se han desarrollado para ingresar zinc fundido directamente en la boquilla de espray, pero solo para aplicaciones en fábrica. Después de la aplicación de zinc, el revestimiento se sella con normalidad con un poliuretano de baja viscosidad, epoxi fenólico, epoxi o resina de vinilo.



revestimientos tienden a ser más delgados en las esquinas y bordes, y ningún revestimiento se aplica en superficies interiores o recovecos o cavidades de difícil acceso.

Aplicaciones/Condiciones de Exposición

El metalizado con espray de zinc puede aplicarse a materiales de cualquier tamaño, aunque la complejidad de la estructura es importante. El metalizado se usa con mayor frecuencia como una alternativa al galvanizado en caliente por lotes cuando la parte es muy grande para la inmersión en la caldera de galvanizado. Y, aunque se aplica más a menudo y con mayor facilidad en fábrica, el metalizado en campo es una gran opción para extender la vida útil de estructuras galvanizadas por lotes ya instaladas. Las limitaciones principales a las aplicaciones del metalizado son la disponibilidad (operador especializado y equipo) y un costo relativo importante

Características y Rendimiento del Revestimiento

El revestimiento de zinc metálico es áspero y ligeramente poroso, con una densidad de alrededor de 80% en comparación con el galvanizado en caliente por lotes. A medida que el revestimiento metalizado se expone a la atmósfera, los productos de la corrosión del zinc tienen a llenar los poros y brindar protección catódica constante. El metalizado cubre bien soldaduras, vigas, extremos y remaches, y puede aplicarse en exceso de 254 μm (10 mils). Sin embargo, el revestimiento de zinc puro unido mecánicamente puede ser inconstante y se requiere un operador capacitado para la mejor aplicación. Los

RESUMEN DE METALIZADO CON ESPRAY DE ZINC

- Controlado en fábrica
- La calidad varía según habilidad del trabajo
- Cobertura y espesor de revestimiento inconstantes
- Unión mecánica débil del zinc al acero
- Uso en interior o exterior
- Trabajoso

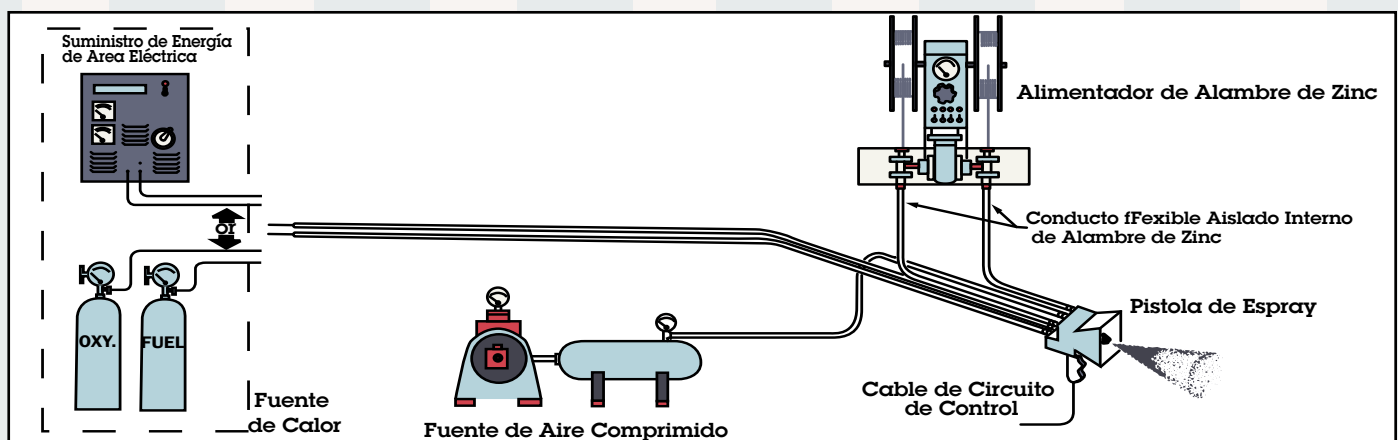


Ilustración 6: Metalizado con Espray de Zinc

GALVANOPLASTIA MECÁNICA

Proceso de Aplicación de Zinc

La galvanoplastia mecánica con zinc se logra al rodar partes pequeñas en un tambor con zinc y químicos patentados. Las partes pequeñas de hierro y acero (por lo general limitadas en tamaño a entre 200 y 300 mm (8 y 9 pulgadas) y con un peso inferior a 0,5 kg (1 libra)) se limpian y revisten con cobre reflectante antes de cargarlas en un barril de galvanoplastia. Luego se carga el barril con químicos patentados, microesferas de vidrio y polvo de zinc y se los rueda (*Ilustración 7*). Durante el rodado, las microesferas de vidrio sientan el polvo de zinc en la parte. Una vez terminado, las partes se secan y empaican, o se las somete a postratamiento con película de pasivación, se las seca y empaica.

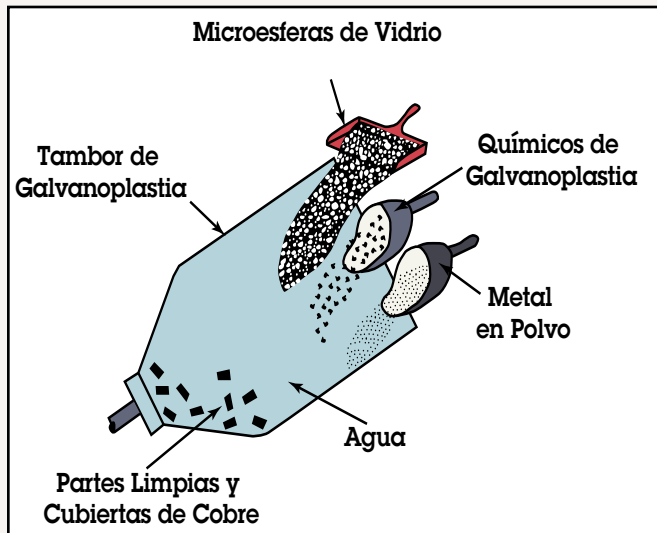


Ilustración 7: Galvanoplastia mecánica

Características y Rendimiento del Revestimiento

La galvanoplastia mecánica consta de un revestimiento reflectante de cobre seguido de revestimiento de zinc. Los requisitos de espesor del revestimiento, especificados en la B695 de la ASTM, oscilan entre 5 y 110 μm (0,2 a 4,3 mils). Aunque pueden crearse revestimientos más espesos, el espesor común en sujetadores comerciales es de 50 μm (2 mils). El espesor del revestimiento es regulado por la cantidad de zinc cargado en el barril de galvanoplastia y la duración del tiempo de rodado. El revestimiento tiene una densidad de casi el 70% en comparación con la densidad de un revestimiento galvanizado en caliente por lotes. El galvanizado en caliente tiene más de 30% de zinc puro por volumen de unidad que el revestimiento mecánico.



Debido al proceso de aplicación (rodado y sentado), el espesor del revestimiento puede variar a lo largo de la parte. Los diseños complejos con recovecos o agujeros ciegos y bordes, esquinas y roscados pueden presentar revestimientos inconstantes o no existentes dada la inaccesibilidad a la acción de sentado de las microesferas de vidrio. También es importante que los agentes de compactación (microesferas) sean lo bastante grandes para evitar atascarse en cavidades, recovecos o roscados pequeños en la pieza. El revestimiento se une mecánicamente al acero con una adhesión similar a la galvanoplastia con zinc.

Aplicaciones/Condiciones de Exposición

Como se mencionó, la galvanoplastia mecánica solo puede aplicarse a partes pequeñas limitadas a la capacidad del tambor. Además, los materiales deben tener un diseño simple para garantizar el sentado de todas las superficies. La galvanoplastia mecánica con zinc se usa con mayor frecuencia en sujetadores de alta resistencia y otras partes pequeñas no aptas para el galvanizado en caliente.

RESUMEN DE GALVANOPLASTIA MECÁNICA

- Controlada en fábrica
- Solo partes pequeñas
- Mala/ninguna cobertura en recovecos
- Espesor variable de revestimiento según el tiempo de rodado
- Espesor de revestimiento inconstante
- Revestimiento más delgado en esquinas y bordes



ELECTROGALVANIZADO

Proceso de Aplicación de Zinc

Los revestimientos electrogalvanizados (galvanoplastia eléctrica) se crean al aplicar zinc a la lámina de acero y decapar por electrodeposición. Como sucede con el galvanizado de lámina, la operación es continua y el espesor del revestimiento es mínimo. Aplicado en una planta de laminación de acero, se ingresa la lámina o tira, mediante equipo de entrada, en una serie de lavados y enjuagados, luego en el baño de zinc.

El arreglo más común de electrolito/ánodo de zinc usa plomo/plata, u otros ánodos insolubles y electrolitos de sulfatos de zinc. También se usan ánodos solubles de zinc puro. El revestimiento se desarrolla a medida que iones de zinc cargados positivamente en la solución se reducen mediante electricidad al metal de zinc y se depositan en el cátodo cargado positivamente (lámina de acero). Pueden añadirse refinadores de granos para ayudar a producir un revestimiento de zinc uniforme y bien unido en el acero.

Características y Rendimiento del Revestimiento

Este revestimiento de zinc electrodepositado consta de zinc puro fuertemente adherente al acero. El revestimiento es muy dúctil, y queda intacto incluso después de una deformación grave. Producido en materiales de tira y lámina, el peso del revestimiento oscila hasta 60 g/m^2 ($0,2 \text{ oz/ft}^2$), o se espesa hasta $9,1 \mu\text{m}$ ($0,36 \text{ mils}$) por lado, mientras que en alambre, los pesos del revestimiento pueden alcanzar hasta 915 g/m^2 (3 oz/ft^2). El revestimiento de zinc puro es más delgado que el galvanizado de lámina continuo, unido mecánicamente, y no hay capas de aleación, pero brinda un acabado más uniforme. El alambre tratado con calor y electrorevestido puede estirarse en frío hasta casi 95% de reducción en área, según la composición química del cable, tratamiento de calor y diámetro.



Aplicaciones/Condiciones de Exposición

Los revestimientos electrogalvanizados se aplican a láminas y alambres de acero, y, por eso, se usan en aplicaciones similares al galvanizado de lámina continuo o galvanizado de alambre. Las aplicaciones más comunes son en la industria automotriz y monturas y sujetadores de aparatos. Además, para extender la vida útil, los revestimientos electrogalvanizados pueden tratarse para hacerlos aptos para el pintado, y esto se recomienda a menudo debido al revestimiento de zinc extremadamente delgado.

RESUMEN DE ELECTROGALVANIZADO

- Controlado en fábrica
- Revestimiento muy delgado/ constanteInterior use only
- Solo aplicaciones de interior
- Revestimiento dúctil de zinc puro
- Bordes expuestos/de acero desnudo cuando se rajan o cortan a longitud deseada

GALVANOPLASTIA CON ZINC

Proceso de Aplicación de Zinc

La galvanoplastia con zinc es idéntica al electrogalvanizado en principio porque ambos son procesos de electrodeposición. Sin embargo, la galvanoplastia con zinc se usa en partes pequeñas como sujetadores, manivelas con mango, resortes y otros artículos de metal en lugar de chapa. El zinc se aplica como un electrodo prescindible en una solución de sal de cianuro, alcalina sin cianuro o de cloruro ácido. Los baños de cianuro son los más eficientes en términos operativos, pero pueden crear, potencialmente, contaminación y son peligrosos.

Después de la limpieza alcalina o electrolítica, decapado para eliminar óxidos de la superficie, y enjuagado, se cargan las partes en un barril, contenedor o tambor, y se las sumerge en la solución de galvanoplastia. Pueden añadirse varios agentes iluminadores a la solución para agregar lustre, pero se necesita de un control cuidadoso para asegurar un producto de calidad. Pueden usarse tratamientos posgalvanoplastia para pasivar la superficie de zinc e impartir diversos colores traslúcidos o extender la vida útil del revestimiento.

Características y Rendimiento del Revestimiento

Los revestimientos típicos por galvanoplastia con zinc son de un gris opaco con acabado mate, aunque pueden producirse revestimientos más blancos y lustrosos, según

el proceso o los agentes añadidos al baño de galvanoplastia o mediante postratamientos. El revestimiento de zinc puro es delgado, con un espesor máximo de hasta 25 μm (1 mil), y está unido mecánicamente a la superficie con una dureza de entre casi un tercio y la mitad de la mayoría de los metales. La especificación que rige, B633 de la ASTM, lista cuatro clases de galvanoplastia con zinc: Fe/Zn 5, Fe/Zn 8, Fe/Zn 12 y Fe/Zn 25, donde el número indica el espesor del revestimiento en micrones (μm).

Aplicaciones/Condiciones de Exposición

La galvanoplastia con zinc se usa tradicionalmente en tornillos y otros sujetadores pequeños, placas de interruptores de luz y diversas partes pequeñas que estarán expuestas en interior o condiciones levemente corrosivas. Para un uso en entornos moderados u hostiles, los materiales deben revestirse con conversión de cromato para mayor protección contra la corrosión.

RESUMEN DE GALVANOPLASTIA CON ZINC

- Controlado en fábrica
- Solo partes pequeñas
- Solo aplicaciones de interior
- Revestimiento muy delgado

SELECCIÓN DE REVESTIMIENTOS CON ZINC

Una vez que se ha tomado la decisión de usar un revestimiento de zinc para la protección contra la corrosión, deben considerarse unos cuantos factores adicionales para garantizar que se seleccione el revestimiento adecuado para la aplicación y el ambiente de servicio. Cada revestimiento de zinc revisado brinda diversos grados de protección contra la corrosión, y es importante identificar la capacidad de corrosión del ambiente de exposición para asegurar que el revestimiento elegido brinde una vida útil apta. Algunos revestimientos de zinc se eliminarán por naturaleza propia, por ejemplo los revestimientos de zinc cuyos procesos se limitan a partes pequeñas o láminas de acero no pueden considerarse para el revestimiento protector de miembros de acero estructural; mientras que a otros se los puede descartar por costo, aspecto, disponibilidad, rendimiento, etc. La siguiente información examina unos cuantos factores con mayor detalle, mientras que la *Tabla*

3 (página 12) proporciona una imagen de cada uno de los revestimientos de zinc según diversos criterios.

Revestimiento: Espesor Frente a Peso

Como se ha mencionado varias veces en esta guía, la vida útil de los revestimientos de zinc tiene una relación lineal con su espesor. Sin embargo, el espesor del revestimiento de zinc evaluado solo puede ser engañoso cuando se ha aplicado el zinc mediante diferentes procesos. Además del espesor, la cantidad de zinc disponible por volumen de unidad, o densidad, también es importante. Teniendo en cuenta que varias especificaciones de ASTM y/o otras requieren distintos pesos o espesores, es importante convertir todos los revestimientos a un común denominador para la comparación.

Mientras que las densidades de revestimiento para algunos tipos de revestimientos de zinc con casi idénticos, otros

difieren en un grado considerable. Un denominador común lógico para comparar revestimientos de zinc sería convertir todos los revestimientos en un peso igual por área de unidad de zinc; lo que, en teoría, brindaría vidas útiles iguales. La *Tabla 2* representa el espesor de revestimiento requerido por cada método de aplicación de zinc igual a 1 oz de zinc/ft² de superficie. Por eso, según las conversiones, 1,7 mils de revestimiento galvanizado en caliente tendría la misma vida útil que 2,2 mils de galvanoplastia mecánica o 3 a 6 mils (según la formulación de la pintura) de pintura rica en zinc.

Galvanizado en caliente (por lotes o continuo) electrogalvanizado, galvanoplastia con zinc	1,7 mils (43 µm)
Espray con zinc (metalizado)	1,9 mils (48 µm)
Galvanoplastia mecánica	2,2 mils (55 µm)
Pintura rica en zinc	3-6 mils (75-150 µm)

Tabla 2: Densidades de revestimiento

También es importante recordar que para todos los materiales de lámina galvanizada en continuo, incluidos los electrogalvanizados, el peso del revestimiento se da para el peso de zinc total, en ambos lados de la lámina. Para obtener la cantidad de zinc por área de unidad de superficie, el peso dado debe dividirse en dos, asumiendo una distribución igual en ambos lados. Por ejemplo, una lámina Clase G90, de la A653 de la ASTM, contiene 0,90 oz de zinc/ft² de zinc o alrededor de 0,45 oz/ft² por lado (consulte la *Tabla 1*, página 4).

Consideraciones Económicas

Siempre se tendrá en consideración el costo inicial cuando se especifica la protección contra la corrosión para el acero. Sin embargo, además del costo inicial, evaluar el rendimiento del revestimiento de zinc en el entorno previsto también impacta la economía del sistema protector. Los costos invisibles, como la accesibilidad del lugar, la pérdida por producción debido al nuevo revestimiento por mantenimiento y los aumentos en las pagas por revestimientos trabajosos, como rociado o pintado de metal, deben tenerse en cuenta.

La elección del sistema más económico no es precisa, porque ni el tiempo ni el costo del futuro mantenimiento pueden predecirse con exactitud. Además, la depreciación de la inversión de capital, la desgravación de impuestos y el costo de mantenimiento y el valor del dinero en el tiempo pueden cambiar y no se los debe ignorar.

No obstante, para obtener el costo más realista del sistema de galvanizado durante la vida del proyecto, se han desarrollado modelos económicos para comparar los costos del ciclo de vida de distintos revestimientos. Como el cálculo del costo de ciclo de vida es complejo y engorroso, la American Galvanizers Association desarrolló una calculadora automática en línea para facilitar el proceso, en lccc.galvanizeit.org. La calculadora en línea del costo del ciclo de vida utiliza las mismas fórmulas económicas que la recomendada en la A1068 de la ASTM, y los datos se proveen mediante rendimiento real en campo e informes publicados (Ensayo C2014-4088 de NACE, 2014).



CONCLUSIÓN

Aunque todos los revestimientos en esta publicación constan de zinc y a menudo están resguardados bajo el término general “galvanizado”, cada uno es muy distinto en cuanto a aplicación, características y rendimiento en varios entornos. Es importante evaluar la condición de exposición de cada proyecto antes de elegir el revestimiento de zinc más eficaz para tal aplicación en particular porque, como señala esta guía, no todos los revestimientos de zinc se crean iguales.

MÉTODO	LUGAR DE APLICACIÓN/ CONDICIONES	ESPECIFICACIÓN	ESPESOR DEL REVESTIMIENTO MÍNIMO/TÍPICO	TAMAÑO	TIEMPO DE CURADO
Galvanizado en Caliente por Lotes	Controlado en fábrica; sin requisito especial	ASTM A123, A153, A767, CSA G164, ISO 1461	1,4 a 3,9 mils ^a /2 8,0 mils	Sujetadores a vigas de 90'	<1 h
Galvanizado de Lámina Continuo	Controlado en fábrica; sin requisito especial	ASTM A653	0 a 3,2 mils ^b /0 a 3,2 mils	Lámina de acero 0,010"-1,70" de espesor, 72" de ancho	<1 h
Pintado con Zinc	En fábrica o campo; condiciones sujetas y propensas a error humano	SSPC-PS Guía 12.00, 22.00; SSPC-PS Pintura 20; SSPC-PS 12.01	0,6 a 5,0 mils/revest./4,0 a 6,0 mils	Sin límite	24-72 h
Metalizado con Espray de Zinc	En fábrica o campo	AWS C2.2	3,3 mils/4,0 a 6,0 mils	Sin límite	<24 h
Galvanoplastia Mecánica	Controlado en fábrica; sin requisito especial	ASTM B695	0,2 a 4,2 mils ^c /0,2 a 4,2 mils	Partes pequeñas 8"-9" y bajo 1 lb	<1 h
Electro-galvanizado	Controlado en fábrica; sin requisito especial	ASTM A879	0,28 mils ^b /0 a 0,28 mils	Lámina de acero	<1 h
Galvanoplastia con Zinc	Controlado en fábrica; sin requisito especial	ASTM B633	0,2 a 1,0 mils ^c /0,2 a 1,0 mils	Partes pequeñas	<1 h

^a Rango basado en espesores mínimos de ASTM, ISO y CSA para todos los grados, clases, etc. que las especificaciones abarcan.

^b Total para ambos lados de la lámina.

^c Rango basado en espesores mínimos de ASTM para todos los grados, clases, etc. que las especificaciones abarcan.

^d Según el revestimiento superior



ntos de zinc

CONSTANCIA DE COBERTURA	UNIÓN A SUSTRATO DE ACERO	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN / DUREZA	ACABADO / ASPECTO	CONDICIONES DE EXPOSICIÓN
100% bordes, equinas e interior ≥ superficies planas	Metalúrgico ~3600 psi	Capas intermetálicas 179-250 DPN	Varía Mate, gris, brillante, floreado o combinación	Interior/exterior
Controlado con cuchillo de aire	Metalúrgico ~3600 psi	~70 DPN	Controlado Mínimo a altamente floreado	Interior o condiciones levemente corrosivas
Inconstante, según capacidad de operador Tiene a ser delgado en bordes y esquinas Superficies interiores no revestidas	Mecánico 400-600 psi	Blando y no resistente a la abrasión	Acabo suave Color según especificador	Interior/exterior
Inconstante, según capacidad de operador	Mecánico ~1500 psi	~70 DPN	Gris mate Áspero	Interior/exterior
Inconstante Más delgado en bordes, esquinas y recovecos	Mecánico 400-600 psi	75 DPN	Gris mate Áspero en comp. con galvanoplastia eléctrica	Interior/exterior
100% cobertura	Mecánico 300-500 psi	~70 DPN	Acabo suave Brillante, salvo que esté pasivado	Interior
100% cobertura	Mecánico 300-500 psi	75 DPN	Acabo suave Gris opaco a brillante Controlado con aditivos	Interior

RECONOCIMIENTOS

A continuación agradecemos la ayuda de los que nos proveyeron con las ilustraciones para esta guía:

Ilustración 2: Teck Metals Ltd.

Ilustración 3: Adaptado de Plano Cortesía de Nordisk Föorzinkningsförening, Estocolmo, Suiza, de
Prevención de Óxido Mediante Galvanizado en Caliente.

Ilustración 6: Xstrata Canada Corp.

Ilustración 7: Lester Coch, Tru-Plate Process, Inc., Jericho, New York de Economía de Galvanoplastia
Mecánica, Abril de 1978.



American Galvanizers Association

6881 S. Holly Circle, Suite 108

Centennial, CO 80112

720-554-0900 | 800-468-7732

aga@galvanizeit.org

www.galvanizeit.org