

## 2. Procesos de Recubrimiento y Tratamiento de Superficies

GalvInfoNote	<b>Galvanizado Continuo por Inmersión en Caliente comparado con el Galvanizado General (por Lotes)</b>
<b>2.3</b>	

Rev. 0 Jan-07

### Introducción

Hay dos procesos diferentes para aplicar recubrimiento de zinc al acero mediante el método por inmersión en caliente. Ambos involucran sumergir el acero en un baño de metal fundido. Ya que el zinc funde a 419°C (787°F) y debe ser calentado aún más, hasta temperaturas de aproximadamente 455°C (850°F) o superiores para que el proceso de galvanizado sea efectivo, a ambas operaciones se les conoce en general como proceso de inmersión en caliente.

Un proceso involucra la aplicación de zinc sobre una banda o lámina continua de acero a medida que pasa por el baño de zinc fundido a alta velocidad –de aquí el término galvanizado continuo por inmersión en caliente. A medida que un rollo es procesado a través de la línea de recubrimiento, otro es soldado a su extremo final. El proceso es verdaderamente "continuo" a medida que la línea opera durante días sin interrupción. El otro proceso involucra la aplicación de recubrimiento de zinc a la superficie de componentes o piezas de acero una vez que éstas han sido fabricadas. No es continuo en cuanto las piezas son sumergidas como un "lote" discreto de dentro del baño de zinc; de aquí que se le conozca con los nombres de galvanizado discontinuo "por lotes", "post-fabricación" o galvanizado en "general" -términos que son utilizados indistintamente. Las piezas pueden ser tan pequeñas como pernos o tan grandes como vigas estructurales de puentes, que pueden ser galvanizadas por el método discontinuo o por lotes.

### Galvanizado Continuo

Tal como brevemente se describió arriba, el proceso de galvanizado continuo aplica un recubrimiento de zinc a la superficie de una banda continua de plancha de acero a medida que éste pasa por el baño de zinc. Los rollos de planchas recubiertas son o bien directamente enrolladas o alimentadas a prensas estampadas, o selladas o cortadas y luego formadas en piezas. El espesor de la plancha puede ser tan delgado como 0.25 mm (0.010 pulgadas) o menos, o tan grueso como 6.3 mm (0.25 pulgadas). Generalmente, las plantas alrededor del mundo son líneas de recubrimiento de calibre "ligero", "intermedio" o "pesado". Los productos de las líneas de ligero calibre son usados mayormente para aplicaciones en la industria de la construcción (planchas para techo, paneles laterales de construcción, canaletas, etc.) La mayor aplicación para productos hechos en líneas de calibre intermedio son los paneles de los cuerpos de los automóviles. Los productos de las líneas de calibre pesado son usados para alcantarillado, piezas estructurales de un automóvil, silos para granos, etc.

En este proceso, la plancha de acero es pasada a través de un baño de zinc fundido a velocidades tan altas como 200 m/min. (>600 ft./min.). A medida que la plancha en movimiento sale del baño de recubrimiento, éste arrastra zinc fundido. El espesor deseado de recubrimiento se logra mediante el uso de "cuchillos de aire". Estos cuchillos por lo general utilizan aire como gas, y son dirigidos a ambos lados de la plancha para eliminar el exceso de zinc. El acero recubierto es entonces enfriado, y el zinc se solidifica en la superficie de la plancha.

**El proceso de galvanizado continuo para producir planchas de acero recubierto involucra una serie de pasos complejos, uno de los cuales es recocer el acero para suavizarlo y hacerlo más conformable. Más detalles acerca del proceso de galvanizado continuo son descritos en GalvInfoNote 2.1.**

Una de las características más importantes del proceso de galvanizado continuo es la formación de un fuerte enlace entre el acero y su recubrimiento de zinc. A las velocidades de procesamiento usadas en las líneas de

galvanizado continuo, la plancha enrollada sólo está en el baño de zinc entre 2 y 4 segundos. Durante este breve tiempo, el metal fundido y el acero deben reaccionar para formar un fuerte enlace metalúrgico por difusión. La región del enlace es un compuesto ínter metálico, llamado la "capa de aleación".

Esta delgada zona de enlace de aleación, la que tiene usualmente de sólo 1 a 2 micrómetros de espesor, es muy importante porque una vez que el recubrimiento es aplicado y la plancha se ha enfriado a temperatura ambiente, es re-enrollado y embarcado a los clientes para moldear a la forma deseada. Por ejemplo, la plancha puede ser profundamente embutida para formar una caja, puede ser estampada en una defensa de auto, o puede ser enrollada en un panel de construcción para techos. Para que la operación de conformación sea realizada satisfactoriamente, el acero y el zinc se deben haber aleado muy bien el uno con el otro. Si la zona del enlace no se forma, o no se forma correctamente, el acero y el zinc no se "pegarían" durante los siguientes pasos importantes por los que la plancha recubierta podría pasar.

Una zona de enlace adherente y conformable requiere que la capa de aleación sea delgada y de composición correcta. Esto, porque el compuesto inter metálico de la que está constituida capa de enlace es muy dura y frágil, que una característica inherente a tales capas de aleación. No hay proceso metalúrgico que haga la zona de enlace suave y dúctil. Al producir una capa delgada de aleación de la composición correcta, la plancha recubierta puede ser moldeada en muchas formas intrincadas sin pérdida de adhesión entre el acero y el recubrimiento de zinc. Si la capa de aleación se vuelve muy gruesa, o si es de composición incorrecta, se forman grietas en ellas durante el moldeo y al ser conformado el recubrimiento de acero y zinc puede desprenderse. Una delgada capa de aleación de la composición correcta puede ser doblada y estirada sin agrietarse ni desprenderse.

En resumen, es muy importante que el acero y el zinc formen una zona de enlace adecuada, y que esta zona sea delgada. Esto es logrado rápidamente por los productores de planchas galvanizadas por inmersión en caliente enfocándose en dos puntos de control primarios:

1. la adición de una cantidad controlada de aluminio (aproximadamente 0.15 a 0.20%) al baño de recubrimiento de zinc fundido, y
2. el control de la temperatura de la plancha de acero en el punto donde esta ingresa en el zinc fundido y controla la temperatura del baño de recubrimiento de zinc.

El impacto de la adición de aluminio al baño de recubrimiento de zinc utilizado para el galvanizado continuo por inmersión en caliente es tratado en detalle en *GalvInfoNote 2.4*. Es un asunto complejo que necesita ser discutido como tema específico.

No obstante, cuando el proceso es apropiadamente controlado, la plancha de acero recubierta producido mediante el proceso de galvanizado continuo por inmersión en caliente es un producto de buena ingeniería; que viene siendo usado para la manufactura de muchos productos finales sofisticados.

## **Galvanizado General (por Lotes o Después de Fabricación)**

El segundo proceso por inmersión en caliente involucra la aplicación de zinc sobre "piezas prefabricadas". Esto significa que el acero es moldeado a la forma del producto final; una viga estructural, una tubería de gran diámetro, o un pequeño perno, y luego sumergido en un baño de zinc fundido para aplicar el recubrimiento. Estos elementos son recubiertos ya sea de uno en uno, o en el caso de las piezas pequeñas, en un grupo de ellas contenidas en una "cesta o canastilla". Por lo tanto, los términos "por lote" o "después de fabricación" son utilizados para describir este proceso.

En cierto sentido, el proceso general o por lotes es el mismo que el proceso continuo en cual el objetivo es aplicar un recubrimiento ininterrumpido de zinc sobre la superficie del acero, resistente a la corrosión. Sin embargo, estos dos métodos tienen muchas diferencias.

El típico proceso por lotes involucra tres pasos antes de la inmersión de la(s) parte(s) al baño de zinc fundido:

- Limpieza cáustica
- Decapado
- Tratamiento con Fundente

La **limpieza cáustica** involucra el uso de una solución caliente de álcalis para remover los contaminantes orgánicos tales como los aceites y las grasas. Estos contaminantes de superficie necesitan ser removidos antes del decapado de tal manera que la superficie pueda ser "humedecida" por la solución de decapado.

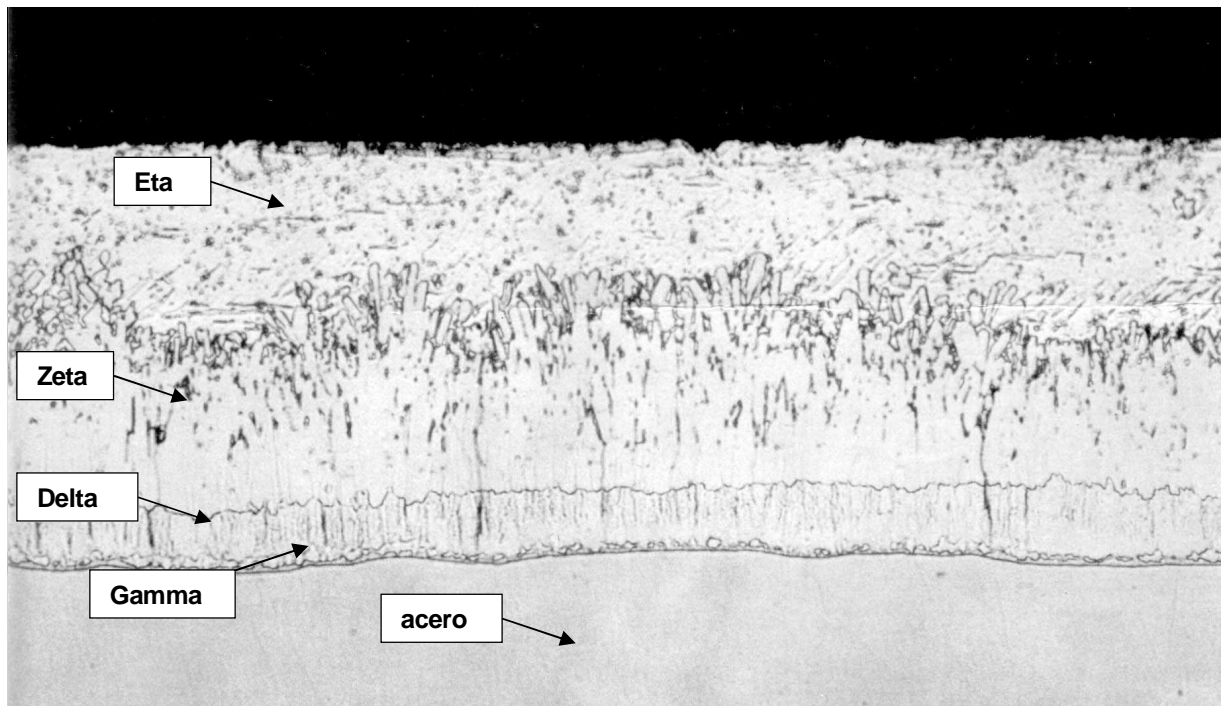
El **decapado** involucra la inmersión de las piezas en una solución ácida (por lo general ácido sulfúrico caliente o ácido clorhídrico a temperatura ambiente) con el fin de eliminar las cascarillas u óxido de la superficie (ambos, óxidos de hierro). El término "cascarillas" es por lo general utilizado para describir los óxidos de hierro que se forman a altas temperaturas tales como los que se forman durante el enrollado en caliente, el recocido en aire, o la soldadura. El óxido es el producto de la corrosión de la superficie del acero cuando se humedece. Ambos tipos de óxido de hierro necesitan ser removidos antes de la aplicación del recubrimiento de zinc.

**El tratamiento con fundentes** implica la aplicación de un recubrimiento químico especial sobre la parte de la superficie de la parte de acero. Este "fundente" sirve para los mismos propósitos que los fundentes utilizados las operaciones de soldadura. El fundente químico (cloruro de zinc y de amonio) es diseñado para remover químicamente los últimos vestigios de óxidos justo mientras el acero es sumergido en el baño de zinc fundido, y permite que el acero sea humedecido por el zinc fundido. El fundente puede ser "seco" o "húmedo". El fundente seco implica la inmersión de la pieza de acero en una solución acuosa de fundente. Después de retirarla, la solución de fundente es secada antes de sumergirla en el baño de zinc. (Observe que existe un proceso de galvanizado continuo que utiliza fundente seco, ver *GalvInfoNote 2.7*). En el fundente húmedo, se hace flotar una capa de cloruro de zinc y de amonio líquido (fundido) sobre el baño de zinc fundido. La pieza a ser recubierta es entonces sumergida a través del fundente fundido a medida que es introducido al baño del recubrimiento zinc. (El fundente húmedo funciona porque el cloruro de zinc y de amonio tiene un punto de solidificación inferior al del zinc fundido y es menos denso que el zinc fundido, por lo que flota en la superficie del baño).

Al igual que el galvanizado continuo, la aplicación del recubrimiento de zinc en el galvanizado discontinuo o por lotes involucra la inmersión del acero en un baño de zinc fundido. Sin embargo, en contraste con el proceso continuo en el cual el acero es sumergido por muy breve tiempo, el proceso por lotes requiere que la pieza sea sumergida por tiempos mucho más prolongados, medidos por lo general en minutos, no segundos. Hay dos razones por las que se necesita un mayor tiempo de inmersión. Una es permitir que la pieza alcance la temperatura del baño. La inmersión de una tubería grande, de paredes gruesas, relativamente fría, por ejemplo, origina una capa de zinc enfriada en su superficie cuando se le sumerge por primera vez. Para que el recubrimiento se enlace metalúrgicamente al acero, la tubería debe alcanzar la temperatura del baño para "refundición" del zinc. Después de esto, se requiere de tiempo adicional para desarrollar una zona de enlace de aleación hierro-zinc.

A diferencia del proceso continuo, en el cual la capa de aleación ha de mantenerse muy delgada para facilitar la conformabilidad posterior en su forma final, para las piezas galvanizadas por lotes puede permitirse que la capa de aleación se torne mucho más gruesa. De hecho, una capa más gruesa de enlace de aleación es a menudo preferida para dotar de una larga vida al producto final, es decir, un mayor tiempo antes de la aparición de óxido. Como el zinc en sí, la capa de aleación es galvánicamente protectora de la pieza de acero y una capa más gruesa significa mayor protección. Sí, la capa de aleación es dura y frágil, pero ya que la pieza ya ha sido fabricada, no habrá moldeados adicionales que puedan agrietar la aleación. La frágil capa de aleación no

es dañina. No provocará daños en el recubrimiento durante el embarque y el subsecuente manejo en el lugar de trabajo. Una representación microfotográfica de la capa de aleación que se forma cuando el acero es sumergido en el baño de zinc se muestra en la Figura 1. Como se puede ver en esta fotografía, la capa de aleación es tanto como el 50% del espesor total del recubrimiento y consiste de dos o más fases de la aleación (capas distintas) de zinc y hierro. Cada una de estas fases distintas se combina para formar la capa "total" de la aleación hierro-zinc en diferentes fases. Cada fase en realidad tiene una cantidad específica de hierro y zinc. La fase o capa más cercana al acero tiene el contenido más alto de hierro mientras que la capa inmediatamente adyacente a la capa de zinc puro exterior tiene el menor contenido de hierro. La composición y propiedades de estas capas de aleación se muestran en la Tabla 1.



**Figura 1: Sección transversal de un recubrimiento galvanizado discontinuo por inmersión en caliente.**

Recuerde, la capa de aleación crece por una reacción de unión difusa entre los átomos de acero y zinc. Es un proceso que depende del tiempo, y para la mayoría de los aceros, un tiempo mayor de inmersión provee una capa de aleación más gruesa. De hecho, para las piezas galvanizadas en lotes, con frecuencia se necesita un tiempo de inmersión adicional para alcanzar el espesor final requerido del recubrimiento protector (el espesor es una combinación de la capa de aleación y el recubrimiento de metal de zinc puro).

**Tabla 1: Composición y Propiedades de las Capas de Aleación en el Galvanizado Discontinuo (en Lotes) por Inmersión en Caliente**

Capa	Aleación	Hierro, %	Punto de Fusión		Estructura del cristal	Características de la aleación
			°C	°F		
Eta ( $\eta$ )	Zinc	0.03	419	787	Hexagonal	Suave, dúctil
Zeta ( $\zeta$ )	FeZn <sub>13</sub>	5.7-6.3	530	986	Monoclínico	Dura, frágil
Delta ( $\delta$ )	FeZn <sub>7</sub>	7.0-11.0	530-670	986-1238	Hexagonal	Dúctil
Gamma ( $\Gamma$ )	Fe <sub>3</sub> Zn <sub>10</sub>	20.0-27.0	670-780	1238-1436	Cúbica	Delgada, fuerte, frágil
Metal Base del Acero	Hierro	99+	1510	2750	Cúbica	-----

Como resultado de la capacidad de acomodar largos tiempos de inmersión, el espesor final del recubrimiento (zinc puro + capa de aleación) en las piezas galvanizadas por lotes es con frecuencia considerablemente mayor que el recubrimiento en planchas de productos galvanizados en continuo -al menos el espesor puede ser mucho mayor si se desea o requiere. Ésta es una diferencia importante entre el proceso de galvanizado por lotes y el proceso de galvanizado continuo.

Existen puntos de producción que con frecuencia necesitan ser considerados con respecto al espesor máximo de la capa de aleación que puede ser alcanzada durante el galvanizado por lotes. A medida que la capa de aleación crece, su tasa de crecimiento disminuye porque la difusión a través de la cada vez más gruesa capa de aleación toma más, resultando en un límite práctico para el espesor final. Además, para algunas composiciones de acero, el enlace de aleación que aumenta uniformemente no se forma en la superficie. En vez, la aleación crece hasta cierto espesor y luego empieza a fragmentarse de la superficie del acero. Cuando este tipo de comportamiento es experimentado, el espesor máximo práctico de recubrimiento es menor que cuando la aleación continúa creciendo como una capa compacta.

### Composición del Baño de Zinc para el Galvanizado Discontinuo (por Lotes)

Históricamente, el baño de zinc utilizado para el galvanizado discontinuo o general contiene entre 0.5 y 1.0% de plomo. El plomo tiene dos efectos. Primero, promueve que la formación de una superficie típica, atractiva y grandemente brillante, la cual, durante años, fue "la forma de identificar recubrimientos galvanizados". Segundo, el plomo era beneficioso para lograr "drenaje gratis" del exceso de zinc a medida que la parte era quitada del baño. En algunos casos hoy en día, el bismuto viene sustituyendo al plomo para alcanzar drenaje gratis de los excesos de zinc. Las aleaciones que contienen bismuto para su uso en la industria de galvanizado general se encuentran disponibles hoy para una cantidad de proveedores de zinc.

En la actualidad, otra adición para aleaciones de zinc que está recibiendo algo de atención como una forma de mejorar aún más el desempeño del recubrimiento, es la adición de níquel en el baño de galvanizado. La influencia del níquel es importante con respecto al desarrollo de la capa de aleación de zinc y hierro, especialmente cuando se galvanizan aceros con alto contenido de silicio. Este desarrollo es aún bastante nuevo y los aspectos metalúrgicos relacionados con la adición de pequeñas cantidades de níquel todavía están siendo investigados.

La adición de entre 0.15 y 0.20% de aluminio al baño de recubrimiento -una adición requerida al baño en el galvanizado continuo- no es una práctica típica para el galvanizado discontinuo. En el galvanizado general, el desarrollo de una capa gruesa de aleación es importante para alcanzar el espesor de recubrimiento requerido. El aluminio actúa como un inhibidor e interfiere con esta acción.

---

## Espesor de las Piezas

Otra diferencia entre los dos procesos, continuo en comparación con el discontinuo, se relaciona con el espesor del material que puede ser galvanizado sin experimentar “distorsiones al calor” del acero. En el proceso continuo, el acero muy delgado puede ser recubierto. La razón por la que esto puede ser logrado es que durante el galvanizado continuo, la plancha de acero es mantenido bajo algo de tensión al ser procesada. Se necesita aplicar tensión para “jalar” la banda de acero a través de la línea de recubrimiento, y para mantener la planitud de la plancha. La distorsión de la plancha puede ocurrir durante la exposición a las altas temperaturas del horno de recocido. La tensión previene la distorsión, y permite una aplicación controlada y uniforme de zinc sobre planchas muy delgadas, las que de otro modo no serían posibles si no fueran planas.

En el proceso por lotes, los productos sumergidos en el baño de recubrimiento no están restringidos por la aplicación de fuerzas externas. La parte tiene que ser diseñada para ser dimensionalmente estable durante la exposición a la temperatura del baño. Esto es logrado al usar tanto aceros más gruesos como principios de diseño de piezas que previenen las distorsiones generadas por el calor. Además, un estiramiento temporal puede ser usado para las piezas de paredes delgadas para minimizar las distorsiones causadas por el calentamiento. Dicho de manera simple, no es fácil galvanizar por lotes piezas fabricadas de planchas delgadas de acero, así como no es sencillo galvanizar en continuo planchas de acero pesado.

Para información más detallada del proceso de galvanizado general después de fabricadas las piezas, visite la página Web de la *The American Galvanizers Association* en [www.galvanizeit.org/](http://www.galvanizeit.org/).

## Resumen

Tanto el proceso de galvanizado discontinuo (por lotes) como el continuo han estado en uso por muchos años. Ambos procesos proveen un recubrimiento de zinc resistente a la corrosión que ha probado ser un método de valor agregado para proteger el sustrato de acero en una cantidad de aplicaciones. A través de los años, ambos procesos han pasado por avances tecnológicos que continúan expandiendo los mercados para aceros galvanizados.

Los dos procesos descritos en este artículo son generalmente aplicables a diferentes espectros de espesor de acero. Sí, hay algo de duplicación en que el acero grueso puede ser galvanizado en continuo y que el acero delgado puede ser galvanizado en lotes, pero en términos muy generales, los dos procesos son complementarios y permiten a la naturaleza protectora del zinc ser utilizada para una amplia gama de productos de acero.

Copyright<sup>®</sup> 2007 – ILZRO

---

### Renuncia de responsabilidad:

Los artículos, reportes de investigación y datos técnicos se proveen únicamente con fines informativos. Aunque quienes los publican intentan proveer información precisa y actual, la Organización Internacional de Investigación del Zinc y el Plomo no garantiza los resultados de la investigación o información reportada en esta comunicación y renuncia a cualquier responsabilidad por daños que surjan de confiar en los resultados de las investigaciones u otra información contenida en esta comunicación, incluyendo, sin limitación, daños incidentales o consecuencias.