



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE UNA ALEACIÓN ZINC-ALUMINIO PARA LA
REDUCCIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA CONCENTRACIÓN DE
ALUMINIO EN EL PROCESO DE GALVANIZADO**

Jorge Rony Roca Ramírez

Asesorado por el Ing. Ribelino Martín Santos Monterroso

Guatemala, octubre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE UNA ALEACIÓN ZINC-ALUMINIO PARA LA
REDUCCIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO
EN EL PROCESO DE GALVANIZADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JORGE RONY ROCA RAMÍREZ

ASESORADO POR EL ING. RIBELINO MARTÍN SANTOS MONTERROSO
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola de Lòpez
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Williams Alvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Jaime Domingo Carranza González
EXAMINADOR	Ing. Víctor Herber de León Morales
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO EXPERIMENTAL DE UNA ALEACIÓN ZINC-ALUMINIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE GALVANIZADO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el 4 de octubre de 2007.



Jorge Rony Roca Ramírez

16 de Julio de 2008

Ingeniero Williams Álvarez
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente,

Estimado Ingeniero Álvarez,

Esperando que todas sus actividades se desarrollen de la mejor forma y con toda tranquilidad; el motivo de la presente es para informarle que he asesorado el Informe final de trabajo de graduación titulado: "*Diseño Experimental de una aleación Zinc-Aluminio para la reducción de la variabilidad de la concentración de aluminio en el proceso de galvanizado*". Presentado por el estudiante Jorge Rony Roca Ramírez, Carnet 96-16053, habiéndolo revisado, doy mi aprobación para que sea presentado ante usted y las autoridades que correspondan,

Respetuosamente,



Ing. Ribelino Martín Santos Monterroso

Asesor

Colegiado No. 918



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Guatemala, 2 de Octubre de 2008
Ref. EI.Q.259.2008

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-079-08-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario **JORGE RONY ROCA RAMÍREZ**, identificado con carné No. **1996-16053**, titulado: **DISEÑO EXPERIMENTAL DE UNA ALEACIÓN ZINC-ALUMINIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE GALVANIZADO**, el cual ha sido asesorado por el Ingeniero Químico Ribelino Martín Santos Monterroso como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Roca Ramírez** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. **Feressa Lisely de León Arana, M.Sc.**

COORDINADORA
Tribunal que revisó el informe final
Del trabajo de graduación

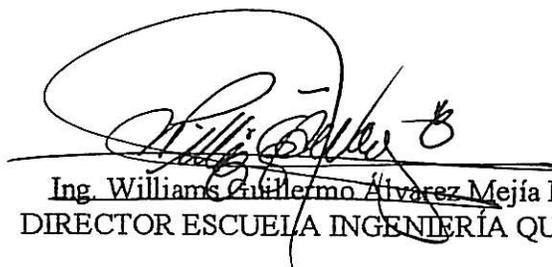


ESCUELA DE
INGENIERÍA QUÍMICA



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía, M.Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el trabajo de graduación del estudiante **Jorge Rony Roca Ramírez** titulado: **“DISEÑO EXPERIMENTAL DE UNA ALEACIÓN ZINC-ALUMINIO PARA LA REDUCCIÓN DE LA VARIABILIDAD DE LA CONCENTRACIÓN DE ALUMINIO EN EL PROCESO DE GALVANIZADO”**, procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos.


Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M.Sc.
DIRECTOR ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA



Guatemala, octubre de 2,008

C.c.: archivo

AGRADECIMIENTOS A:

Dios, por todas las bendiciones recibidas durante mi vida.

Mi amada Esposa **Marlen**, por su amor, comprensión y paciencia.

Mi adorado hijo **Jorge Andrés**, por ser luz en mi vida.

Mi padre, *Jorge Rony* y especialmente a mi madre, *Anabela*, por su amor y todos los sacrificios realizados para que yo pudiera superarme en la vida.

Mis hermanos *José Francisco* y *María Fernanda*, por su amor y apoyo en todo momento.

Mi segunda familia, *don Victor*, *María del Carmen*, *Victor Gabriel* y *Claudia Rodríguez*, por todo el amor, amistad, apoyo y muestras de afecto recibido durante todos estos años.

Mi asesor *Ing. Ribelino Santos*, por su amistad y apoyo en la elaboración de este trabajo y mi crecimiento profesional.

Todos mis amigos, por su entusiasmo y amistad que me ayudaron a ser una mejor persona.

Todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a mi formación profesional y personal.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV

1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

1.1. Información general	1
1.1.1. Breve historia	1
1.1.2. Proceso de galvanizado por inmersión en caliente.....	2
1.1.3. Formación de escoria	3
1.1.3.1. Escoria superior.....	4
1.1.3.2. Escoria inferior.....	4
1.2. El rol del aluminio en el galvanizado por inmersión en caliente.....	5
1.2.1. Metalurgia del recubrimiento.....	6
1.2.2. Mejorando la frágil capa de aleación.....	7
1.2.3. Química de la capa de aleación (Porque el aluminio cambia la capa de aleación).....	9
1.2.4. Contenido de aluminio en el recubrimiento.....	10
1.2.5. Factores que afectan la vida de la Paila de Galvanizado.	11

1.2.5.1. Temperatura	11
1.2.5.2. Agitación	12
1.2.5.3. Concentración de aluminio en la capa de zinc.....	12

2. METODOLOGÍA

2.1. Control de aluminio en el baño de zinc.	15
2.2. Nuevo sistema de control de concentración de aluminio Desarrollo de Aleación Zn 200 SJ.....	15
2.3. Condiciones del experimento para control de la variabilidad de aluminio.....	17
2.4. Procedimiento para establecer la variabilidad en la lámina de la apariencia	19
2.5. Concentración de aluminio en la escoria superior.....	19
2.6. Metodología para establecer la formación de escoria inferior.....	20
2.7. Evaluación del desprendimiento del galvanizado	21

3. RESULTADOS

3.1. Análisis de la escoria superior	23
3.2. Análisis de la escoria inferior	23
3.3. Evaluación del control de aluminio en el proceso	24
3.4. Evaluación de la adherencia de la capa de galvanizado.....	26

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Errores en la medición de aluminio en el proceso de galvanizado	31
4.1.1. Variación posicional del aluminio.....	31
4.1.2. Segregación del aluminio durante el enfriamiento de la muestra.....	32
4.1.3. Limitaciones del método de análisis.....	32
4.2. Causas de la variación del aluminio en el baño de galvanizado.....	32
4.2.1. Sistema de control de adición.....	33
4.2.2. Programación	33
4.2.3. Patrones de flujo	33
CONCLUSIONES	35
RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	39
APÉNDICE	41
ANEXOS	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Prueba de doblez	8
2	Diagrama entrada proceso salidas	17
3	Comportamiento de la concentración de aluminio con el sistema de adición tradicional con aleación Zinal 90/10	24
4	Comportamiento de la concentración de aluminio con el sistema de adición con aleación específica (Zn 200SJ)	25
5	Análisis de Cp y Cpk de la concentración de aluminio en el proceso de galvanizado, utilizando ambos métodos de control.	25

TABLAS

I	Principales variables del diseño del experimento	18
II	Concentración de aluminio en muestras de escoria superior	23
III	Detección de escoria inferior	24
IV	Resultado de prueba de doblez	26

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
δ	Desviación estándar
Cp	Índice de capacidad de proceso
Cpk	Índice de capacidad de proceso k
%	Porcentaje, para concentración de elementos se considera en peso.
°C	Grados Celsius

GLOSARIO

Acero	Aleación de hierro y carbono, donde el carbono no supera el 2.1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2% de carbono dan lugar a las fundiciones, aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar, a diferencia de los aceros, se moldean.
Acero Inoxidable	Estos aceros están basados en la adición de cantidades considerables de cromo y níquel a los que se suman otros elementos para otras propiedades más específicas. Son resistentes a ambientes húmedos, a agentes químicos y a altas temperaturas.
Aleación SJ200	Aleación Zinc Aluminio con un porcentaje de 0.40% de aluminio.
Escoria inferior <i>"Bottom Dross"</i>	Resultado del pobre contenido de aluminio en el baño de zinc, típicamente contiene una composición de 20% de cristales de aleación Fe/Zn.
Escoria superior <i>"Top Dross"</i>	Aleación ternaria de Fe/Zn / Al con una composición aproximada de 40% de hierro (Fe), 20% de zinc (Zn), 40% de aluminio (Al). Esta aleación es menos densa que el zinc y flota.

Corrosión	Deterioro de un material debido a un ataque electroquímico por su entorno siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, la salinidad del fluido en contacto con el metal y las propiedades de los metales en cuestión.
Galvanizado	Dar un baño de zinc fundido a un metal para que no se oxide.
Jumbo	Presentación de aleaciones y metales, cuyo peso varía entre 950 a 1250 Kg.
Paila de Galvanizado	Deposito metálico de Acero Inoxidable que contiene los metales fundidos en donde se sumerge el acero para ser galvanizado. Las paredes tienen un espesor de 1½'' y tiene una capacidad aproximada de 142 TM de metal fundido.
Zinal 90/10	Aleación con contenidos de 90% y 10% en peso de Zinc y aluminio respectivamente.
Zinc SHG	<i>Zinc Special High Grade</i> por sus siglas en inglés, con un contenido mínimo de Zinc de 99.995%.

RESUMEN

Se utilizó una aleación específica de Zn-Al denominada Zn 200SJ, cuyo contenido químico es similar a las concentraciones que se manejan en la paila de galvanizado en el proceso de galvanizado continuo por inmersión en caliente, esto con el objetivo de disminuir la variabilidad de la concentración de aluminio en el baño de galvanizado.

Actualmente se utiliza una aleación denominada Zinal 90/10 con un contenido de 10% de aluminio, pero se tienen variaciones superiores a los rangos de control establecidos en la concentración del elemento, por tal motivo, se diseñó el experimento que se presenta en el presente trabajo.

Se tomaron en cuenta todos los factores que pudieran afectar el proceso, dejándose constante las concentraciones de Antimonio (rango 0.20 a 0.30%), no se utilizaría de ser necesario Zinc SHG (99.99% Zn), no se utilizaría de no ser necesario Zinal 90/10 (Al 10%), Temperatura de paila estándar (460 °C), Parámetros de tanques de limpieza (desengrasante y ácido clorhídrico), Pasivado, estándares. Se sacaron muestras de escoria superior para determinar pérdidas de metal, se verificó la no formación de escoria inferior, se inspeccionó la calidad del producto (apariencia de lámina galvanizada, adherencia). Todos los análisis químicos fueron efectuados por medio de espectrofotometría de absorción atómica por flama.

Se pudo determinar que el uso de la aleación ZN200SJ efectivamente reduce la variabilidad de la concentración de aluminio, ya que se observó una reducción en la desviación estándar en un 41%.

No se observó formación de escoria inferior que es perjudicial en el proceso de galvanizado, el contenido de aluminio en el escoria superior se redujo de un 1% (en proceso habitual) a un 0.40%, (en la prueba), lo que significa un 60% de reducción de pérdidas de este metal en la escoria. La calidad del producto no se vio afectada, se mantuvieron los estándares de apariencia (flor regular brillante), adherencia (OT), por último se determinó que utilizar la aleación significa el incremento de un 0.91% en el costo del producto, producto de la diferencias de precios entre la aleación en prueba y las otras comúnmente utilizadas y dependerá de la diferencia de precios entre estas en un determinado momento.

OBJETIVOS

- **General**

Evaluar el desempeño de la aleación específica Zn/Al (Zn 200SJ), en un proceso de galvanizado continuo por inmersión en caliente.

- **Específicos**

1. Evaluar el efecto de la aleación ZN 200SJ en la variabilidad de la concentración de aluminio en la paila de metal fundido.
2. Determinar la incidencia del uso de la aleación Zn 200SJ en la pérdida de aluminio durante la extracción de Escoria Superior y formación de Escoria Inferior, respecto a la aleación utilizada actualmente.
3. Evaluar mediante pruebas dobléz la adherencia de la capa de galvanizado en el producto final, habiendo utilizado la aleación Zn 200SJ.
4. Verificar la apariencia del producto galvanizado, mediante el uso de la aleación ZN 200SJ.

INTRODUCCIÓN

En el proceso de galvanizado continuo por inmersión en caliente se tienen consumos de diferentes metales (zinc y aluminio entre otros), los cuales contribuyen al adecuado recubrimiento de la lámina y mantiene la calidad del galvanizado (apariencia y adherencia). Se ha observado que durante el proceso existe una inestabilidad en la concentración de aluminio, se tienen valores que están muy por encima o debajo de los límites documentados en el proceso. El adecuado control sobre la concentración de Aluminio en el proceso de galvanizado es crucial para evitar pérdidas por consumos elevados y pérdidas en la escoria, corrosión acelerada en la paila de galvanizado, así como para asegurar la calidad del producto final.

En este trabajo se utiliza una aleación específica de Zinc-Aluminio para mantener bajo control la concentración del aluminio, misma que servirá para disminuir la variación en la concentración.

Esta aleación, denominada Zn 200SJ, presenta una composición química aproximada de 0.4% de aluminio, en contraste con la actualmente usada de 10% de aluminio.

Finalmente, se realiza un estudio de la variabilidad de las concentraciones, apariencia de la lámina galvanizada, adherencia, formación de escoria, comparando estas variables al utilizar el método

tradicional de adición de Aluminio y utilizando la aleación específica de Zinc 200SJ.

1. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

1.1 Información General

1.1.1 Breve Historia

Se conoce como galvanizado al proceso por el cual se puede cubrir un metal con otro. Se denomina galvanización, pues este proceso se desarrolló a partir del trabajo de Luigi Galvani (Wikipedia), quien descubrió en sus experimentos que si se pone en contacto un metal con una pata cercenada a una rana, ésta se contrae como si estuviese viva, luego descubrió que cada metal presentaba un grado diferente de reacción en la pata de rana, por lo tanto, cada metal tiene una carga eléctrica diferente.

Más tarde ordenó los metales según su carga y descubrió que puede recubrirse un metal con otro, aprovechando esta cualidad (siempre depositando un metal de carga mayor sobre uno de carga menor).

La función del galvanizado es proteger la superficie del metal sobre el cual se realiza el proceso. El Galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc (Zn) sobre acero (Fe); ya que, al ser el zinc más oxidable que el hierro y generar un óxido estable, protege al acero de la oxidación al exponerse al oxígeno del aire.

Existen varios métodos de galvanización, pero el que se tratará en el presente trabajo es el método de galvanizado por Inmersión en caliente (apéndice 1), éste se utiliza desde hace más de 100 años para proteger el acero de la corrosión. El recubrimiento protector se produce al sumergir productos de acero en un baño de zinc fundido. La película de zinc que se forma sobre el acero lo protege de dos maneras, protección de barrera y protección catódica. Es este último tipo de protección la que permite que productos de acero puedan permanecer sin corrosión durante décadas. Esto se explica por que en presencia de humedad el zinc actúa como ánodo y el acero como cátodo, de manera que el zinc se corroe en una acción de sacrificio y evita que el acero se oxide.

1.1.2 Proceso de galvanizado en caliente

El proceso de galvanizado mas desarrollado en la actualidad es el de galvanizado continuo por inmersión en caliente (*Hot Dipp Process*). Este sistema continuo consta de varias etapas, a continuación se enumeran las principales (Apéndice 1):

1. Ingreso de rollos
2. Limpieza alcalina
3. Enjuague en caliente
4. Limpieza ácida o decapado
5. Enjuague en frío
6. Precalentamiento de la tira de acero negro
7. Inmersión de la tira en el baño de zinc o galvanizado

8. Enfriamiento por torre de aire
9. Enfriamiento por tanque de apagado
10. Pasivado

Parte fundamental del proceso es mantener las condiciones de limpieza y del baño de galvanizados controlados, para obtener un óptimo recubrimiento y apariencia del producto.

1.1.3 Formación de escoria

Conforme la tira de acero que está siendo galvanizada pase a través del baño, ocurre un crecimiento de aleación y cierta cantidad de hierro es disuelta en el zinc. La cantidad de hierro que se disuelve depende de varias variables, incluyendo la temperatura del baño, la velocidad de la línea, la condición de la superficie de la tira y la cantidad de Al que está presente en el metal fundido.

“La solubilidad del hierro en el zinc entre 450 y 455 grados Celsius es de aproximadamente 0.03%” (R.C & S.J. Barret, 12), cuando se alcanzan estas condiciones, se llega a un estado de equilibrio dinámico en el que el hierro de la tira continúa disolviéndose y el exceso de hierro en el zinc se precipita hacia fuera como partículas sólidas de aleación hierro-zinc (Fe-Zn) o cristales similares a las aleaciones que ocurren en la interfase entre el acero base y el revestimiento.

1.1.3.1 Escoria Superior

Cuando el aluminio está presente en la capa de zinc a una concentración de más de 0.12%, una aleación ternaria de Fe/Zn / Al con una composición aproximada de 40% de hierro (Fe), 20% de zinc (Zn), 40% de aluminio (Al) es formada. Esta aleación es menos densa que el zinc y flota a la superficie de la capa de zinc donde forma la escoria superior.

1.1.3.2 Escoria Inferior

En un baño de galvanizado una aleación Fe/Zn binaria libre de aluminio, se forma en cristales. Siendo más densos que el zinc, estos se hunden al fondo de la capa de zinc donde forman una mezcla blanda con el zinc de retiro. Esta mezcla se llama escoria inferior y típicamente contiene una composición de 20% de cristales de aleación Fe/Zn, el resto siendo zinc.

La escoria inferior es encontrada en el fondo de la paila de galvanizado y si se permite que se acumule, forma una barrera en la capa de zinc que es indeseable por las siguientes razones:

- La escoria es pobre conductor de calor y restringe severamente la transferencia de calor a través de las interfases de Zinc (Zn) esto causa una reducción en la temperatura de la capa de zinc que a su vez resulta en un producto galvanizado de muy mala apariencia.

- La presencia de la escoria inferior resulta en un aumento de la tasa de corrosión de las paredes de la paila en la vecindad de la escoria.
- Las partículas de escoria inferior quedan atrapadas en el revestimiento, lo que resulta en revestimientos de pobre apariencia.
- Retirar la escoria inferior es difícil y consume bastante tiempo.

1.2 El rol del aluminio en el galvanizado por inmersión en caliente

La mayoría de la producción de lámina galvanizada por el proceso de inmersión en caliente en el mundo, es procesada en líneas en donde la paila de galvanizado contiene una pequeña cantidad de aluminio. De hecho esta es la causa que las láminas galvanizadas sean usadas hoy en día para una gran variedad de productos de gran demanda. El agregar esta pequeña cantidad de aluminio en la hoja galvanizada no ayuda en ninguna forma a mejorar su desempeño contra la corrosión, pero sí ayuda a mejorar en mucho la adhesión de la capa de galvanizado durante el formado de la lámina, así como, mejorar su apariencia (brillo).

1.2.1 Metalurgia del recubrimiento

Idealmente la hoja de acero debe ingresar a la paila de galvanizada limpia, libre de óxidos y otras impurezas, la tira se sumerge en el baño que se encuentra entre 450 a 460 grados Celsius.

Durante el tiempo que la hoja es inmersa en el baño de metal fundido (zinc), el acero y el zinc reaccionan metalúrgicamente. Los átomos superficiales de la hoja de acero que aun se encuentra en su estado sólido, y los átomos de zinc se combinan. A este proceso se le llama difusión. Los átomos de zinc se mueven en dirección del acero y los átomos de hierro en el acero migran hacia el zinc fundido. El resultado es la formación de una sólida capa combinada entre el acero y el zinc. Esta capa contiene átomos de zinc y hierro en proporciones específicas que forman un compuesto inter-metálico. Como es bien sabido, esta mezcla de átomos de diferentes metales es llamado aleación. Y la zona en donde se da la difusión es llamada aleación inter metálica y es esta zona la que provee el anclaje íntimo entre el acero y la capa de zinc (GalvInfoNote 2.4, 1). La capa inter-metálica formada (Zn-Fe) provee un alto grado de adherencia entre el acero base y la capa de zinc superficial. Desafortunadamente, esta aleación tiene una muy pobre ductibilidad lo que la hace dura y quebradiza, por lo que, cuando se necesita realizar algún dobléz o forma a la pieza, existe una gran tendencia al resquebrajamiento de la capa de recubrimiento lo que lo hace ineficiente para quiebres, dobleces y embutidos.

1.2.2. Mejorando la frágil capa de aleación

Una capa de aleación es vital para conseguir una buena adherencia entre el acero y el zinc. Esta capa debe ser continua sobre toda la superficie de la tira para que esté libre de poros. Sin interferir en la formación de la aleación de la zona de adherencia.

Desde hace aproximadamente 50 años fue descubierto que la adición de una pequeña cantidad de aluminio en el baño de recubrimiento elimina el problema del resquebrajamiento de la capa de zinc (Apéndice 6), Se observó que la adición de aluminio en el baño de zinc hace la capa de la aleación más delgada comparada con un baño libre de aluminio. De hecho, el aluminio actúa como un inhibidor que baja eficazmente la velocidad de reacción zinc-hierro. De tal forma con esta modificación el producto gana una gran adhesión en la capa de zinc, por lo que se pueden producir productos a los cuales se les puede realizar dobleces y formas sin que la capa de zinc pierda su adhesión al acero (mejor calidad de producto).

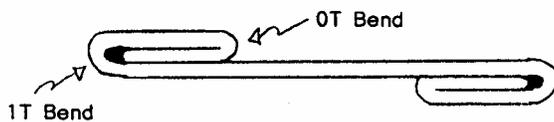
De hecho uno de los aspectos que determinan la calidad del producto galvanizado es la adherencia de la capa, se tienen varios métodos para medir este aspecto, existe la prueba de doblez citada en las normas ASTM, específicamente en la ASTM A 653/A 653M-07 Tabla XI.1 (no mandatoria) ver Anexo 3.

La prueba de doblez consiste en determinar la adherencia de la capa de zinc o de pintura por medio del apesamiento por presión de un doblez de la lámina analizada. La prueba de doblez es una prueba cualitativa. La severidad de la prueba es función directa del ángulo de doblez y del diámetro interno al cual la muestra es doblada, además también es función de la selección de la sección transversal que se considere.

Los resultados se expresan en función del diámetro menor en que no exista desprendimiento de la capa de zinc, así se denota como

0 diámetros:	0T
1 diámetro:	1T
2 diámetros:	2T
3 diámetros:	3T, etc.

Figura 1. Prueba de doblez



Fuente: Instructivo para prueba de doblez IN-22-09. Pág 2.

1.2.3 Química de la capa de aleación (por qué el aluminio cambia la capa de aleación).

Esta pequeña cantidad de aluminio tiene tanta influencia en la razón de crecimiento de la capa de aleación, porque cuando el aluminio está presente a estos niveles en el baño de recubrimiento, el compuesto normal de aleación zinc-hierro, FeZn_7 , que se forma en la superficie del acero (y crece a gran velocidad), ya no es el compuesto más estable. El aluminio tiene mayor afinidad al hierro que el zinc, inmediatamente después que la tira de acero entra en el baño, (alrededor de 0.15 segundos) (GalvInfoNote 2.4, 3) el compuesto intermetálico formado no es hierro - zinc, si no que es un compuesto formado por aluminio y hierro, Fe_2Al_5 . Esta capa de aleación (Conocida como barrera o capa de inhibición), es extremadamente delgada y retiene la reacción hierro - zinc. Al momento de que la tira deja el baño (aproximadamente 2 a 4 segundos después) una parte de zinc es tomada entre esta capa de aleación, pero su naturaleza es completamente diferente de aquella que ocurre en ausencia de aluminio (Anexo 1). Es una muy delgada capa de aleación ternaria compuesta aproximadamente de 45% Al, 35% Fe y 20-35% Zn ($\text{Fe}_2\text{Al}_5 \cdot x\text{Zn}_x$). En lugar del alto grado de difusión que ocurre cuando el zinc líquido y hierro sólido forman el compuesto binario FeZn_7 , en ausencia de aluminio, el ritmo de difusión es ahora dependiente de las características de transporte del zinc entre la barrera creada por el compuesto Al - Fe. La reacción entre el zinc y el hierro es retardada, y el resultado neto es que el espesor final de la capa de aleación es menor que cuando

depende de la razón de difusión a través de la creciente zona de aleación de hierro – zinc (Anexo 2).

1.2.4 Contenido de aluminio en el recubrimiento

Recordemos que para la producción de hoja galvanizada, el baño puede contener de 0.15 a 0.17% de aluminio, cuando una capa de recubrimiento de aquel baño es analizado posteriormente, se encuentra que tiene un volumen de aluminio contenido de 0.25 a 0.40%, pareciera que la composición de aluminio se incrementara, esto es explicado por la gran afinidad del aluminio al hierro, la primera aleación formada es Fe_2Al_5 en peso aproximadamente 55% de aluminio. El Aluminio se concentra en el la interfase hierro – zinc y es arrastrado del baño en la tira de acero. El espesor de la capa de inhibición es independiente de la masa de recubrimiento. Por esto es que un recubrimiento menor (menos masa) contiene un alto porcentaje de aluminio. La tasa y el método de adición de aluminio en la paila o baño debe tener en cuenta las variables que causan la variación de la tasa de arrastre del baño. Capas en espesores delgados (alta área de superficie) con delgadas capas de zinc remueve aluminio a mucha mayor velocidad que espesores gruesos con recubrimientos mayores. Existen otros factores que controlan el contenido de aluminio en el recubrimiento, tales como, el tiempo de inmersión de la tira, tasa de adición de aluminio, temperatura del baño de zinc y el tipo de acero.

1.2.5 Factores que determinan la vida de la paila de galvanizado

El zinc fundido proporciona un ambiente particularmente corrosivo para la paila de acero y los demás componentes del acero inmersos. El acero en el baño es altamente afectado por el aluminio presente. La corrosión de la paila de acero y los demás componentes de acero ocurren como resultado de alear acero con zinc.

Para maximizar la vida de trabajo de la paila (crisol) de acero y demás componentes sumergidos en el baño, es necesario que estén bien controlados los factores que agravan los efectos corrosivos. Los más significativos son:

1.2.5.1 Temperatura

La temperatura de la capa de Zinc (Zn) deberá ser controlada en el rango de 450 a 460 grados Celsius. Esto está suficientemente por sobre el punto de fusión de la aleación de zinc, 418°C, no tan alto como para causar una corrosión excesiva de la paila y demás componentes de acero inmersos. Como guía, a temperaturas por sobre 450°C la tasa de ataque (corrosión) se duplicará por cada aumento de 10 grados °C en la temperatura, por lo tanto, a una temperatura de 470 grados °C, la tasa de ataque es 4 veces la tasa a 450 °C y a 480°C es 8 veces mayor.

En ciertas condiciones, se recomienda que la temperatura sea aumentada, pero debido a los efectos sobre la tasa de ataque corrosivo, la temperatura deberá ser vuelta a lo normal tan pronto como sea posible.

1.2.5.2 Agitación

La agitación, tal y como en cualquier proceso químico aumenta la tasa de reacción. En el proceso de galvanización, la agitación de los metales fundidos es causada por el paso de la tira, por la rotación de rodillos, por la adición de jumbos de aleaciones, por el retiro de escoria y natas, por las cuchillas de aire y agitadores instalados para mejorar la mezcla de los metales. Cierta cantidad de agitación es necesaria para asegurar que se mantenga una buena distribución de temperatura y composición uniforme, pero deberá evitarse la agitación innecesaria. En partes de la paila donde los efectos de la agitación inevitable son mayores, se provee una capa soldada de acero inoxidable del grado 316L para mejorar la resistencia al desgaste.

1.2.5.3 Concentración de aluminio en la capa de zinc

La presencia de aluminio en el baño de zinc aumenta significativamente la naturaleza corrosiva, y adiciones excesivas de aluminio pueden afectar seriamente la tasa de ataque contra los componentes de acero.

A niveles de 0.35% de aluminio, la tasa de ataque es de alrededor de 5 veces la tasa de ataque en la concentración de aluminio de 0.15%.

2. METODOLOGÍA

2.1 Control de aluminio en el baño de galvanizado.

El contenido de aluminio en la paila es el parámetro principal de control sobre la reacción Fe/Zn. Una cantidad mínima es requerida cuando se produce el producto galvanizado para asegurar buena adhesión. Esta mínima cantidad es parcialmente dependiente de las condiciones de la línea y su geometría (temperatura de la tira de acero que entra en el baño, temperatura del baño de zinc, velocidad de la línea, composición del acero), la cual puede también impactar en la reacción Fe/Zn. Además, estos niveles mínimos son establecidos para cada línea. El objetivo del operador es mantener el control del contenido de aluminio dentro de un rango establecido: arriba de un mínimo para asegurar las condiciones y el producto, y debajo de un máximo para no arriesgar los equipos a una corrosión acelerada así como evitar pérdidas por excesivas mermas en la escoria generada.

2.2. Nuevo sistema de control de concentración de aluminio desarrollo de aleación Zn 200 SJ

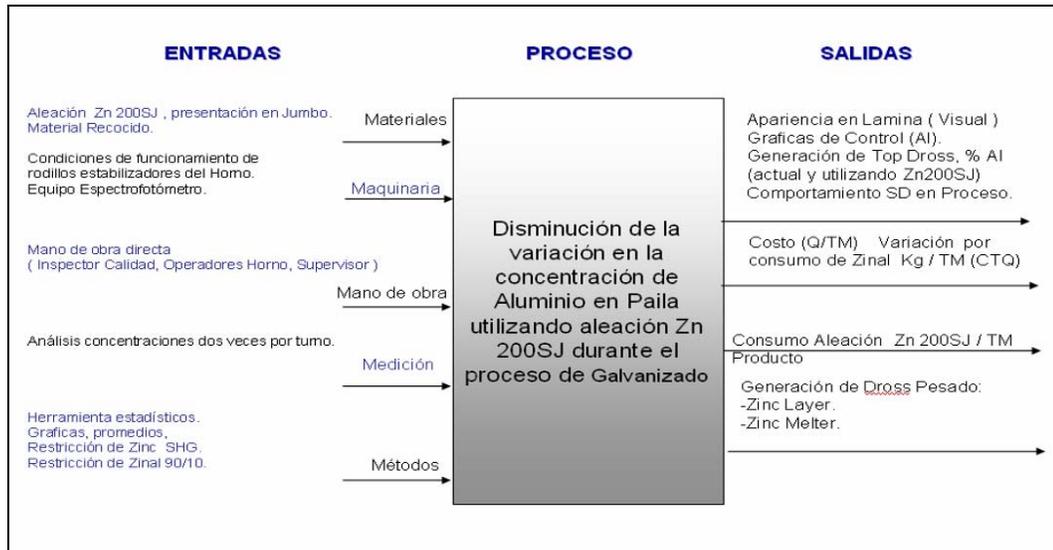
Tradicionalmente el control de aluminio en paila de galvanizado se realiza recargando barras o jumbos de aleación Zn/Al, denominadas Zinal, existen varios tipos de Zinal, el más utilizado es el 90/10, el cual contiene un 10% de Aluminio.

La deficiencia con este procedimiento es que no se controla en una forma adecuada la concentración de aluminio debido a lo alto de la concentración de este en la aleación, por lo que la variación es grande.

El nuevo sistema de control utiliza una aleación con un contenido de aluminio similar a la utilizada en el baño de galvanizado, esto ayuda a suavizar la variación cuando se adiciona aluminio en el baño. La aleación utilizada se denomina Zn 200SJ, con un contenido de aluminio de 0.40%, la presentación es en Jumbos de aproximadamente 1 TM de peso.

A continuación se presenta el diagrama IPO por sus siglas en Inglés (*Inputs - Process - Outputs*), en el se describen las entradas y salidas del proceso que se desea mejorar, esto con la finalidad de conocer las diferentes variables que están involucradas en el proceso.

Figura 2. Diagrama entrada proceso salidas



2.3. Condiciones del Experimento para control de la variabilidad de aluminio

La metodología utilizada es la siguiente:

- Consulta de datos históricos relacionados a las concentraciones de aluminio en el baño de galvanizado (Apéndice 4).
- Constantes Independientes:
 - a. Temperatura de baño de Zinc 460°C
 - b. Concentración de baños de limpieza estándar (desengrasante, ácido) y de pasivante.
 - c. Concentración de antimonio estándar
 - d. Adherencia del galvanizado: 0T
 - e. Generación de escoria inferior, negativa.

- f. Presión atmosférica constante
- Variables dependientes:
 - a. Concentración de aluminio en la paila de galvanizado
 - b. Variabilidad de la concentración de aluminio en la paila de galvanizado.
 - c. Concentración de aluminio en la escoria superior.

A continuación se resume el experimento en la siguiente tabla:

Tabla I: Principales variables del diseño del experimento

DISEÑO DE EXPERIMENTO

Condiciones de proceso	Temperatura de Paila oC	Concentración de antimonio%	Apariencia de la lámina	Adherencia del galvanizado (Doblez)	Generación de Escoria inferior	Concentración de Aluminio en el Escoria Superior	Concentración de baños de limpieza	Concentración de Aluminio en la Paila	Variabilidad de la concentración de Aluminio en Paila (Desviación Estándar, Cp, Cpk)
Aleación Zinal 90/10	460	0,20-0,30	Flor regular brillante	0T	Negativa	X1	Estándar	X2	δ1
Aleación Especifica SJ200	460	0,20-0,30	Flor regular brillante	0T	Negativa	X1	Estándar	X2	δ2

Para cumplir con el diseño del experimento se deben considerar los siguientes puntos:

1. Mantenimiento normal de las concentraciones de antimonio (0.20 - 0.30%).
2. Durante el experimento no se deberá agregar Zinal 90/10 a menos que se requiera por riesgo de generación de Escoria inferior.
3. Análisis de aluminio en baño de galvanizado por medio de espectrofotómetro de absorción atómica de llamas.
4. Generación de gráficas de control para monitorear el comportamiento de del aluminio en el baño de zinc.

2.4. Procedimiento para establecer la variabilidad de la apariencia en la lámina

- 2.4.1 Extraer una muestra de lámina galvanizada (1 pie de largo por el ancho del rollo) durante el proceso habitual de producción, sin utilizar la aleación específica de zinc.
- 2.4.2 Extraer una muestra de lámina galvanizada (1 pie de largo por el ancho del rollo) durante la prueba de la aleación específica Zn200SJ, la muestra deberá ser extraída por lo menos 48 horas después de haber empezado a utilizar la aleación.
- 2.4.3 Comparar visualmente las dos muestras, específicamente tamaño de flor (regular, mínima, grande) y brillo (opaco o brillante).

2.5. Concentración de aluminio en la escoria superior

- 2.5.1 Extraer una muestra de Escoria superior (100 gramos) antes de iniciar la prueba con la aleación específica, por lo menos una hora antes de la carga aleación Zinal 90/10.
- 2.5.2 Extraer una muestra de Escoria superior (100 gramos) antes de cargar jumbo de aleación ZN200SJ (la muestra debe tomarse por lo menos 48 horas después de estar utilizando la aleación específica).

- 2.5.3 Analizar ambas muestras por medio de espectrofotometría de absorción atómica, anotar y comparar resultados.

2.6. Metodología para establecer la formación de Escoria inferior

- 2.6.1 Durante la prueba de la aleación se deberá estar atento a la formación de Escoria inferior, tomando en cuenta los resultados de la concentración de Aluminio según datos obtenidos en el laboratorio de calidad. Recordemos que a concentraciones bajas (menores a 0.12% aproximadamente) es mayor la probabilidad de formación de este tipo de escoria.
- 2.6.2 Deberá introducirse una varilla lo suficientemente larga dentro del baño de zinc, la escoria inferior por ser más densa que el resto del metal fundido cae al fondo y es mas densa al contacto, por lo que la diferencia entre la capa de escoria y el metal se puede sentir.
- 2.6.3 Repetir el paso anterior por lo menos cada dos horas durante la prueba.
- 2.6.4 Controlar constantemente la temperatura del baño de zinc, la escoria es pobre conductor de calor, por lo que causa una reducción en la temperatura de la capa de Zinc.

2.7. Evaluación del desprendimiento del galvanizado

- 2.7.1 Hacer un dobléz manual en cada uno de los extremos de la muestra, estos deben formar entre las superficies un ángulo menor de 90° , introducir en prensa hidráulica, se realizan dos dobleces, uno contrario al otro, para determinar la adherencia, tanto en la cara superior como en la inferior.
- 2.7.2 Colocar la muestra entre las plataformas de la prensa hidráulica y accionar esta, hasta lograr un ángulo de dobléz de 180° .
- 2.7.3 Examinar la muestra en el dobléz, a fin de identificar la aparición o ausencia de desprendimiento del recubrimiento del galvanizado, se debe poder pasar el dedo sobre ella y no debe notarse desprendimiento ni levantamiento del recubrimiento.
- 2.7.4 Si la prueba anterior presenta desprendimiento, se debe incrementar el diámetro interno del dobléz, mediante el proceso de prensado de un diámetro igual al espesor de la lámina y luego se repiten los pasos 2 y 3, hasta que la muestra no presente desprendimiento de la capa de galvanizado. Ver figura 1.

3. RESULTADOS

3.1 Análisis de la escoria superior

A continuación se presenta el cuadro comparativo de la concentración de aluminio encontrada en muestra de escoria superior, la primera antes de correr la prueba con la aleación, es decir utilizando la carga habitual de Zinal 90/10, la segunda muestra extraída durante la utilización de la aleación específica Zn200SJ.

Tabla II: Concentración de aluminio en muestras de escoria superior.

	Al	Fe	Sb	Zn
Antes de la prueba (Zinal 90/10)	1.00%	Constante, no analizados se consideran iguales en ambas muestras y equivalentes en		97.20%
Durante la prueba (Zn200SJ)	0.40%	1.80%		97.80%

Fuente: Datos Originales tomados en campo.

3.2 Análisis de la escoria inferior

Se observó en la sección 1.1.3.2 que la escoria inferior se forma al existir una pobre cantidad de aluminio en el baño, de tal modo que la aleación ternaria Zn/Fe/Al ya no puede formarse, en su lugar es formada una aleación densa llamada escoria inferior, en este experimento no se

detectó esta aleación, por lo que se considera negativa la aparición de Escoria Inferior, conservando el estándar establecido.

Es importante mencionar que para evitar el apareamiento de esta escoria fue necesario cargar a la paila de galvanizado Jumbos de Zinal 90/10, esto no se tenía considerado en el experimento con tanta frecuencia, aproximadamente se cargaba un jumbo cada 72 horas.

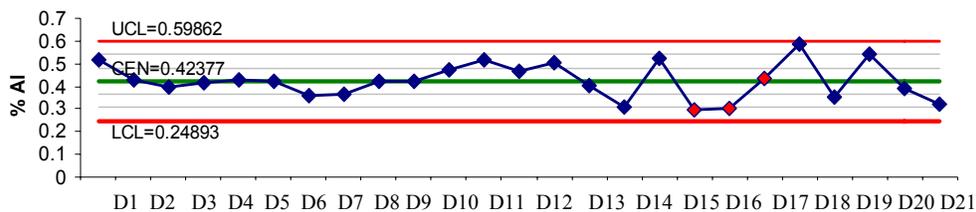
Tabla III: Detección de Escoria inferior

	Escoria inferior	Temperatura
Antes de la prueba (Zinal 90/10)	Negativa	Constante, 460°C
Durante la prueba (Zn200SJ)	Negativa	

Fuente: Datos originales tomados en campo.

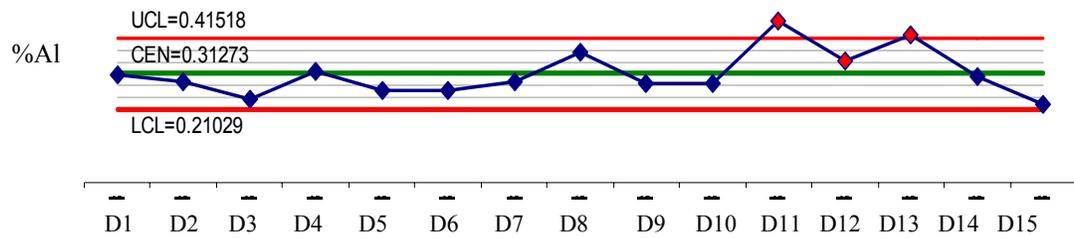
3.3 Evaluación del control de aluminio en el proceso

Figura 3. Comportamiento de la concentración de aluminio con el sistema de adición tradicional con aleación Zinal 90/10



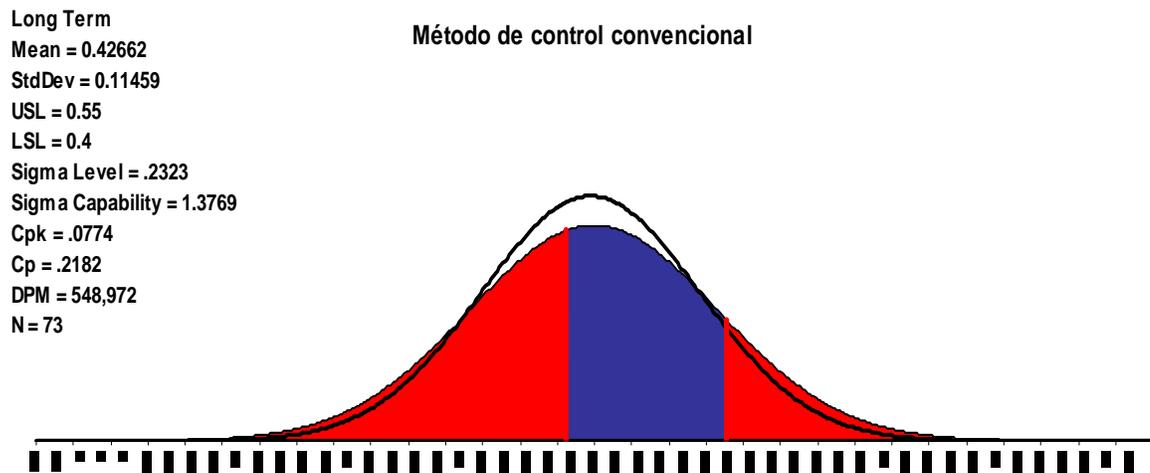
Fuente: Jorge Roca. Datos obtenidos en análisis de laboratorio de calidad.

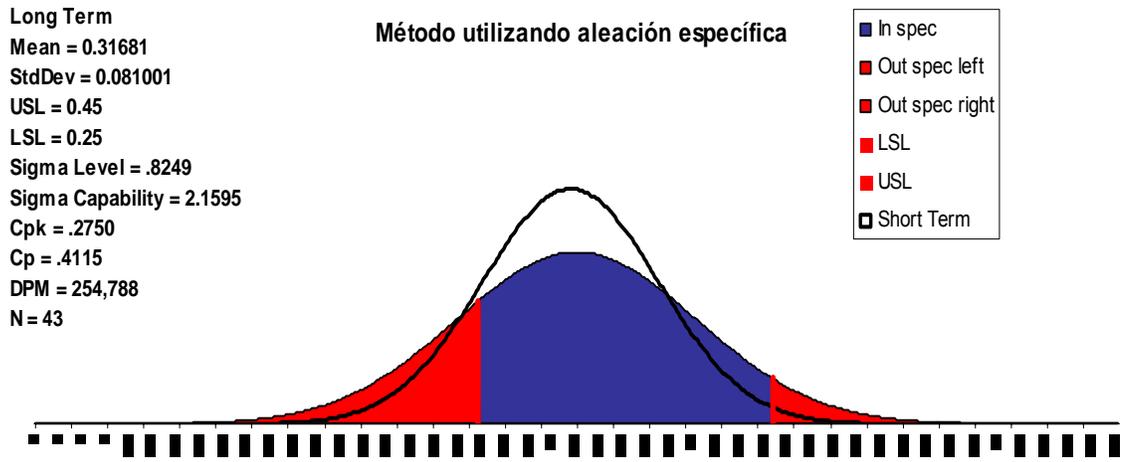
Figura 4. Comportamiento de la concentración de aluminio con el sistema de adición con aleación específica (Zn 200SJ)



Fuente: Jorge Roca. Datos obtenidos en análisis de laboratorio de calidad.

Figura 5. Análisis de Cp y Cpk de la concentración de aluminio en el proceso de galvanizado, utilizando ambos métodos de control.





Fuente: Apéndice 6. Datos originales

3.4 Evaluación de la adherencia de la capa de galvanizado

La adherencia de la capa de galvanizado al acero base fue medida, teniendo el estándar antes de la prueba, esta debería conservarse. A continuación se resume el resultado comparando la adherencia antes de utilizar la aleación específica y durante la prueba.

Tabla IV. Resultado de prueba de doblez

	Doblez
Antes de la prueba (Zinal 90/10)	OT
Durante la prueba (Zn200SJ)	OT

Fuente: Datos originales de prueba de doblez

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El hecho de tener una aleación mas uniforme en la concentración de aluminio y a niveles más bajos dio como resultado una composición de este metal en la escoria superior en menor concentración comparado con el método usual de adición de aluminio en el baño de zinc, esto se refleja en los resultados obtenidos (ver Tabla II) al analizar y comparar una muestra de Escoria superior utilizando el método tradicional de adición de aluminio con el método experimentado con la aleación específica Zn200SJ. Vemos una reducción de contenido de aluminio de 0.6%, esta disminución de la concentración trae como consecuencia menor pérdida del metal durante la remoción continua de la escoria durante la operación (mayor aprovechamiento del metal).

Durante el experimento no fue detectada escoria inferior (ver Tabla III) conservándose el estándar definido. Uno de los parámetros mas importantes para la continua operación de la línea de galvanizado es la formación de escoria inferior, ya que afecta directamente la temperatura del baño, haciendo que ésta disminuya, afectando así la apariencia del producto, también hay que tomar en cuenta que la remoción de la Escoria inferior es bastante difícil e involucra bastante tiempo lo que ocasiona una perdida considerable al tener que parar la línea para efectuar la limpieza.

Utilizando el sistema convencional de adición de aluminio se cuenta con una concentración media de proceso de 0.42% de aluminio en el baño de zinc y límites de 0.25 a 0.60% (ver figura 3), límites muy amplios si tomamos en cuenta que se tiene establecido un rango de control de 0.40 a 0.55 %.

Utilizando el sistema de adición de aleación específica se observa una reducción en la variabilidad de la concentración de aluminio en el baño (Ver figura 4), la media se varió de 0.42% a 0.317% y se cerraron los límites a 0.21% y 0.415%, esto se traduce en un mejor control (se redujo la variabilidad). Tomando en cuenta que en la prueba no hubo formación de Escoria inferior podrían tomarse estos nuevos valores como límites de control del proceso, mejorando con esto el rendimiento del aluminio transformándose en una ventaja reduciendo costos de proceso; la reducción del consumo si suponemos que es directamente proporcional a la reducción de la media estaría en el orden del 23%.

Si estos resultados los analizamos desde el punto de vista de los rangos podemos decir que: utilizando el método convencional de adición de aluminio teníamos una amplitud de 0.44%, considerando que el rango de operación definido en la operación es de 0.40 – 0.55% (amplitud de 0.15%) la variación es muy superior a la amplitud definida como óptima.

Observando la amplitud de rango obtenido con las pruebas de la aleación específica Zn 200SJ, se redujo la variación a tan solo 0.26% comparado con el 0.44% utilizando el método tradicional, esta variación aún es superior a la amplitud de 0.15%, pero tomando en cuenta los resultados en cuanto a la calidad del producto y formación de escoria tanto superior como inferior, se puede mejorar re-definiendo los límites de control de 0.40% - 0.55% a 0.20% - 0.45%.

Para el análisis de los datos obtenidos del experimento respecto a la concentración del aluminio en el proceso se determinó la capacidad de proceso expresados en índices Cp y Cpk.

Estos dos términos se refieren a que tan capaz (en cuanto a repetición y consistencia) es el proceso de producción.

La utilidad de los índices Cp y Cpk es determinar que tan capaz es el proceso de superar las variaciones en él, ya sean naturales u otros factores de ruido.

El Cp relaciona ambos límites de especificación con la medida del real, o variación natural del proceso, representada por sigma, este factor es calculado mediante la fórmula

$$Cp = \frac{(\text{Tol superior} - \text{Tol Inferior})}{6 \times \text{Desviación estándar}}$$

El Cpk permite ver cuál es la tendencia de los puntos y establecer nuevos niveles de especificación.

Tomando los datos históricos del comportamiento de la concentración de aluminio en la paila del galvanizado (Apéndice 4) y comparándolos con los datos obtenidos durante los días de prueba usando la aleación específica se obtuvieron los siguientes resultados.

- La desviación estándar de la concentración de aluminio utilizando el método de aleación específica se redujo un 41% respecto al método tradicional de adición.
- La medición de Cp mejoró un 89% lo que indica una menor variación utilizando nuevos rangos de proceso (ver figura 5).

Respecto a la adherencia de la capa de galvanizado sobre el acero base, tal y como se muestra en la tabla IV se pudo mantener el estándar, utilizando la prueba de doblez se pudo determinar que todas las muestras analizadas (9 en total según plan de inspección de rutina) cumplieran con las especificaciones dando como resultado 0T en la prueba, como consecuencia se tiene un producto adecuado y de igual calidad.

Ninguna de los rollos procesados tuvo problemas de mala apariencia, se conservó un producto con apariencia brillante de flor regular, tal y como se esperaba, ya que el contenido de los metales utilizados en el proceso no varió, únicamente se modificó la concentración del aluminio en el baño tal y como puede verse en las figura 3 y 4, lo cual no tuvo incidencia en la apariencia del producto.

4.1 Errores en la medición de aluminio en el proceso de galvanizado

La medición del aluminio efectivo esta sujeta a varios errores. La magnitud y fuente de estos errores aún no está del todo entendida, varios estudios consecutivos pueden variar arriba de 0.06% (en lecturas promedio de 0.13 a 0.19 por ciento). Las fuentes posibles de estos errores incluyen:

4.1.1 Variación posicional del aluminio

Si la paila no se encuentra suficientemente mezclada, la concentración de aluminio puede variar de un lugar a otro dentro de ella. En este caso, una pequeña variación en la técnica de muestreo puede resultar en una lectura diferente del contenido de aluminio.

4.1.2 Segregación del aluminio durante el enfriamiento de la muestra

Una pequeña parte de la muestra de la paila es taladrada y evaluada, La segregación del aluminio dentro de esta muestra puede resultar en un error de medición.

4.1.3 Limitaciones del método de análisis

El método por si mismo puede contener fuentes de error en la medición. Un método común es utilizar espectrofotometría de absorción atómica para determinar el aluminio total y el hierro total y luego en base a datos de solubilidad calcular el aluminio efectivo.

4.2 Causas de la variación del aluminio en el baño de zinc

Además del control del nivel del baño de aluminio es también necesario controlar la variación, existen dos tipos de posibilidades de variación: de posición (variaciones de aluminio de un punto a otro) y de tiempo (variaciones de aluminio en el tiempo). Ambas deben ser controladas ya que ambas afectan la consistencia del producto y generación de escoria.

Existen varios factores que afectan la variación del aluminio en la paila de galvanizado, los más importantes son:

4.2.1 Sistema de control de adición

El sistema de adición con jumbos con composición específica de aluminio ofrece un mejor control sobre el sistema convencional tal y como se vio en los resultados.

4.2.2 Programación

Las transiciones de un producto a otro requiriendo contenidos de aluminio diferentes resultan en grandes variaciones en el contenido de aluminio en la paila. Planificar adecuadamente los cambios de tipo de producto a manera de minimizar estos cambios ayuda grandemente a reducir las variaciones requeridas de aluminio en la paila.

4.2.3 Patrones de flujo

El transporte de aluminio dentro de la paila depende de muchos factores (Inductores, componentes del baño, tamaño de la paila, velocidad de la tira, etc.) pero aun no es bien entendido. Un modelo con agua realizado por Noranda (Galvatech 95, 797) sugieren que algunas geometrías de paila pueden contener zonas muertas. En estas zonas existe un flujo neto mínimo, que pueden localmente reducir el suministro de aluminio. (Anexo 4)

Además mejorar la uniformidad del recubrimiento de aluminio, la reducción en la variación del aluminio en la paila, resulta en mejoras medibles del control de la escoria.

CONCLUSIONES

1. Se pudo determinar que utilizando la aleación específica de Zinc 200SJ, existe una reducción en la variación de la concentración de aluminio en el baño de metal fundido aproximadamente de un 26%, esto podría verse reflejado en el consumo del metal reduciendo costos.
2. Se determinó que el uso de la aleación específica Zn 200SJ reduce la pérdida de aluminio a causa de la generación de Escoria superior, esta reducción es del 60%.
3. También se pudo establecer que el uso controlado y adecuado de la concentración del aluminio en el baño utilizando la aleación específica combinada con la utilización del jumbos de Zinal 90/10 no genera Escoria inferior (proceso adecuado).
4. Durante el tiempo en que se utilizó la aleación de Zinc SJ200 se procesó lámina suave, que, como es de rutina, se le realizaron pruebas de adherencia, comportándose tal y como los estándares lo exigen, es decir no existió ningún problema de mala adherencia de galvanizado permaneciendo el estándar de 0T.
5. Respecto a la apariencia del producto no sufrió modificación alguna, siempre se siguió produciendo un material con flor regular, brillante.

RECOMENDACIONES

1. A partir de los resultados obtenidos se puede observar que para que no caiga por debajo de los límites recomendados la concentración de aluminio en Paila, se necesita aún cargar con cierta frecuencia aleación Zinal 90/10, por costos no es recomendable, por tal motivo, se sugiere realizar una segunda prueba con aleación específica de concentración mayor junto con la utilizada en estas pruebas, ésta aleación podría contener una concentración de 0.8 a 1% de aluminio y se utilizaría con el fin de subir la concentración de aluminio cuando esta decaiga en la paila de galvanizado.
2. Dados los buenos resultados obtenidos en cuanto a reducción de variabilidad de la concentración de aluminio en la paila y todos los beneficios que esto conlleva, se sugiere utilizar este método en las líneas de galvanizado continuo.
3. Según los datos obtenidos se proponen nuevos parámetros de control de la concentración de aluminio en baño de galvanizado de 0.40 a 0.55% que actualmente se utiliza a 0.20 a 0.45%, permitiendo con esto consumir menor cantidad de metal.

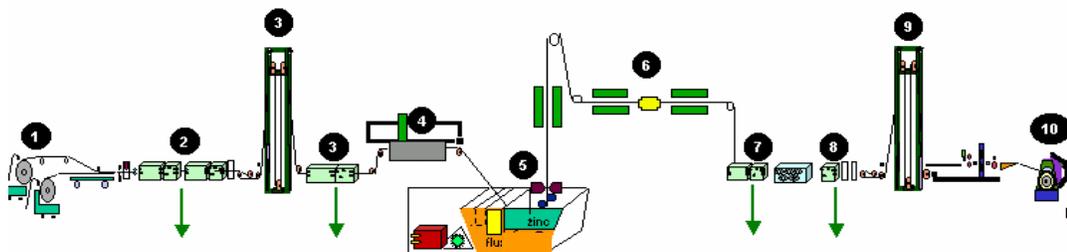
4. De igual forma existen ciertas variables que podrían ser mejor controladas para reducir la variabilidad en los análisis sobre las muestras extraídas para analizar concentración de aluminio, por ejemplo, tomar en un mismo punto la muestra a analizar, realizar con mayor frecuencia el análisis de aluminio en paila, etc.

BIBLIOGRAFÍA

1. H. Guttman et. Al. The management of continuous galvanizing baths with emphasis on aluminum. Canada: Noranda Technology Centre, 1991. 26 pp.
2. Galvatech '95 Conference Proceedings, the use and manufacture of zinc and zinc alloy coated sheet steel products into the 21st century. EEUU: Iron and Steel Society, Inc. 1995. 871 pp.
3. GalvInfoNote 2.4. The role of aluminum in continuous hot-dip galvanizing. S.I: s.e. 2007.
4. N. Y Tang, M Dubois, y otros, Progress in development of Galvanizing Bath Management Tools. Tech Report, s.l.: 1-8. s.a.
5. N. Y Tang, Demystifying CGL Bath Chemistry Management. Tech Report, (Canada): 1-9. s.a.
6. R.C & S.J. Barret, Servicios de consultoría de galvanizado y corrosión. (Australia): 1-16. S.a.
7. www.es.wikipedia.org/wiki/Galvanizado.

APÉNDICE

Apéndice 1



1. Desembobinadores
2. Etapa de limpieza alcalina
3. Torre acumuladora de entrada y tanque de limpieza ácida
4. Pre-heater
5. Paila de galvanizado (horno)
6. Torre de enfriamiento
7. Tanque de enfriamiento (quench tank)
8. Tanque de pasivado
9. Torre acumuladora de salida
10. Reembobinador y carro transportador.

Galvanizado por el proceso de Inmersión en caliente

Apéndice 2

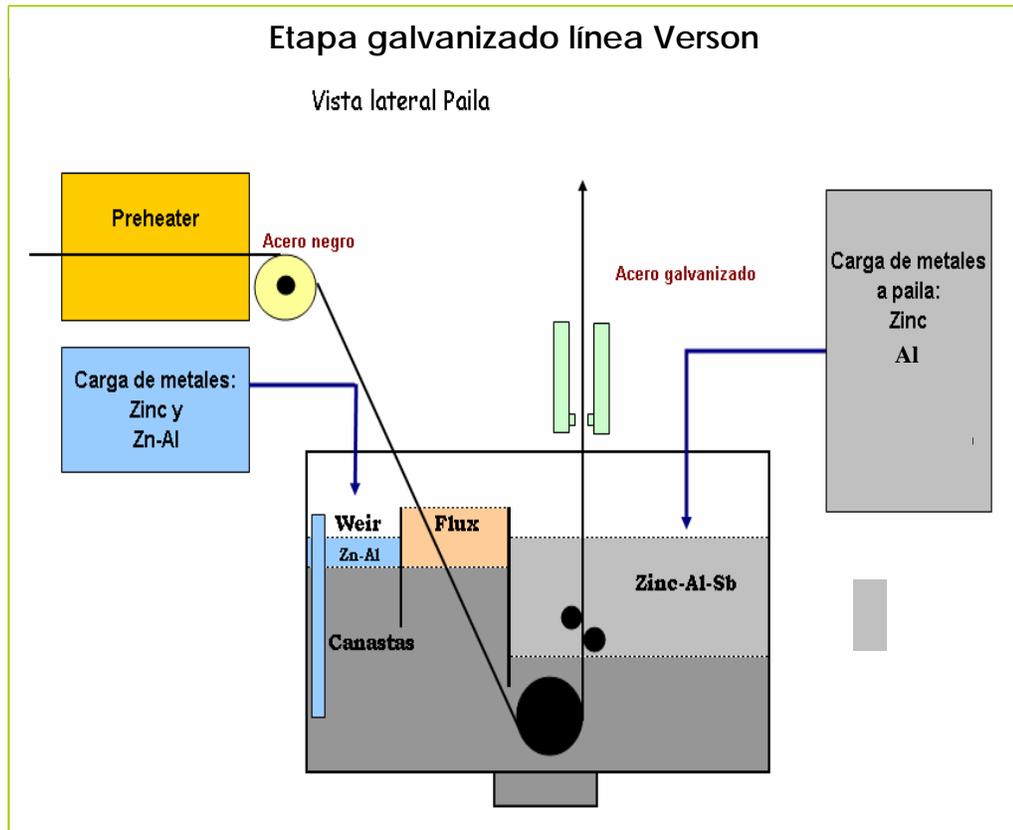


Presentación Jumbo (1000 Kg) de Aleación SJ200



Presentación Jumbo de Aleación Zinal 90/10

Apéndice 3



Paila de Galvanizado

Apéndice 4

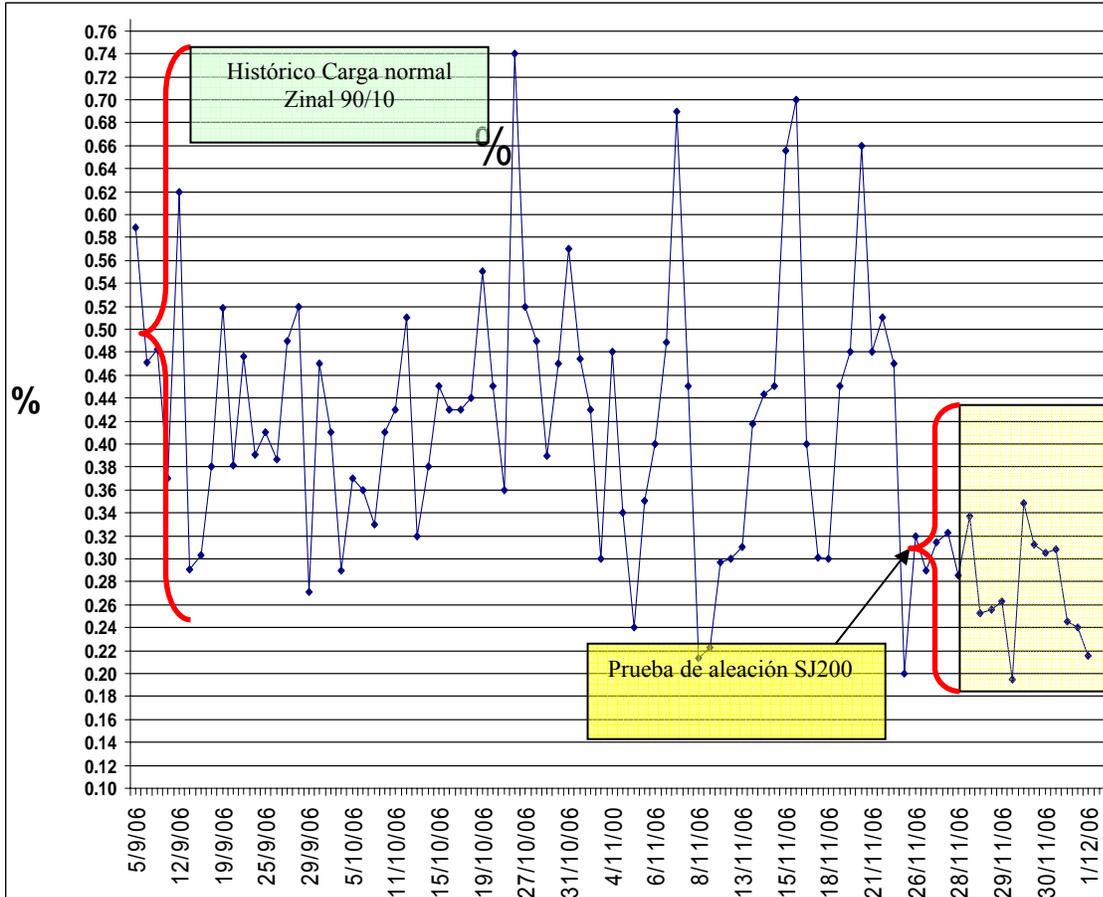


Gráfico de comportamiento de concentración de aluminio

Fuente: Lecturas de concentración de aluminio en espectrofotómetro de absorción atómica

Apéndice 5



Desprendimiento de Zinc en lámina Galvanizada

Apéndice 6

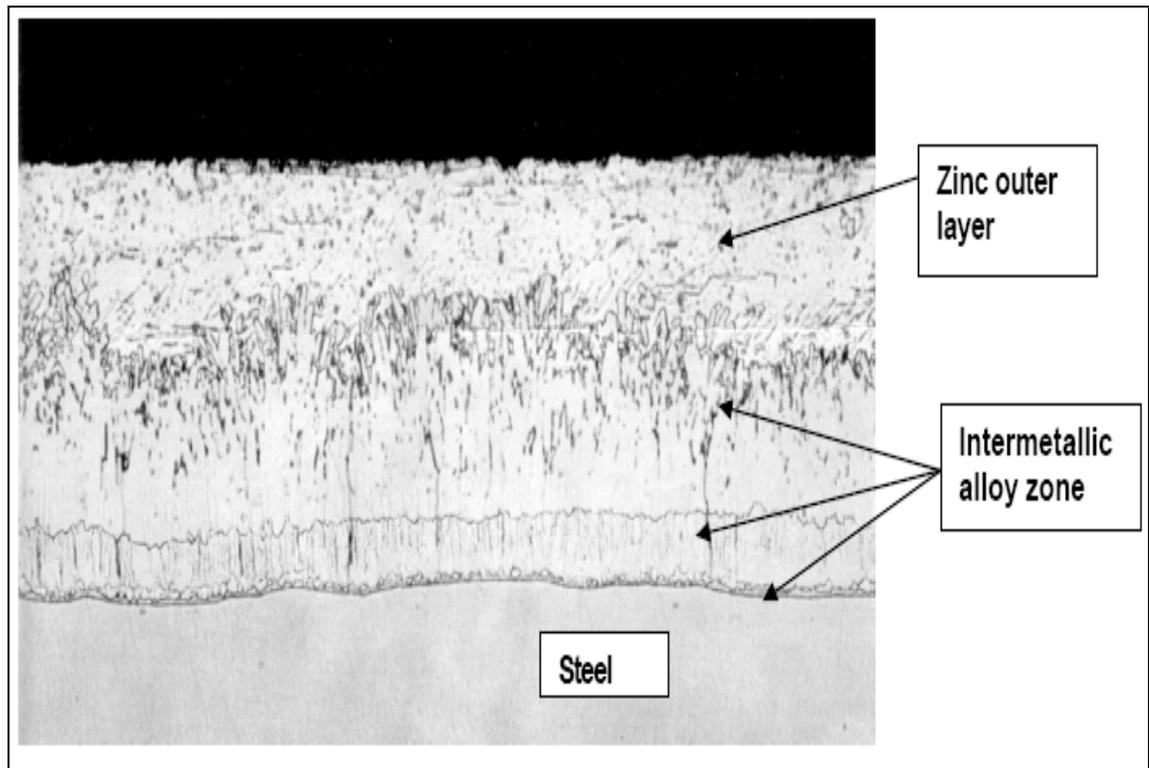
Bitácora Pruebas Aleación Zn200SJ (0.40% Al)

Día	Observaciones	% Al			
		5:00 AM	11:00 AM	5:00 PM	11:00 PM
1	Inicio de la prueba, 6 am. Solo cargado aleación Zinc 200 SJ. Se procesó lámina suave casi todo el turno diurno.		0.29	0.314	0.323
2	Se procesó un poco de lámina suave, 9 am a 3 pm. Se cargaron 4 barras de ZnAl 50/50 9 am Se cargó un jumbo de ZnAl 90/10 3 pm para subir concentración	0.286	0.337	0.253	0.256
3	Se revisó que cargaron 2 jumbos de SHG (10 am), la concentración obtenida a las 11 hrs fue de 0.19% Al, se autorizó carga de 1 jumbo ZnAl 90/10 para subir concentración Al, para prevenir formación top dross. Hay que evitar uso de SHG. Se revisará por la t	0.263	0.195	0.348	0.312
4		0.305	0.308	0.245	0.24
5	Se solicitó carga de 1 jumbo 90/10 ZnAl 12 hrs	0.215	0.197	0.388	0.341
6	Se cargó Jumbo de 90/10, aprox 15:00 horas	0.275	0.251	0.426	0.358
7		0.339	0.289	0.276	0.284
8	Se cargó Jumbo de 90/10.	0.251	0.195	0.412	0.512
9		0.435	0.441	0.426	0.358
10	Se cargó Jumbo de 90/10	0.264	0.297	0.489	0.483
11		0.35	0.298	0.273	0.225
12		Paro Línea			

Fuente: Lecturas de Concentración de Aluminio Durante la Prueba.

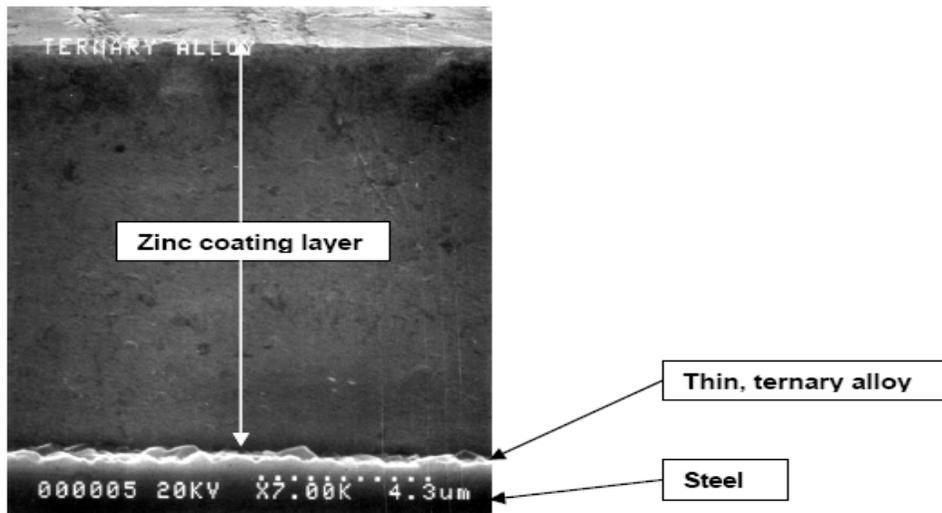
ANEXOS

Anexo 1: Sección transversal de material galvanizado en un baño libre de Aluminio.



Fuente: GalvInfonote 2.4 The Role of Aluminum in continuous Hot Dip Galvanizing, Pág. 2

Anexo 2: Sección transversal de material galvanizado en un baño con Aluminio.



Fuente: GalvInfo 2.4 The Role of Aluminum in continuous Hot Dip Galvanizing, pág. 3.

Anexo 3: Tabla X1.1 ASTM A 653/A 653M-07, propiedades de doblez

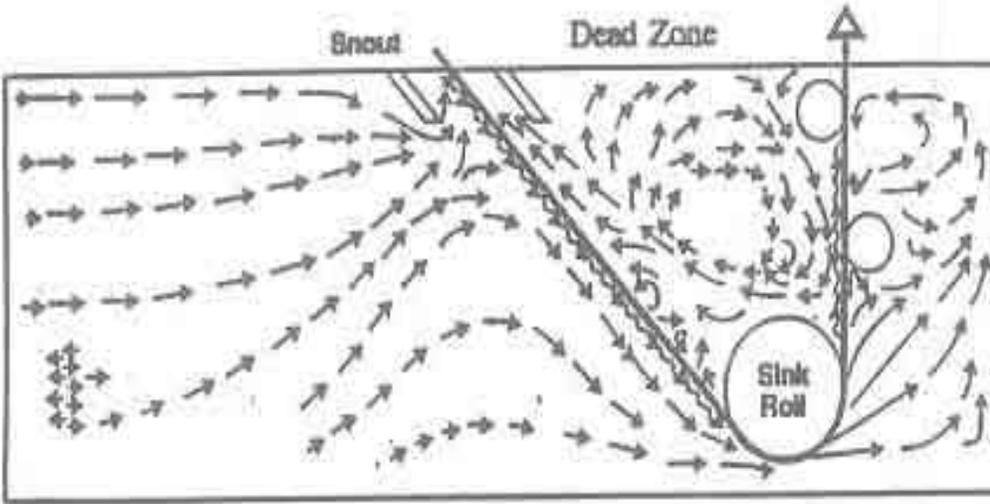
APPENDIXES		
(Nonmandatory Information)		
X1. BENDING PROPERTIES		
X1.1 Table X1.1 lists suggested minimum inside radii for cold bending.		
TABLE X1.1 Suggested Minimum Inside Radii for Cold Bending^a		
NOTE 1— (<i>t</i>) equals a radius equivalent to the steel thickness.		
NOTE 2—The suggested radii should be used as minimums for 90° bends in actual shop practice.		
Designation	Grade	Minimum Inside Radius for Cold Bending ^b
SS	33 [230]	1½ <i>t</i>
	37 [255]	2 <i>t</i>
	40 [275]	2 <i>t</i>
	50 [340] Class 1	not applicable
	50 [340] Class 2	not applicable
	50 [340] Class 3	not applicable
	50 [340] Class 4	not applicable
	55 [380]	not applicable
	80 [550] Class 1	not applicable
	80 [550] Class 2	not applicable
	HSLAS	40 [275]
50 [340]		2½ <i>t</i>
55 [380] Class 1		3 <i>t</i>
55 [380] Class 2		3 <i>t</i>
60 [410]		3 <i>t</i>
70 [480]		4 <i>t</i>
80 [550]		4½ <i>t</i>
HSLAS-F	40 [275]	1½ <i>t</i>
	50 [340]	2 <i>t</i>
	55 [380] Class 1	2 <i>t</i>
	55 [380] Class 2	2 <i>t</i>
	60 [410]	2 <i>t</i>
	70 [480]	3 <i>t</i>
SHS	80 [550]	3 <i>t</i>
	26 [180]	½ <i>t</i>
	31 [210]	1 <i>t</i>
	35 [240]	1½ <i>t</i>
	41 [280]	2 <i>t</i>
BHS	44 [300]	2 <i>t</i>
	26 [180]	½ <i>t</i>
	31 [210]	1 <i>t</i>
	35 [240]	1½ <i>t</i>
	41 [280]	2 <i>t</i>
	44 [300]	2 <i>t</i>

^aMaterial that does not perform satisfactorily, when fabricated in accordance with the requirements in Table X1.1, may be subject to rejection pending negotiation with the steel supplier.

^bBending capability may be limited by coating designation.

Fuente: ASTM A 653/A 653M-07, pág. 11.

Anexo 4: Modelo de flujo en Paila de galvanizado.



Fuente: Galvatech '95, pág. 797.