



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

PROPUESTA DE CONTROL ESTADÍSTICO PARA EL PROCESO DE GALVANIZADO DE ALAMBRE POR INMERSIÓN EN CALIENTE

Christian Guillermo Arango Mazariegos

Asesorado por Ing. Carlos Humberto Ponce Palao

Guatemala, enero de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN



CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE CONTROL ESTADÍSTICO PARA EL PROCESO DE
GALVANIZADO DE ALAMBRE POR INMERSIÓN EN CALIENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

CHRISTIAN GUILLERMO ARANGO MAZARIEGOS

ASESORADO POR ING. CARLOS HUMBERTO PONCE PALAO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ENERO DE 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recínos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Francisco Arturo Hernández Arriaza
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Carranza
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
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:

PROPUESTA DE CONTROL ESTADÍSTICO PARA EL PROCESO DE
GALVANIZADO DE ALAMBRE POR INMERSIÓN EN CALIENTE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Mecánica Industrial con fecha enero de 2003.

Christian Guillermo Arango Mazariegos

DEDICATORIA

A Dios	Quien me ayudó en los momentos difíciles, me brindó salud, me cuidó y me permitió que hoy esté en el podio exponiendo mi trabajo de graduación.
A mis padres	Mario Guillermo Arango e Hilda Dominga de Arango, quienes con su gran amor incondicional, ayuda y esfuerzo lograron mi superación profesional.
A mis hermanos	Leslie Siomara y Edson Omar, por su gran apoyo brindado en cada momento.
A mis sobrinas	Susan Michelle y Leslie Alejandra, por la felicidad que me han dado.
A	Claudia María, que junto con su familia me ayudaron a concluir el trabajo de graduación.
A mi familia	Con mucho cariño.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VI
GLOSARIO	X
RESUMEN	XII

OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1	Galvanizado	1
1.1.1	Conceptos básicos de galvanización	1
1.1.2	Historia del galvanizado por inmersión en caliente	2
1.1.2.1	Inicio del galvanizado	2
1.1.2.2	Desarrollo	3
1.1.3	Tipos y características	9
1.1.3.1	Galvanización en seco	9
1.1.3.1.1	Galvanización por vía seca (proceso moderno)	10
1.1.3.2	Galvanización en húmedo	10
1.1.4	Revestimientos metálicos	11
1.1.5	Aplicaciones del recubrimiento del zinc	12
1.2	Herramientas estadísticas	13
1.2.1	Conceptos básicos	13
1.2.1.1	Calidad	14
1.2.1.2	Control estadístico de calidad	14
1.2.1.3	Índice de capacidad del proceso (RCP)	15
1.2.1.4	Inspección del proceso	17

1.2.1.5	Variación	17
1.2.1.6	Método de control de procesos	18
1.2.2	Conceptos del sistema de información de la calidad	19
1.2.3	Gráficos estadísticos	20
1.2.4	Distribución de frecuencia	21
1.2.5	Diagramas de dispersión	21
1.2.6	Gráficos de control	23
1.2.6.1	Definición	23
1.2.6.2	Principios estadísticos	24
1.2.6.3	Gráficos de control por variable	26
1.2.6.3.1	Gráfico de medias X	26
1.2.6.3.2	Gráfico de rangos R	27

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

2.1	Procedimientos individuales del proceso	29
2.2	Descripción del proceso de fabricación	34
2.2.1	Diagrama de operaciones	35
2.2.2	Diagrama de flujo del proceso	38
2.2.3	Puntos críticos del proceso	42
2.3	Materia prima	43
2.3.1	Manufactura de la materia prima	44
2.3.2	Calibres utilizados en el alambre galvanizado según norma BWG	45
2.4	Insumos utilizados en el proceso	46
2.4.1	Ácido clorhídrico	46
2.4.2	Cloruro de amonio	46
2.4.3	Aluminio	47
2.4.4	Zinc	47

2.5	Condiciones actuales de las variables del proceso	48
3.	DISEÑO DE GRÁFICOS DE CONTROL	
3.1	Características por controlar	51
3.1.1	Baño de decapado	51
3.1.1.1	Concentración de hierro disuelto	51
3.1.1.2	La temperatura del ácido	52
3.1.1.3	Concentración del ácido	52
3.1.2	Baño del fundente	53
3.1.2.1	La temperatura del cloruro de amonio zinc	53
3.1.2.2	Concentración del cloruro de amonio	53
3.1.3	Baño de zinc	54
3.1.3.1	Temperatura del baño de galvanizado	54
3.1.3.2	Velocidad de inmersión	55
3.1.4	Determinación de los defectos	56
3.1.4.1	Alambre quemado	56
3.1.4.2	Mala adherencia	56
3.1.4.3	Manchas blancas	57
3.2	Gráficos de control por variable	57
3.2.1	Descripción del problema	57
3.2.2	Gráficos por variable para los insumos del proceso	58
3.2.2.1	Características por medir	58
3.2.2.2	Especificaciones de los insumos y variables del proceso	59
3.2.2.3	Tamaño de la muestra	60
3.2.2.4	Diseño de la tabla para inspección	61
3.2.2.5	Construcción de los gráficos	62

3.2.2.5.1	Determinación de la desviación estándar	62
3.2.2.5.2	Cálculo de la muestra	65
3.2.2.5.3	Límites de control	70
3.2.2.5.4	Comparación entre los límites de especificaciones y los límites del proceso	81
3.2.2.5.5	Descripción del proceso para la construcción del gráfico	85
3.2.2.5.6	Índice de capacidad del proceso (RCP)	86
3.2.2.5.7	Análisis de resultado	87
3.2.2.5.7.1	Decapado	87
3.2.2.5.7.2	Fundentizado	89
3.2.2.5.7.3	Galvanización	89
3.2.2.5.8	Porcentaje que no cumple con las especificaciones	90

4. CONSIDERACIONES Y SEGUIMIENTO

4.1	Seguridad e higiene en el proceso	93
4.1.1	Reglas generales	93
4.1.2	Manejo de materiales	95
4.1.2.1.	Instrucciones generales de seguridad para El manipuleo de materiales	96
4.1.2.2.	Seguridad en el manipuleo manual	96
4.1.2.3.	Seguridad en el manipuleo mecánico	97
4.1.3.4.	Equipo personal de seguridad	98
4.1.3	Limpieza y decapado	98
4.1.3.1	Decapado	99

4.1.3.1.1. Precauciones para el manejo de químicos	99
4.1.3.1.2. Almacenaje	100
4.1.4 Galvanización por inmersión en caliente	100
4.1.5 Buen manejo y buena higiene	101
4.1.6 Incendio	102
4.1.7 Primeros auxilios para emergencia	102
4.2 Mejoras técnicas del proceso	103
4.3 Plan de implementación	109
4.3.1 Desarrollo del plan por medio del diagrama de Gantt	110
4.3.2 Recurso humano	114
4.3.2.1 Responsabilidades	115
4.3.2.2 Procedimientos	116
4.3.3 Equipo y cálculo para la toma de datos	118
4.3.3.1 Equipo	118
4.3.3.2 Cálculos	120
4.3.3.2.1 Método operatorio para el % del ácido clorhídrico	120
4.3.3.2.2 Cálculo y expresión de resultados	121
4.3.3.2.3 Control del hierro en el ácido clorhídrico	121
CONCLUSIONES	123
RECOMENDACIONES	125
BIBLIOGRAFÍA	126
ANEXOS	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Curva normal a distintas amplitudes de la desviación estándar	23
2	Diagrama de operaciones del proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente	36
3	Diagrama de flujo del proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente	39
4	Gráfico que representa el trabajo de trefilación	44
5	Hoja de registro para la toma de datos	61
6	Registro de datos para el cálculo de la desviación estándar para la temperatura del decapado	63
7	Registro de datos para el cálculo de la desviación estándar para la temperatura del fundentizado	63
8	Registro de datos para el cálculo de la desviación estándar para la temperatura del galvanizado	64
9	Representación gráfica de los puntos críticos para un nivel de confianza del 99%, en la curva normal	65
10	Registro de datos para la elaboración del gráfico de la temperatura del decapado	68
11	Registro de datos para la elaboración del gráfico de la temperatura del fundentizado	69
12	Registro de datos para la elaboración del gráfico de la temperatura de galvanizado	70
13	Gráfico de medias para la temperatura de decapado	71
14	Gráfico de medias para la temperatura de fundentizado	71
15	Gráfico de medias para la temperatura de paila de zinc	72

16	Gráfico de rangos para la temperatura de decapado	72
17	Gráfico de rangos para la temperatura del fundentizado	73
18	Gráfico de rangos para la temperatura de paila de zinc	73
19	Registro de datos para la elaboración del gráfico de la concentración del ácido para el decapado	74
20	Registro de datos para la elaboración del gráfico de la concentración del hierro disuelto en el decapado	75
21	Registro de datos para la elaboración del gráfico de la densidad relativa en el decapado	75
22	Registro de datos para la elaboración del gráfico de la densidad relativa en el fundentizado	76
23	Gráfico de medias para la concentración del ácido clorhídrico	76
24	Gráfico de medias para el % de hierro disuelto en el ácido clorhídrico	77
25	Gráfico de medias para la densidad relativa del decapado	77
26	Gráfico de medias para la densidad relativa del fundentizado	78
27	Gráfico de rangos para la concentración del ácido clorhídrico decapado	78
28	Gráfico de rangos para la concentración de hierro disuelto en el decapado	79
29	Gráfico de rangos para la densidad relativa decapado	79
30	Gráfico de rangos para la densidad relativa fundentizado	80
31	Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación concentración del decapado	83
32	Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación concentración del hierro disuelto	83
33	Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación densidad relativa decapado	83
34	Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra	84

	los límites de especificación temperatura del decapado	
35	Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación densidad relativa fundentizado	84
36	Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación temperatura del fundentizado	84
37	Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación temperatura del galvanizado	85
38	Operación de precalentado (actual)	105
39	Operación de precalentado (propuesta)	106
40	Sección de la plancha aislante	107
41	Diseño actual del sistema de eliminación de exceso de zinc	108
42	Diseño propuesto del sistema de eliminación de exceso de zinc	109
43	Diagrama de Gantt	111
44	Organigrama del depto. de calidad	114
45	Ábaco	122

TABLAS

I	Medidas de los alambres trefilados	45
II	Velocidad de producción en la planta de galvanizado de alambre, para los calibres comerciales	55
III	Especificaciones del las diferentes pailas en la línea de galvanizado de alambre por inmersión en caliente	59
IV	Desviación estándar	65
V	Resultados de la muestra “n”	67
VI	Desviación estándar de las variables del proceso	82

VII	Límites del proceso y límites de especificación	82
VIII	Resultados del índice de capacidad del proceso	86
IX	Peligro y precauciones por considerar en la planta de galvanización por inmersión en caliente	100
X	Participantes de las actividades en el diagrama de gantt	111
XI	Área bajo la curva normal de 0 a Z	127
XII	Factores utilizados en la construcción de diagramas de control	128

GLOSARIO

Corrosión	Es un ataque destructivo de los metales, puede ser de naturaleza química; la corrosión química directa solo se verifica en condiciones que comprenden un ambiente corrosivo o una elevada temperatura o ambas condiciones.
Dúctil	Capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse, medida por la elongación o reducción de área en una prueba tensil.
Escoria	Sustancia vítrea que permanece sobre el crisol de los hornos de fundición procedente de impurezas y materias fundentes.
Grumos	Conjunto de cosas apiñadas y apretadas entre sí.
Matas	Es un residuo sólido que consiste en una aleación de cinc-hierro, cuya composición es aproximadamente de un 95% de cinc y de un 5% de hierro. Esta se deposita sobre la paila de galvanización.

Paila

Recipiente de gran tamaño donde se deposita ácido clorhídrico, cloruro de amonio zinc o zinc fundido, dependiendo la operación. Es de forma rectangular y poco profunda.

Recocido

Es un tratamiento térmico que se emplea para suavizar un material y hacerlo más dúctil, para eliminar esfuerzos remanentes y para refinar la estructura del grano.

Tacómetro

Instrumento electromecánico que se utiliza para medir la revoluciones por minuto (r.p.m.) de un eje.

RESUMEN

El estudio realizado, consiste en una propuesta de control estadístico para el proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente.

Este se desarrolló analizando el proceso por medio diagramas de operación y flujos del proceso (DOP Y DFP), localizando de esta manera las operaciones que son susceptibles a cambios, tales como el decapado, fundentizado y paila de galvanizado. Cada operación está comprendida de una serie de variables, dentro de las que pueden mencionarse concentración del ácido clorhídrico, porcentaje de hierro disuelto, densidades relativas y temperaturas.

Los defectos en los productos terminados, tales como la mala adherencia de zinc en el alambre, manchas blancas y alambre quemado, son consecuencias provocadas por la falta de control en las variables del proceso. Es posible evitarlas por medio de la implementación de los gráficos de control por variable, esta herramienta estadística será utilizada para detectar cuando las variables están bajo control o caso contrario, para tomar las medidas preventivas.

Dentro del estudio realizado fue analizado, la falta de seguridad e higiene en el proceso, Este es un alto riesgo, ya que por tener el factor humano una alta participación directa sobre materiales altamente tóxicos y explosivos.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, las industrias de fabricación de productos de acero buscan el mejoramiento de la calidad, a través de las buenas prácticas de manufactura, como también así la aplicación de herramientas estadísticas básicas a los puntos de importancia en el proceso.

Por ello cada vez se otorga mayor atención al control estadístico para la calidad como una herramienta gerencial, en la cual las características sobresalientes de un proceso se observan, evalúan y comparan con algún tipo estándar.

Por consiguiente, el trabajo de graduación, consiste en una propuesta para llevar a cabo cartas de control estadístico de calidad por variable en los puntos críticos, logrando ser localizados por medio de los diagramas de operaciones y flujo del proceso. Los insumos y variables son motivo de estudio y análisis por ser puntos críticos en el proceso; y por estar sujeto a variación en sus propiedades químicas y físicas conforme transcurre el tiempo.

Por medio del índice de capacidad del proceso (RCP), se podrán medir las variables, para luego analizar si se encuentran capaces de cumplir con las especificaciones de proceso, así también encontrar el porcentaje de producto que se produce en condiciones fuera de control. Por último se presenta una propuesta de las condiciones ideales de seguridad e higiene en la línea de fabricación, con el propósito de proporcionar un ambiente de trabajo agradable y seguro, ya que el recurso humano juega un papel importante en la planta.

OBJETIVOS

General

Diseñar una propuesta de control, en el proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente, por medio de gráficos de control estadístico aplicados a los insumos y variables del proceso.

Específico

1. Describir de forma general, la secuencia de operaciones del proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente.
2. Analizar la línea de proceso de alambre galvanizado y determinar los puntos críticos, que provocan defectos en el producto terminado.
3. Describir las consecuencias que genera la falta de control en los insumos, sobre los productos terminados en el proceso de galvanizado de alambre.
4. Establecer gráficos de control estadístico, para las variables de proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente.
5. Establecer gráficos de control estadístico, para los insumos utilizados en el proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente.
6. Establecer una propuesta de seguridad e higiene para el proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente.

1. ANTECEDENTES GENERALES

Durante muchos años el papel del galvanizado de alambre, ha sido de mucha importancia en las industrias de acero. Debido a que el metal base cubierto con zinc proporciona propiedades anti-corrosivas, ayuda a prolongar la vida útil del material.

1.1 Galvanizado

A continuación se describe de forma breve, como se ha venido desarrollando el proceso de galvanización de alambre por inmersión en caliente.

1.1.1 Conceptos básicos de galvanización

El papel del zinc en la prevención de la corrosión. El hierro y el acero se oxidan rápidamente cuando están expuestos a la acción de la atmósfera y el producto de la oxidación, que es esencialmente un óxido de hierro hidratado, no protege al metal base, por cuyo motivo éste sigue atacándose y llega a destruirse totalmente. Una forma de evitar el óxido es cubrir la superficie con una barrera impermeable para evitar que la humedad o el aire lleguen al metal.

Actualmente hay dos métodos generales de aplicación de zinc al alambre de acero: galvanización por inmersión en caliente y la electrogalvanización. De estos, el primero es el motivo de estudio, debido a que es el proceso más utilizado en el medio.

El proceso de **galvanizado por inmersión en caliente** para la capa protectora de zinc, es el más antiguo y el más comúnmente utilizado. Cuando se sumerge una pieza de hierro o de acero en un baño de zinc fundido, el recubrimiento se forma por reacción entre el zinc y el hierro, quedando, por lo tanto, perfectamente unido y aleado con el metal base. Incluso si en el recubrimiento hay pequeños espacios al descubierto (tales como raspaduras), éstas quedan igualmente protegidas contra la oxidación.

Esto se debe a la diferencia de potencial electroquímico entre el zinc y el hierro, por lo que el primero se consume con preferencia a este último y le proporciona de esta manera una protección de sacrificio.

En ambientes rurales y otras atmósferas relativamente puras, un recubrimiento de galvanizado dura largos años e incluso en ambientes industriales severos, impide durante años, que el hierro o el acero se oxiden. La duración de la protección depende, naturalmente del espesor del recubrimiento.

1.1.2 Historia del galvanizado por inmersión en caliente

Desde su comienzo hasta la fecha, el galvanizado de alambre ha venido mejorando su proceso de producción. A continuación se describe una reseña histórica de su progreso en la industria de acero.

1.1.2.1 Inicio del galvanizado

El proceso, hasta donde ha sido posible determinar, se originó en Francia en 1741 cuando Melouin, un químico francés, informó sobre sus

experimentos que producían capas protectoras de zinc, al sumergir los artículos de hierro en zinc derretido. El estañado de hierro y de cobre era bien conocido antes de esta época, y el proceso de Melouin simplemente utilizó zinc en vez de estaño.

No fue sino hasta 1836, sin embargo, que le fue otorgada una patente francesa a M. Sorel de París, y un año después, una patente correspondiente

de los E.U.A., que discutía los diversos métodos de utilización de zinc en sus varias formas, como un material de cubierta para proteger de la oxidación y del herrumbre a los artículos de hierro y de acero.

1.1.2.2 Desarrollo del galvanizado de alambre

Para el año de 1854, cuando se les otorgó una patente francesa a Boucher y Muller sobre la galvanización de alambre de hierro y de acero, se ve un proceso casi idéntico al que se emplea hoy en alambre galvanizado en caliente. Es interesante notar que las especificaciones de la patente dan instrucciones para el desenrollo de varios alambre de los carretes, pasando el alambre a través de una solución de doble cloruro de zinc y amoniaco, o ácido clorhídrico diluido en agua, y luego a través de planchas de calibre para remover cualquier exceso de zinc. Los alambres así cubiertos eran enfriados inmediatamente con un poco de agua fría para impartirle brillantez, y los alambres eran secados y enrollados en los tambores. La única característica del proceso moderno de galvanización en caliente, que aparentemente no estuvo contemplada en ese entonces, fue la del recocido antes de la limpieza.

En 1859, Emile Alesandre Cuche de Francia, en su patente británica, describe un mejoramiento en alisar el zinc, sometiendo el alambre, justamente después de que emerge del zinc derretido, a chorros a presión de aire frío, aire caliente o gas, o en ciertos casos calentados a una temperatura variable, hasta un punto de incandescencia, siempre manteniendo el objeto a la vista para aumentar la adhesión del zinc.

Sin embargo, no fue sino hasta 1860 con la patente de George Bedson de Manchester, Inglaterra, que se ve una mejora en la fase, en la cual fue utilizada una operación continúa de recocción, limpieza y galvanización. Primero, el alambre fue calentado en un horno tubular para que las hebras de alambre fuesen recocidas, luego subsecuentemente limpiadas en ácido muriático y pasadas por zinc.

Antes de esa época, el alambre había sido recocido en cacerolas y luego limpiado antes de ser llevado a los carretes, de los cuales era desenrollado en estado mojado. Parece ser que el alambre que había sido tratado de esta manera había dado dificultades, debido a la aquebradización en las bobinas mojadas y debido a un secamiento parcial de la superficie que causó partes sin revestir.

El proceso Bedson de recocción y de galvanización fue introducido en los Estados Unidos alrededor de 1864 por Ichabod Washburn, el fundador de Washburn & Moen Company, especialmente para la galvanización del alambre telegráfico, que en esa época estaba en gran demanda. Fueron efectuados los arreglos por los cuales Washburn utilizaría el proceso de Bedson y Washburn acordó ayudar a Bedson con su solicitud para una patente de los Estados Unidos, que le fue otorgada en 1863.

La manufactura de alambre en los Estados Unidos había sido sólo una industria pequeña hasta la introducción de las cercas de alambre espigado y alambre de malla, después de lo cual se convirtió en una de las industrias más importantes. Fue inventado el alambre espigado y la producción empezó en 1874 en Decalb, Illinois, con Joseph Glidden, con ayuda de I. Ellwood. Mucho de este alambre espigado inicial tenía capas protectoras muy gruesas producidas con un lecho húmedo de arena de 3 a 6 pulgadas de profundidad,

que flotaba en zinc derretido para la llamada limpieza. Los alambres eran enfriados al pasar hacia arriba, fuera del zinc, y a través de la arena. Las capas protectoras así producidas eran bastante pesadas, pero también ásperas y disparejas, y a menudo tenían partículas de arena incrustadas en las capas.

No fue sino hasta 1900, en los Estados Unidos, que las limpiezas con arena fueron reemplazadas con un lecho o limpieza de carbón vegetal (o leña), a pesar que en Inglaterra y en Europa Continental, las limpiezas de arena fueron utilizadas extensamente hasta 1928. Realmente, el lecho de carbón vegetal tiene muy poca, o ninguna acción de limpieza. Sí proporciona una atmósfera no-oxidante sobre la superficie del zinc y lo mantiene limpio mientras que el alambre emerge. El carbón vegetal sirve para promover una superficie limpia y lisa sobre la capa protectora.

Las altas demandas por el alambre galvanizado resultó en una búsqueda de un medio para bajar los costos de manufactura y el desarrollo de un alambre limpiado apretado, y que el alambre fuese alisado y limpiado a través de almohadillas de asbesto inmediatamente después de emerger del zinc. Esto incrementó la velocidad a través del zinc y también se utilizó mucho menos zinc. La patente de Matteson, otorgada en 1890, introdujo una limpieza de tipo palanca, que utilizaba almohadillas de asbesto, lo que esencialmente se utiliza hoy.

Como resultado natural del proceso de limpieza, los galvanizadores de cercas estaban haciendo las capas protectoras de zinc tan delgadas, debido al proceso apretado de limpieza, que los usuarios se quejaron sobre la corta vida de la cerca. La reacción a estas quejas fue utilizar alambre con una capa protectora de zinc más pesada, al costo más bajo posible, y una de las

formas que fue introducida fue incrementar la longitud del recipiente de peltre (zinc) y pasar el alambre más lentamente, para que se formara más aleación de zinc-hierro.

Para 1922, Joseph L. Herman de Peoria, Illinois, introdujo su proceso de “galvarecocción”, que es similar a la galvanización regular de alambre, excepto que después de que el alambre deja el zinc derretido, entra en un horno de mufla, en donde la capa está sujeta durante un periodo de tiempo muy corto, a una temperatura de aproximadamente 1250°F. Al calentar de esta manera el alambre cubierto con zinc, tiende a aliar la cubierta, y esto resulta en un peso de capa protectora entre aquel de un alambre limpiado apretadamente y un alambre limpiado con carbón vegetal. Este tratamiento de calor de la capa protectora durante la “galvarecocción”, causa que el contenido de hierro de la capa protectora sea mayor que el contenido de hierro de las cubiertas limpiadas con carbón vegetal.

El proceso de Crapo, inventado por el Sr. F. Crapo, de Indiana Steel & Wire Company (compañía de alambre y de acero de Indiana), fue desarrollado principalmente para mejorar la adhesión y la ductibilidad de las capas protectoras de zinc limpiadas con carbón vegetal, para propósitos como los conductores de energía de los teléfonos y de los telégrafos, y material similar que requirió capas protectoras de clase A, a razón de 0.80 a 1.00 onzas por pie cuadrado de superficie para los alambres de 12 a 8 BWG. Se había observado que varios metales base reaccionaban distintamente cuando eran inmersos en zinc derretido. Los alambres de distintos análisis químicos, cuando eran cubiertos lado a lado por el proceso ordinario de galvanización, resultaban en capas protectoras de distintos pesos con distintas características.

La investigación llevada a cabo por el Sr. Crapo, para determinar el efecto del tratamiento de superficie, llevó al descubrimiento que el tratamiento del alambre en ciertas sales derretidas, en las cuales el cianuro es el elemento activo, o en ciertos gases tal como el amoníaco, antes de añadir el zinc derretido, produciría un cambio químico. Esto resultó en un cambio químico y en re-nitrogenación sobre la superficie del alambre con una nueva propiedad de adherencia tenaz de la capa protectora de zinc subsecuentemente aplicada.

Un tercer proceso de galvanización de alambre desarrollado en los Estados Unidos fue el proceso Herman, nombrado después de su inventor, Joseph L. Herman, quien también había inventado el proceso de “galvarecocción”. El proceso Herman es idéntico a la galvanización ordinaria de alambre, excepto que cuando el alambre sale del zinc derretido, pasa a través de una máquina galvanizadora Herman. La máquina Herman es un tanque de peltre auxiliar con una ranura o muesca en forma de boquilla o pitón, a lo largo de la parte inferior, que está parcialmente sumergida dentro del zinc derretido de la olla principal. Un impulsor giratorio bombea el zinc derretido fuera del tanque auxiliar hacia la olla principal, lo que causa que el zinc derretido fluya hacia arriba desde la olla principal, a través de la muesca con forma de boquilla que está en el fondo del tanque auxiliar. Los alambres pasan hacia arriba a través de la misma muesca hacia una cámara no-oxidante llena de gas, a través de un pozo, que continuamente se rebalsa, de zinc fresco, limpio de la superficie, que está en la parte superior de la muesca, y luego a través de un enfriador de agua. El peso de la capa protectora de zinc, producida por el proceso Herman, puede variar dentro de ciertos límites, pero en general está dentro de lo usual para el alambre limpiado con carbón vegetal. La velocidad de la galvanización es levemente mayor que aquella para el alambre limpiado con carbón vegetal y esto, junto con el enfriador de agua, tiende a minimizar

la cantidad de aleación zinc – hierro dentro de la capa protectora. Al minimizar la cantidad de aleación zinc-hierro, naturalmente, aumenta la ductibilidad de la capa protectora y su adherencia bajo condiciones de envoltura.

Debería hacerse notar que métodos especiales han sido patentados por Elder y Harris en su patente de E.U.A. 2,049,834 de 1936, que han involucrado el paso de alambre a través de zinc derretido a tales temperaturas y velocidades como para congelar una cubierta de zinc sobre el alambre.

Futuros desarrollos: mientras puede aparentar que la galvanización en caliente no ha cambiado materialmente en los últimos cincuenta años, a excepción de los métodos ahora empleados tal como la limpieza con asbesto, “galvarecocción”, el proceso Crapo y el proceso Herman. El hecho permanece que una gran cantidad de trabajo está actualmente en camino para mejorar la velocidad, el control de peso de la capa protectora, y los métodos de limpieza para el alambre galvanizado en caliente.

Se está al borde de una serie completa de nuevos procesos que proporcionarán una operación más rápida, capas protectoras más lisas y aleaciones mínimas de hierro-zinc para darle a la capa protectora galvanizada en caliente una adherencia máxima. La velocidad debe permanecer dentro de los límites de la capacidad de calor del horno de galvanización. Pueden desarrollarse estrechuras debido a la baja capacidad de calor de las unidades de recocción o de las unidades de limpieza. En donde estas capacidades de calentamiento pueden fácilmente superarse, hay una expectativa para velocidades de galvanización en caliente mucho mayores que cualesquiera de las conocidas hasta hoy. Poco se ha hecho en

cuanto a las aleaciones de los baños de zinc, en base a que sólo un zinc puro puede dar lo último en protección sin formar él mismo células de corrosión debido a la presencia de más de un metal.

1.1.3 Tipos y características

El proceso de galvanizado se divide en dos tipos muy importantes:

- a. Galvanización en seco
- b. Galvanización en húmedo

1.1.3.1 Galvanización en seco

Antiguamente era práctica normal introducir las piezas, procedentes del baño de decapado con ácido clorhídrico en el zinc fundido, una vez que se las había secado correctamente. Esto se denomina proceso seco antiguo y se basa en el hecho de que las sales de hierro que se han secado en la superficie de la pieza actúan como un flujo. Esta acción puede no dar resultado satisfactorio, por lo que la mayoría de las veces es necesario completarla con un espolvoreado de flujo en polvo.

El proceso seco antiguo origina habitualmente la cantidad de matas, ya que las piezas salen del baño de decapar cubiertas de sales de hierro. Estas sales de hierro reaccionan con el zinc fundido, produciendo una gran cantidad de matas:

Sales de hierro + zinc → sales de zinc + hierro

Una parte de hierro + 25 partes de zinc fundido → matas

1.1.3.1.1 Galvanización por vía seca (proceso moderno)

El proceso seco moderno supone la eliminación de todas las sales de hierro y del ácido mediante un lavado con agua, tratamiento previo con flujo (cloruro de zinc y amonio acuoso), secado a fondo e inmersión posterior en un baño limpio de zinc fundido. Al no existir sales de hierro, la formación de matas es muy inferior a la del antiguo proceso en seco. El tratamiento previo con flujo permite un control más eficaz de esta operación, lo que se traduce en un acabado mejor y de mayor consistencia.

1.1.3.2 Galvanización en húmedo

Por este método hay que pasar las piezas a través de una cubierta de flujo, que flota sobre el propio zinc fundido. Esta capa puede cubrir la totalidad de la superficie del baño o solamente una parte del mismo. Las piezas pueden secarse a través del zinc limpio, en cuyo caso la cubierta de flujo se retira mediante unas paletas o bien pueden pasarse por debajo del dique que contiene aquella, en dirección del zinc limpio. Las principales funciones de la cubierta protectora son las siguientes:

- a) Limpiar la superficie de las piezas y del zinc fundido para que éste reaccione con el acero.
- b) Disminuir el riesgo de salpicadura, cuando se sumergen en el baño piezas húmedas.
- c) Escurrir las piezas en el momento de sacarlas, facilitando así la obtención de recubrimientos más delgados.

- d) Reducir la oxidación de la superficie del zinc fundido y, de este modo, disminuir la formación de cenizas.
- e) Impedir el sobrecalentamiento cuando se sumergen grandes piezas o durante la inmersión doble.
- f) Precalentar las piezas y evitar su deformación, particularmente en los artículos de chapa. Esto requiere una cubierta de flujo bastante gruesa.

1.1.4 Revestimientos metálicos

Las capas protectoras de **estaño** por inmersión caliente, son aplicados al hierro y al acero por uno o más de tres propósitos principales:

- a) Para proporcionar una capa no tóxica, protectora y decorativa para el manejo de alimentos, empaque y equipo lácteo.
- b) Para facilitar la soldadura de una variedad de componentes utilizados en el equipo eléctrico y electrónico.
- c) Para ayudar a unir otro metal al metal base, como el estañado del hierro fundido que lleva capas de metal, antes de forrarlo con una base de plomo o con una aleación de base estaño.

La inmersión caliente con aleaciones de **plomo** que contiene de 2 a 10% de Sn requiere de una preparación cuidadosa del acero base, el uso de un fundente de composición controlada y una regulación precisa de una temperatura de inmersión y de la duración de la inmersión. Debido a que la unión entre el plomo puro y el sustrato de acero es completamente mecánica, la adición de pequeñas cantidades de estaño al baño de plomo sirve para mejorar la unión. El uso de aleaciones de plomo anidados por medio de la inmersión en caliente está usualmente confinado a artículos que requieren las características químicas especiales del plomo, tal como la habilidad para resistir el ataque

corrosivo en el ácido sulfúrico. Debido a que las aleaciones de plomo son soldables, esta propiedad también es un factor en la selección de las capas protectoras de aleación de plomo.

1.1.5 Aplicaciones del recubrimiento del zinc

Las capas protectoras galvanizadas son producidas sobre hierro y acero principalmente para proporcionarle protección al metal base en contra la corrosión. Las aplicaciones principalmente establecidas de capas de zinc sobre los productos de acero incluyen láminas para techos y chapas para forros de paredes, alambres y productos de alambre para todas las exposiciones en el exterior, artículos fabricados a partir de láminas de acero (tal como los marcos de los automóviles y los repuestos, cubetas, latas y tanques para agua caliente), productos de ferretería para uso exterior, tubería y conductos, y acero estructural expuesto. Los clavos son galvanizados no sólo para prolongar la vida del clavo sino también para prevenir que la madera se pudra, lo que ocurre alrededor de los clavos oxidados. En resumen, dondequiera que el acero esté expuesto a la corrosión atmosférica, de suelo o de agua, la capa protectora de zinc es un método estándar y efectivo de protección.

La utilidad que tienen las capas protectoras de zinc depende de la velocidad relativamente lenta de corrosión del zinc, comparado con la velocidad de corrosión del hierro y en la protección electrolítica que el zinc le proporciona al hierro. Esta protección electrolítica proviene que el hierro se corroe en las pequeñas discontinuidades dentro de la capa protectora de zinc, tal como en las orillas cortadas de las hojas, extremos cortados de alambres, o abrasiones en la superficie. Esta protección electrolítica o de “sacrificio” se extiende de la capa protectora de zinc sobre las superficies expuestas de

hierro la suficiente distancia para proteger al acero en las orillas cortadas, rayones y en otras discontinuidades dentro de la capa protectora. La distancia varía con las propiedades de la película de humedad como electrolito, y es máxima en presencia de agua salada.

Las capas protectoras de zinc tienen la vida más larga bajo condiciones de exposición rural en donde el aire está libre de gases de sulfuro y de otras emanaciones industriales. Ellas también dan un servicio satisfactorio en aire salado. Son atacadas más rápidamente en atmósferas industriales altamente ácidas, pero sin embargo, son ampliamente utilizadas en tales atmósferas porque no ha sido encontrado todavía un método más efectivo y económico de protección.

1.2 Herramientas estadísticas

Se refiere a los métodos estadísticos que contribuyen a detectar los problemas de un proceso. Así también ayudan a observar, evaluar y comparar las características del proceso con algún tipo estándar.

1.1.2 Conceptos básicos

A continuación se definen los conceptos más importantes por emplear en el estudio:

1.2.1.1 Calidad

Se define la calidad como la totalidad de particularidades y características de un producto o servicio que influye sobre su capacidad de satisfacción de determinadas necesidades.

Esta definición significa que es necesario identificar las particularidades, características y servicios, para relacionarlo con la calidad con el fin de que formen parte de la medición y control.

1.2.1.2 Control estadístico de calidad

Consiste en la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas que se utilizan para el control de sistemas de producción con el fin de obtener información (datos) de la calidad del producto. Las técnicas estadísticas más utilizadas en el control de calidad son las siguientes.

- A. Gráficos de control para características de calidad medible. En el lenguaje técnico se representan mediante gráficos de variables, o sea gráficos \bar{X} y R (media y amplitud).
- B. Gráfico de control para el número de defectos por unidad. En el lenguaje técnico, se representa por el gráfico p .
- C. Gráfico de control para el número de defectos por unidad. En el lenguaje técnico, gráfico c .

- D. Aquella parte de la teoría del control por muestreo, que trata de la protección de la calidad que proporciona cualquier método de aceptación especificado.

1.2.1.3 Índice de capacidad del proceso (RCP)

Al planear los aspectos de calidad de la manufactura, nada es más importante que asegurarse de antemano de que el proceso será capaz de mantener las tolerancias. El RCP proporciona una predicción cuantitativa de qué tan adecuado es un proceso.

Dentro los propósitos más importantes que tiene el RCP se tienen:

- A) Evaluar si un proceso está en control estadístico.
- B) Estimar la capacidad de un proceso.
- C) Incluir varios períodos de tiempo o corridas de producción.
- D) Estudiar las condiciones reales de operación, no las condiciones perfectas.
- E) No es un estudio de capacidad de máquina, el cual sólo toma en cuenta las variaciones que ocurren dentro de la misma corrida. El estudio de capacidad del proceso se basa en el muestreo de varias corridas diferentes y combina todos los valores obtenidos.
- F) Predecir el grado de variabilidad que exhibirán los procesos.
- G) Seleccionar, entre procesos que compiten, el proceso más adecuado para que las tolerancias se cumplan.
- H) Probar las teorías de las causas de defectos durante los programas de mejoramiento de calidad.

Para el cálculo de RCP se utilizan las siguientes fórmulas:

Cuando existen dos límites de especificación
$$RCP = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

Cuando existen dos límites de especificación
$$RCP = \frac{LES - X}{3\sigma}$$

Cuando existen dos límites de especificación
$$RCP = \frac{X - LEI}{3\sigma}$$

donde:

- LSE = Límite superior de especificación
- LIE = Límite inferior de especificación
- σ = Desviación estándar de una muestra
- X = Promedio de medias

Al obtener el resultado de RCP se puede obtener la siguiente conclusión:

Valores de RCP	Condición del proceso
Arriba de 2.00	Excelente, proceso adecuado para el trabajo.
Entre 1.34 y 2.00	Bueno, continúe con su esfuerzo para mejorar.
Entre 1.00 y 1.33	Mínimo aceptable, continúe para mejorar.
Debajo de 1.00	Pobre. No es capaz de producir

todas las piezas dentro de especificaciones.

Cuando la tolerancia y capacidad de proceso son iguales, el cálculo del RCP es igual a 1. Se tiene entonces que el Índice de capacidad del proceso tenderá a ser mejor, mientras la tolerancia sea mayor que la capacidad real de proceso y se reconocerá excelente cuando esta última sea un medio de la primera o sea $RCP = 2$.

1.2.1.4 Inspección del proceso

La inspección se ocupa de verificar el comportamiento de todos los factores de producción, tiene como objetivo vigilar y tomar acciones encaminadas a mantener y mejorar la calidad, da como resultado la reunión de datos que manejados efectivamente dan la base para la toma de decisiones en el mejoramiento del proceso.

La cantidad de inspección necesaria para decidir la aceptabilidad del lote varía de cero a una muestra de 100% de inspección. La decisión está gobernada principalmente por el conocimiento previo disponible en cuanto a la calidad, la homogeneidad del lote y el grado de riesgo permisible.

1.2.1.5 Variación

Son los niveles de dispersión que pueden llegar a presentarse en la evaluación de la calidad de un producto con relación a la media. Dicho de otra manera, al evaluar una característica de calidad mediante equipo de medición ésta no es exactamente igual al valor de la media. Existen tres clasificaciones:

- A. Variaciones dentro de una misma pieza.
- B. Variaciones entre piezas producidas durante un mismo período de tiempo.
- C. Variaciones entre las piezas producidas en diferentes períodos de tiempo.

1.2.1.6 Métodos de control de procesos

A continuación se presentan cinco métodos típicos que son utilizados en el análisis de procesos, estos con el fin de obtener un control:

Distribución de frecuencias: es una tabulación de datos arreglada según su tamaño.

Gráficos de control: es una comparación gráfica de los datos de desempeño del proceso con los límites de control estadístico calculados, dibujados como rectas limitantes sobre la gráfica.

Tablas para el muestreo: Dodge y Romig proporcionaron cuatro conjuntos de planes de atributos que resaltan ya sea la calidad lote por lote (PDTL) o la calidad a la larga (PDTL).

Métodos estadísticos especiales: son tipos de gráficos de control que estudian necesidades especiales, dentro de las que se pueden mencionar, gráfica de control de zona, gráfica de control de la suma acumulada y la gráfica del promedio móvil exponencial ponderado.

Predicción de confiabilidad: es un proceso continuo que comienza con las predicciones en el papel, basadas en un análisis del diseño y en la información histórica de las tasas de fallas.

La utilización de uno o algunos de ellos, reflejan el estado en que se encuentra la calidad del producto en determinado momento, la información

obtenida es utilizada como herramienta indispensable en la toma de decisiones deseando siempre mantener control en el proceso.

1.2.2 Conceptos del sistema de información de la calidad

Puede concebirse que los sistemas de información de la calidad, consiste en las siete funciones básicas siguientes:

A. Programación

Esta función comprende las instrucciones relativas a la ejecución de las mediciones. Incluye la fijación de la secuencia en la que las mediciones tienen que ser ejecutadas y el equipo por usarse para medir las características de la calidad individual.

B. Selección

Esta función se contrae al escoger el material, parte o producto que debe ser probado o inspeccionado.

C. Medir

Esta función se ocupa de la determinación de la serie de mediciones que se deban usar y efectuarlas en las características del producto o del proceso.

D. Registro de datos

Esta función consiste en llevar el registro de mediciones pertinentes, relativas a la calidad del producto o del proceso y tabularlos en una forma apropiada.

E. Información. Análisis. Decisión

Esta decisión consiste en cotejar los cálculos requeridos con las mediciones de información, comparar los resultados calculados con los resultados deseados y determinar su aceptabilidad individual o colectiva.

F. Comunicación retrospectiva

Se encierra en esta comunicación la acción correctiva o de control por aplicar en las áreas correspondientes. Y como consecuencia, se pide que la medida adoptada se lleve a efecto.

G. Control

Esta función radica en que la operación de corrección se verifique en el diseño del producto, en el proceso de fabricación o en el material mismo.

1.2.3 Gráficos estadísticos

Es la representación gráfica de los datos de una distribución de frecuencias, las más utilizadas son las siguientes:

Gráfica de barras

Es una representación gráfica de una tabla de frecuencias para datos cualitativos. En este tipo de representación se utiliza un sistema de coordenadas rectangulares, situando en el eje de las abscisas (x) los valores de las variables y en el eje de las ordenadas (y) las frecuencias correspondientes a cada intervalo.

Histograma

Es una representación gráfica de una tabla de frecuencias y muestra datos cuantitativos. Los intervalos de clase están marcados sobre el eje horizontal, utilizando para el efecto los límites reales y las frecuencias en el eje vertical. Éste se construye por medio de rectángulos unidos, cuyos anchos son los de los intervalos de clase que ellos representan y cuyas alturas representan a las frecuencias.

Polígono de frecuencias

En esta gráfica se utiliza el punto medio de los intervalos en el eje horizontal y se colocan las frecuencias en el eje vertical.

1.2.4 Distribución de frecuencias

Es una ordenación que muestra la ocurrencia de los valores de la variable según las clases ordenadas. Indica dónde varían los datos en la escala de variación, y si los datos tienen una tendencia central, también indica dónde existe esta concentración, si es que existe alguna.

La tabulación se puede representar colocando sobre el eje vertical la frecuencia de ocurrencia de las observaciones, y sobre el eje horizontal, los valores de la característica de calidad observada.

1.2.5 Diagrama de dispersión

Representan la medida de variabilidad o dispersión de un conjunto de datos, las principales son las siguientes:

Rango

El rango de un conjunto de números es la diferencia entre el dato mayor y el dato menor de todos ellos. El rango considera sólo el valor más alto y el más bajo de la distribución y deja de tomar en cuenta cualquier otra observación del conjunto de datos. Debido a que mide dos valores, el rango cambia drásticamente entre muestras de una misma población, aunque los valores que se encuentran entre el mayor y menor puedan ser muy similares.

Desviación media

La desviación media es una medida de dispersión que involucra las diferencias (o desviaciones) entre cada uno de los valores de la distribución y su media. Para calcularla se debe restar la media a cada valor del conjunto de datos, se toma el valor absoluto de las desviaciones, se suman todas las diferencias y se dividen por el número total de la muestra.

Desviación estándar

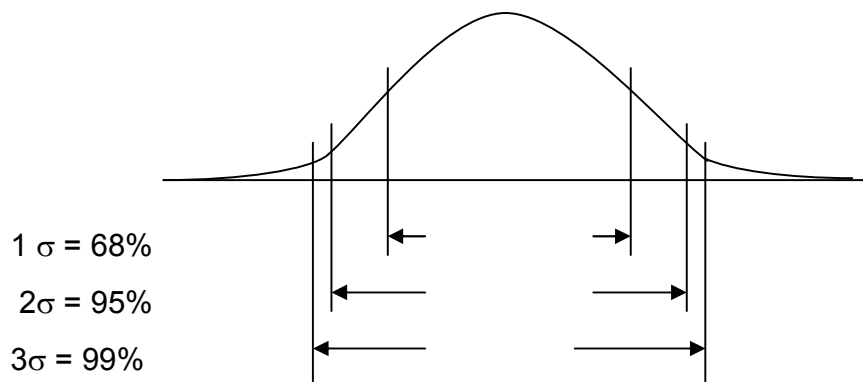
Es la medida de dispersión más importante, ya que los valores extremos de la distribución son influyentes en el cálculo de la misma; es la medida cuadrática de las desviaciones con respecto al promedio aritmético, y simplemente es la raíz cuadrada de la varianza. La desviación estándar permite determinar, con cierto grado de certeza, donde están localizados los valores de una distribución de frecuencia con relación a la media.

Se puede medir con bastante precisión el porcentaje de elementos que caen dentro de rangos específicos, si la distribución de frecuencias toma la forma de una curva simétrica en forma de campana, como se muestra en la figura 1, se dice:

- a. Cerca del 68% de los valores de la población caerán dentro de más o menos una desviación estándar, a partir de la media.
- b. Cerca del 95% de los valores se encontrarán dentro de más o menos dos desviaciones estándar, a partir de la media.
- c. Cerca del 99% de los valores estarán en un intervalo que va desde tres desviaciones estándar, a partir de la media.

Curva normal a distintas amplitudes de la desviación estándar.

Figura 1. Curva normal a distintas amplitudes de la desviación estándar



Fuente: WALPOLE, Ronald. & Raymond Myers.
Probabilidad y estadística, 1992, pag. 135.

1.2.6 Gráficos de control

El objetivo primordial de una gráfica de control, es detectar las causas especiales de la variación de un proceso, mediante el análisis de los datos, tanto pasado como futuro.

1.2.6.1 Definición

Los gráficos de control consisten en la comparación gráfica cronológica de la característica actual de la calidad del producto, con los límites que identifican la posibilidad de la manufactura, de acuerdo con las experiencias anteriores que se han obtenido del producto.

De acuerdo con las dos clases de datos de que se disponen en la industria, existen dos modelos fundamentales para las gráficas de control:

- a. Gráficas para mediciones o por “variables”, las que tienen su empleo en el caso de que se efectúan mediciones en determinada escala. (X , R , σ).
- b. Gráfica por atributos el cual necesitan sólo una cuenta de observaciones sobre una característica, como el número de artículos no conformantes en una muestra. (p , np , c , u).

1.2.6.2 Principios estadísticos

Los principios estadísticos que se utilizan para implantar los gráficos de control son:

Población

Se le llama población o universo, al conjunto total de individuos u objetos que se desean investigar.

Muestra

Es un subgrupo de una población. Se utilizan cuando la población es muy numerosa, infinita o muy difícil de examinar.

Inferencia estadística

Es el proceso mediante el cual es examinada una población para un análisis determinado, esto mediante la evaluación de muestras representativas, y así obtener con ello información de ciertos hechos de la población.

Media aritmética

También se le llama promedio o simplemente media. Es la relación que existe entre la suma de los datos y el número total de datos, se llega a determinar con la siguiente fórmula:

$$\overline{X} : \sum X / n$$

donde: \overline{X} = Media muestral

X = observaciones individuales

n = número de observaciones

\sum = sumatoria

Mediana

La mediana de una serie de datos ordenados, es el valor central de distribución de datos, sirve para reducir los efectos de los valores extremos o para datos que se pueden jerarquizar pero que no se pueden medir con facilidad, como color o apariencia visual.

Moda

Es el valor que se representa con más frecuencia en la muestra, es decir, el que se repite el mayor número de veces. La moda puede no existir, (si no hay datos repetidos), o puede existir más de una moda, (si hay más de un dato que se repite el mismo número de veces). Si la moda es única, la muestra de datos se llama unimodal, si hay dos modas bimodal, etc.

Desviación estándar

Es la medida de dispersión más útil. Al igual que la media, la definición de la desviación estándar es la fórmula que aparece a continuación:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

donde:

X = Observación individual

\bar{X} = Media muestral

n = Número de observaciones

Σ = Sumatoria

1.2.6.3 Gráficos de control por variable

En el caso de datos de variables, la gráfica de control para promedios muestrales y rangos muestrales proporciona una técnica importante para el análisis de los datos del proceso, a continuación se definirá cada uno de ellos.

1.2.6.3.1 Gráfico de medias \bar{X}

Los gráficos \bar{X} muestran las variaciones en los promedios de las muestras. En él se cuenta con una línea central y con límites superior e inferior de control. Mientras los promedios de la muestra no caigan fuera de los límites

de control, o no muestren variaciones no aleatorias dentro de los límites, se considera que el proceso se encuentra bajo control en relación con la tendencia central. Si los puntos caen fuera de los límites de control, o se presentan dentro de los límites variaciones no aleatorias, el proceso se considera que está fuera de control en relación con su tendencia central y por consiguiente se lleva a cabo una investigación para encontrar la causa atribuible de esta variación.

Las fórmulas que se utilizan para calcular los límites son las siguientes:

$$\text{Límite superior de control} = \bar{X} + A_2R$$

$$\text{Límite central} = \bar{X}$$

$$\text{Límite inferior de control} = \bar{X} - A_2R$$

donde:

- X : la gran media de las muestras
- A₂: factor para el cálculo del límite de control ver tabla XIV de anexo, se calcula con relación al tamaño de la muestra n
- R: el rango promedio
- σ: desviación estándar de las medias de muestras

Se han elegido los límites de 3-sigma, en lugar de 2 ó de 4-sigma, por ejemplo, porque la experiencia ha demostrado que el valor de 3-sigma es el más útil y económico para las aplicaciones de las gráficas de control, puesto que para ese valor la mayor parte de las distribuciones de frecuencias encontradas en la industria, tienden a la normalidad.

1.2.6.3.2 Gráficos R

Los gráficos de R muestran variaciones en las amplitudes o rango de las muestras. En este gráfico hay una línea central y unos límites de control superior e inferior. Si la amplitud de la muestra no cae fuera de los límites de control y no hay pruebas de variaciones no aleatorias dentro de los límites, se considera que el proceso se encuentra bajo control en relación con su variabilidad. Si un punto cae fuera de los límites de control, o hay pruebas de variaciones no aleatorias dentro de los límites, se estimará que el proceso está fuera de control en relación con su variabilidad. En este caso se realiza una investigación para localizar causas atribuibles.

Las fórmulas que se utilizan para calcular los límites son los siguientes:

Límite superior de control = $D3R$

Límite central = R

Límite inferior de control = $D4R$

Donde:

R: rango promedio de las muestras

D3,D4: factor para el cálculo del límite de control,

esta se determina en la tabla XIV de

anexos, en relación al tamaño de muestra

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente, cuenta con una serie de operaciones en su proceso de producción. Es de mucha importancia poder visualizar el proceso completo por medio de los diagramas de operaciones D.O.P. y diagrama de flujo del proceso D.F.P. para poder determinar así, los puntos susceptibles a variación. A continuación se desarrolla una breve descripción de cada operación.

2.1 Procedimientos individuales del proceso

El proceso de galvanizado de alambre consta de una serie de operaciones las cuales están descritos a continuación:

1. **Preparación y montaje de materia prima:** el alambre por galvanizar procede del proceso previo de trefilado, por lo tanto ya viene en rollos, en los carretes respectivos. En la planta de galvanizado se dan dos casos, (casos respecto a montaje de alambre), uno para alambres de grueso calibre y otro para alambres de pequeño calibre (calibre se refiere al diámetro del alambre). En el caso de grueso calibre los rollos de alambre son colocados en carretes pequeños (pequeños de altura) y puesto sobre ejes, sobre los cuales giran.

Para el caso de alambre de pequeño calibre, los carretes son más altos y son fijos, solamente ponen una guía circular arriba del carrete, con aceite para que resbale el alambre y la demanda del proceso desenrolle el alambre sin mover el carrete.

2. **Soldador:** la etapa de soldado en el proceso se da en el caso de que el alambre de una de las líneas del proceso se este acabando. Cuando el alambre del carrete está por acabarse, los operarios sacan el último pedazo de alambre y la punta final de este alambre es soldado con la punta inicial del nuevo rollo, el cual continuará con la misma línea en el proceso. (El nuevo rollo es colocado en el mismo lugar que ocupaba el rollo anterior).

La forma de soldar es por medio de un soldador eléctrico que junta las puntas y las funde, luego de eso la parte soldada es limada, de modo que no existan algunas deformaciones en el alambre que provoque que en determinado paso del proceso la línea se trabe y por consiguiente se rompa. La ventaja de este tipo de soldadura es que la resistencia a la tracción es igual o superior a la del mismo alambre.

3. **Distribuidor:** luego de haber colocado los carretes en su lugar, cada punta de alambre es pasado por un distribuidor, que consiste en tubos por donde es pasado el alambre y que su objetivo es evitar que los alambres se junten o se enreden.

Para cuando se utiliza alambres de pequeño calibre (rollos o carretes grandes), antes de pasar por el distribuidor, el alambre pasa por un eje central que esta colocado en el centro del carrete en la parte de arriba donde se evita que el alambre se desarrolle inadecuadamente.

Para el caso de alambre de grueso calibre, solamente es pasado por el distribuidor de tubos. Arriba del distribuidor de alambre, existe una pequeña grúa, con tres ganchos que es la que permite cargar los rollos de alambre en cada carrete.

4. **Horno de calentamiento:** el objeto del horno de calentamiento es hacer más dúctil el alambre, (trabajo en caliente sobre el metal). Para esto se divide en dos fases dicho horno, una fase que está constituida por el precalentamiento del alambre y la otra que es el calentamiento propiamente dicho.

La fase, de precalentamiento, consiste en pasar el alambre por una sección del horno por donde son sacados los gases de combustión, de los cuales se aprovecha el calor que llevan. Estos gases son sacados a través del horno de precalentamiento hacia la chimenea, por tiro forzado por dos ventiladores pequeños.

Luego de la fase de precalentamiento el alambre continúa en el horno hasta llegar a la sección de calentamiento propiamente dicho. Aquí los alambres son sometidos a las altas temperaturas (800 – 900°C) donde se efectúa el trabajo en caliente, el alambre sale del Horno al “rojo vivo” y luego pasa al enfriamiento principal.

5. **Enfriamiento primario:** el objetivo principal del enfriamiento brusco sobre el alambre, es disminuir la temperatura adquirida por el horno de calentamiento para evitar evaporación del ácido clorhídrico en el decapado. El alambre caliente es pasado por un tanque pequeño que contiene agua, el cual por medio de rodillo pasa las líneas de alambre a través del agua provocando un enfriamiento. El agua es alimentada continuamente, y purgada de igual forma.

El agua purgada es conducida a través de un drenaje a la torre de enfriamiento y luego devuelta al circuito de alimentación. Además del proceso cerrado existe una alimentación por el agua perdido por evaporación y fugas, la cual es alimentada en el tanque debajo de la torre que posee un dispositivo automático de medición (flotador).

6. **Tratamiento con ácido:** el objeto principal del tratamiento con ácido o también llamado decapado, es brindarle una limpieza a la superficie del alambre contra los óxidos, lodos, aceites, etc. El ácido usado es el ácido clorhídrico a una concentración de aplicación de 5 a 15%. Las dimensiones del tanque son de 10 m x 1.17m x 0.80m y en la parte de arriba del tanque se tiene una campana extractora, que por medio de un ventilador (tiro forzado) lleva el ácido hacia una torre o chimenea. La campana está recubierta de fibra de vidrio y asbesto, para evitar la corrosión en el metal de construcción de la campana. A las orillas de la

campana se tiene hules protectores los cuales permanecen abajo todo el tiempo.

7. Lavado primario: el propósito principal del lavado primario, es quitarle el ácido que escurre en el alambre. El alambre con ácido es pasado por un sistema de agua parecido al sistema de enfriamiento primario. El agua es drenada y la alimentación proviene del sistema general de enfriamiento.
8. Lavado con cloruro de amonio: luego del lavado primario se pasa a un lavado con una solución de cloruro de amonio. El mecanismo es el mismo al del lavado y enfriado, o sea el alambre es sumergido en una solución de amonio por medio de un carrete.

Se ha comprobado que la función del amonio es la de limpiar totalmente el alambre del ácido y además buscar una mayor afinidad de zinc al alambre. El zinc tiene mejor afinidad en alambre con amonio que con ácido.

9. Secador: el alambre debe entrar seco al horno de galvanizado para evitar una reacción violenta por parte del agua en zinc caliente. Para poder secar el alambre se aprovechan los gases de combustión del horno de zinc, los cuales son conducidos a pasar por abajo del secador de alambre. El secador de alambre consiste en una especie de tanque tapado con placas de metal.
10. Horno de galvanizado: en el horno de galvanizado pasa el alambre por zinc fundido. El horno trabaja con un quemador de diesel, el cual se encuentra dentro de una bóveda recubierta de material refractario sobre

la superficie del zinc. Del lado opuesto del quemador entra el aire para su precalentamiento. Pasa por un tubo a través de la bóveda hasta el quemador. El tiempo de permanencia del alambre depende del calibre del alambre, la temperatura del alambre, del grado de galvanizado, requerido.

Al final del proceso de galvanizado existen madejas hechas de hilos de asbesto (madejas llamadas ratones), que sirven para quitar todas las rebabas de zinc que quedan en el alambre después del proceso de galvanizado.

Luego de pasar por la limpieza de rebabas, el alambre ya galvanizado pasa por un sistema de enfriamiento por agua, el cual evita que el galvanizado se queme en el alambre, dado que es el que seca el zinc en el alambre.

La temperatura promedio del horno es de 470°C . El mantenimiento de este horno consiste en limpiar escorias en la superficie del zinc y en el fondo del horno, normalmente se hace cada fin de semana, y eventualmente entre semana.

11. Enrollado: el alambre ya galvanizado es enrollado en una máquina de carretes, la cual mueve el alambre en todo el proceso (jala el alambre desde el carrete hasta el horno de galvanizado). Luego que el carrete se llena, es bajado solo el alambre y la máquina continúa enrollando alambre.

Estas máquinas son las que controlan la velocidad del alambre en el proceso, normalmente la velocidad la miden con tacómetro en los carretes de enrollado y de ésta depende un buen galvanizado.

La velocidad de galvanizado no solo depende de la cantidad de zinc, sino también de la temperatura del alambre, el calibre, el ácido, el amonio, etc.

2.2 Descripción del proceso de fabricación

Por medio del diagrama de operaciones y el diagrama de flujo del proceso, se describirá de forma gráfica la secuencia de operaciones del proceso de producción de galvanizado de alambre por inmersión en caliente.

2.2.1 Diagrama de operaciones

El diagrama de operaciones del proceso D.O.P., representada en la figura 2, muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones que son necesarias para producir el alambre galvanizado, como también la integración de todos los materiales al proceso y de la secuencia de inspecciones.

El propósito de conocer de forma gráfica el proceso de producción del alambre galvanizado por inmersión en caliente, es para determinar cuales son los puntos críticos del proceso, analizar y evaluar sobre un estándar de fabricación.

Figura 2. Diagrama de operaciones del proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente

<p>DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO (DOP)</p> <p>Método actual</p>	
<p>COMPAÑIA: Aceros de Guatemala S.A.</p>	<p>PÁGINA: 1 DE 2</p>
<p>REGRAFICADO: Christian Arango</p>	<p>Fecha: 7 / febrero / 2003</p>
<p>PROCESO: Galvanización de alambre por inmersión en caliente.</p>	

Alambre trefilado
norma AWG

Soldador y
distribuidor

0.3521 min

Diesel

1

Horno de
calentamiento

Agua

2

0.6628 min

3

Enfriamiento
primario

Ácido
clorhídrico

4

Decapado

0.1003 min

Agua

5

Lavado

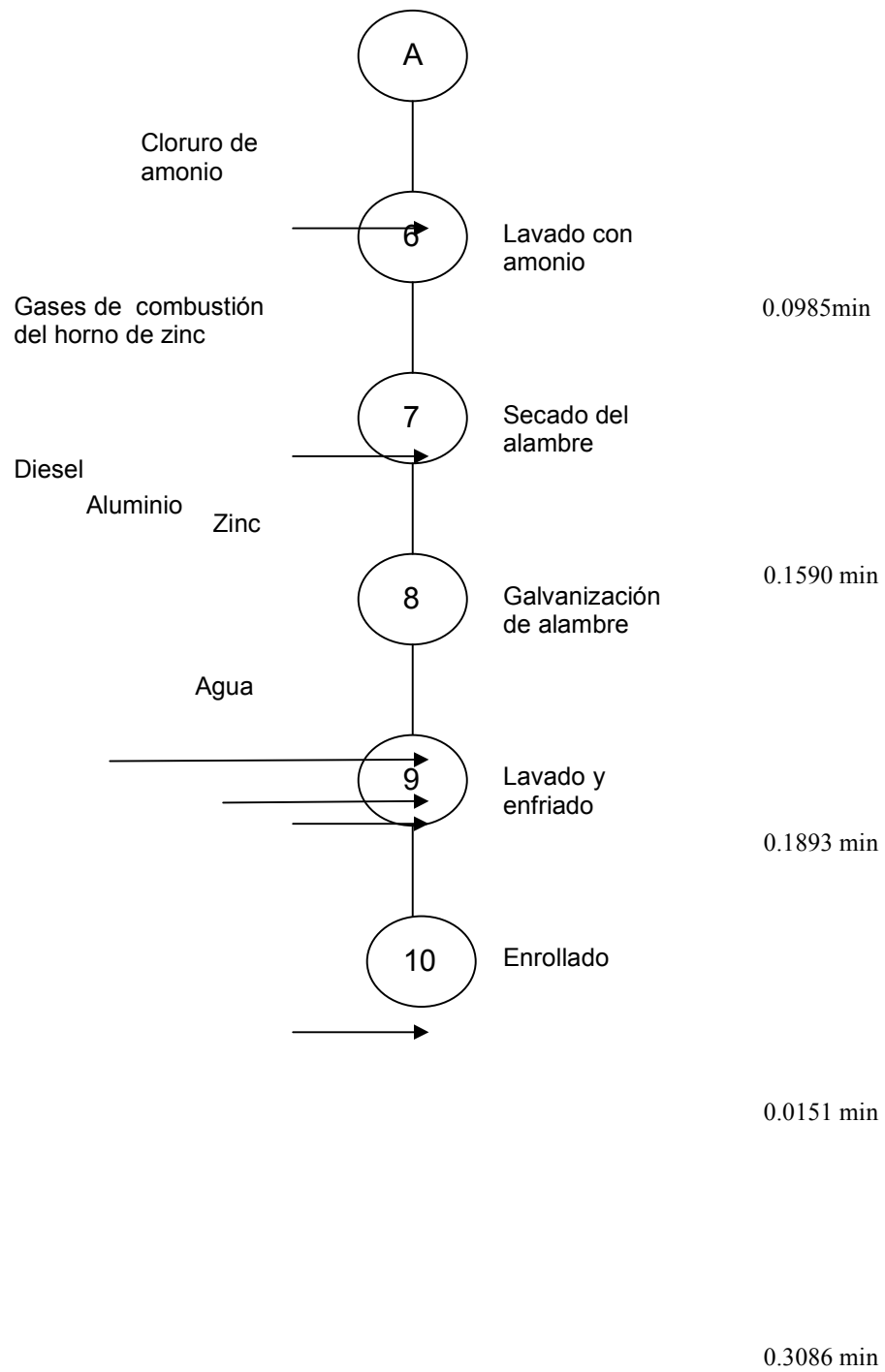
0.4205 min

A


0.1136 min

Continuación

DIAGRAMA DE OPERACIONES DEL PROCESO (DOP)	
Método actual	
COMPañIA: Aceros de Guatemala S.A.	PÁGINA: 2 DE 2
REGRAFICADO: Christian Arango	Fecha: 7 / febrero / 2003
PROCESO: Galvanización de alambre por inmersión en caliente.	



Continuación

Operación	Número de operaciones	Tiempo
	10	2.416

Fuente: Depto. Planeación

Aceros de Guatemala S.A. Año 2,003

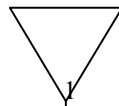
2.2.2 Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo del proceso (DFP), representada en la figura 3, para la galvanización por inmersión en caliente, nos presentará de forma gráfica la secuencia: de todas las operaciones, del transporte, de la inspección, de las demoras y del almacenaje que se efectúa en el proceso.

Este diagrama muestra de forma más detallada otras actividades que se llevan a cabo para la creación del alambre galvanizado, proporcionándonos un panorama más amplio del proceso mismo.

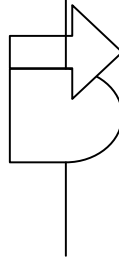
Figura 3. Diagrama de flujo del proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente

<p>DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO (DFP)</p> <p>Método actual</p>	
<p>COMPañIA: Aceros de Guatemala S.A.</p>	<p>PÁGINA: 1 DE 3</p>
<p>REGRAFICADO: Christian Arango</p>	<p>Fecha: 7 / febrero / 2003</p>
<p>PROCESO: Galvanización de alambre por inmersión en caliente.</p>	



Almacenaje de
alambre trefilado
BPP

Transporte del alambre
trefilado a la planta de
galvanizado.

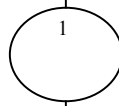


Espera: enhebrar el
alambre trefilado para la
línea de galvanizado

3.5 min
15 m

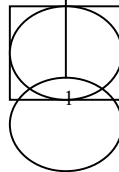
Soldador y
distribuidor

Diesel



Horno de
calentamiento

Agua



Enfriamiento
primario

5 min



1

0.6628 min

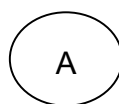


2

3

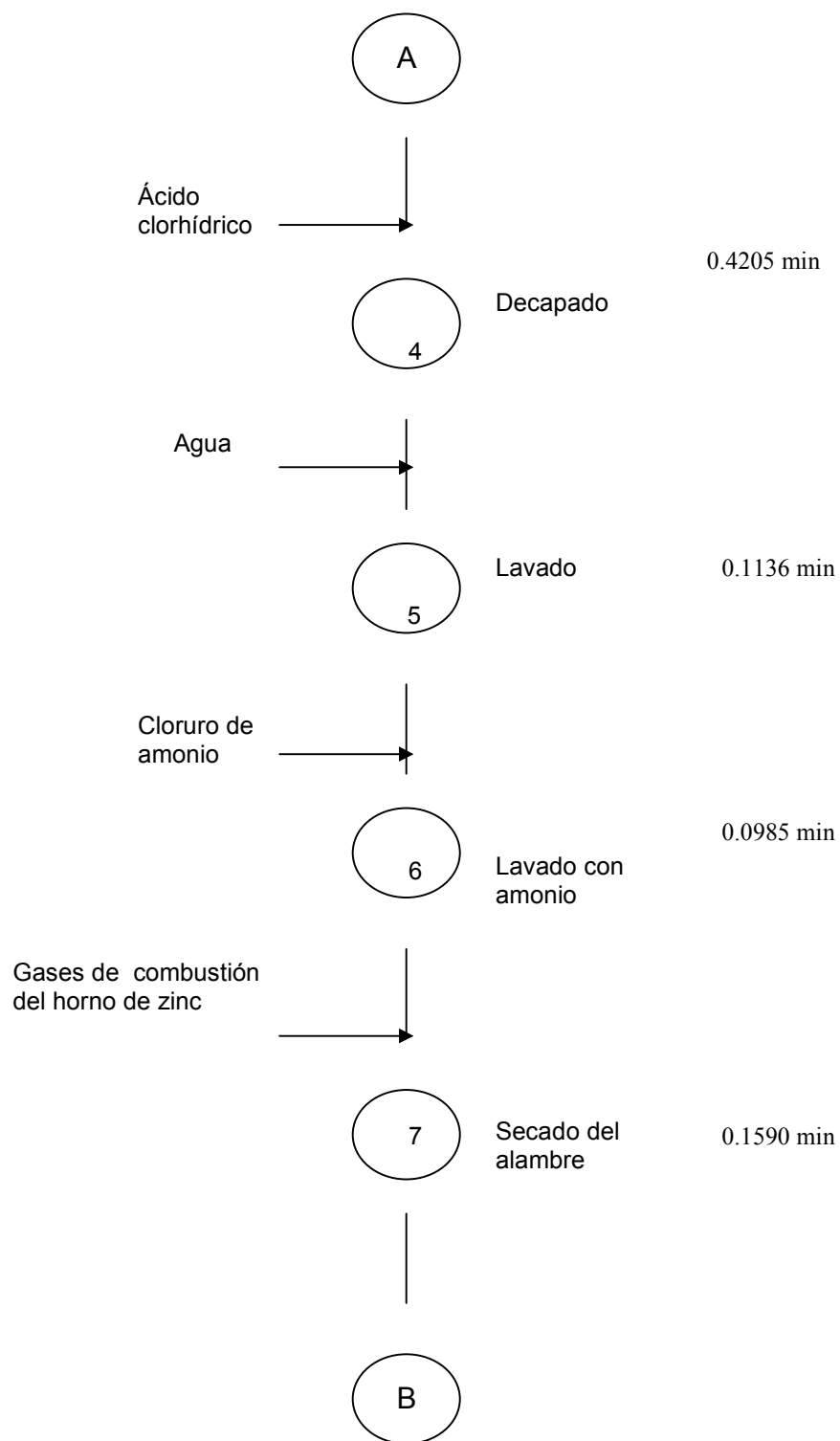
0.1003 min

137



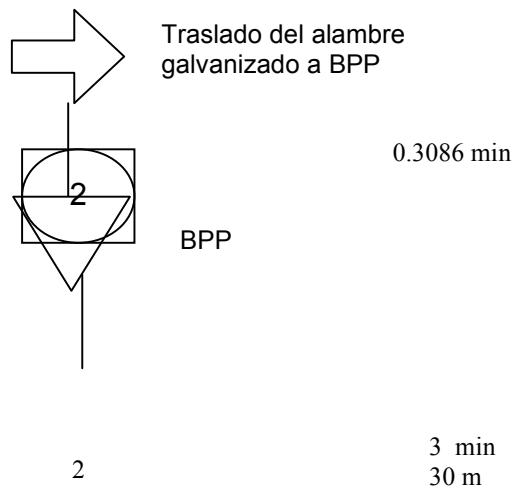
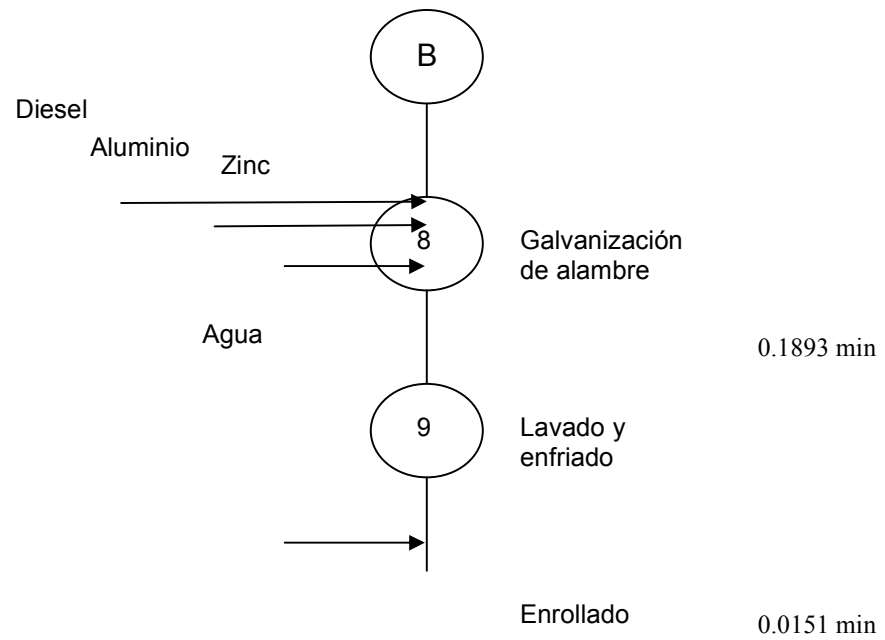
Continuación

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO (DFP)	
Método actual	
COMPañIA: Aceros de Guatemala S.A.	PÁGINA: 2 DE 3
REGRAFICADO: Christian Arango	Fecha: 7 / febrero / 2003
PROCESO: Galvanización de alambre por inmersión en caliente.	



Continuación

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO (DFP) Método actual	
COMPañIA: Aceros de Guatemala S.A.	PÁGINA: 3 DE 3
REGRAFICADO: Christian Arango	Fecha: 7 / febrero / 2003
PROCESO: Galvanización de alambre por inmersión en caliente.	








2

141

Nota: BPP es la bodega de producto en proceso.

Continuación

Operación	Número de operaciones	Tiempo	Distancia
	9	1.758 min	---
	2	0.661 min	---
	2	---	---
	1	5 min	---
	2	6.5 min	45 m

Fuente: Depto. Planeación

Aceros de Guatemala S.A. Año 2,003

2.2.3 Puntos críticos del proceso

Dentro del marco contextual cabe mencionar los puntos susceptibles a cambios, dentro del proceso de producción, una variable que no esté siendo controlada puede provocar producto terminado de mala calidad. A continuación se describirán de forma breve los puntos críticos del proceso:

1. Baño de decapado: es la operación dentro del proceso de galvanizado que ayuda a limpiar de todas las impurezas que contiene el metal. Este baño ayuda a eliminar cantidades pequeñas de aceites y grasas adheridas a la superficie del alambre.

En esta operación se analizarán las concentraciones de hierro en el baño, así también la temperatura y las propiedades del ácido.

2. Baño de cloruro de amonio: es la operación que consiste en la preparación del metal base, previo a ser sumergido al baño de zinc. Este baño ayuda a dar mayor adhesión del zinc sobre el acero. Puesto que es una operación bastante importante dentro del proceso se tendrá que tener cuidado con las concentraciones del cloruro como la temperatura de secado del alambre.
3. Baño de zinc: es la operación en el cual el zinc con temperatura de 420°C , se encuentra en estado líquido para ser adherido al acero para darle protección contra cualquier condición corrosiva que pueda estar expuesta el alambre.

2.3 Materia prima

El alambrón es la materia prima utilizada en la producción de trefilación de alambre, este tiene las siguientes características:

Diámetro:	5.5 mm
Grado del alambrón	G-1006
Peso promedio	1.2 TM

Presentación en rollos y manufacturado en Trinidad & Tobago

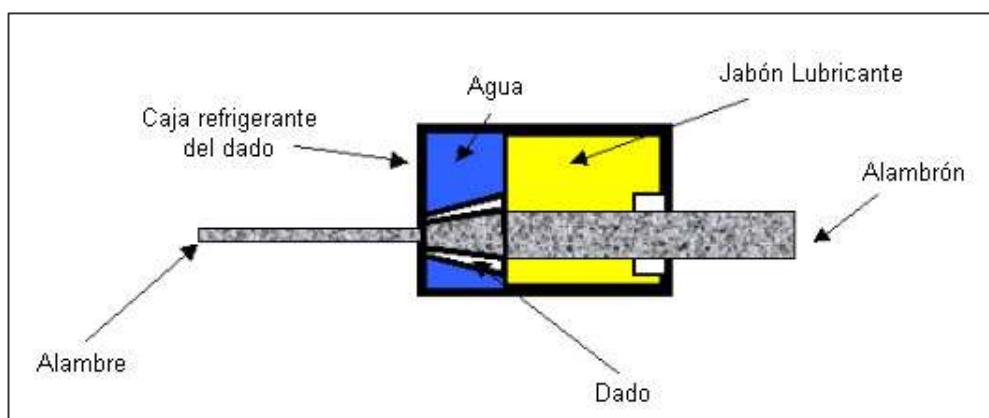
La materia prima es trasladada primero a la sección de trefilación donde ahí se obtiene la reducción del diámetro hasta llegarlo a un calibre deseado, posteriormente el alambre trefilado se vuelve MP para la producción de galvanizado de alambre.

2.3.1 Manufactura de la materia prima

El proceso que se lleva a cabo para la manufactura de alambre, es el trefilado, el cual consiste en un proceso de conformado en frío mediante el cual se consigue reducir el diámetro de un alambión o de un alambre.

Para ello se hace pasar el alambre a través de un dado fabricado usualmente de carburo de tungsteno, con la sección que se muestra a continuación (figura 4) se muestra el concepto del trefilado.

Figura 4. Grafico que representa el trabajo de trefilación



Cuando el grado de reducción total es muy grande (mayor 25%) se deben aplicar varios pasos de trefilado (varios dados con diámetros de salida sucesivamente más pequeños). El proceso de trefilado es un proceso en frío; aunque la deformación mecánica genera lógicamente calentamiento del material, éste raramente sobrepasa los 80 o 90 °C. Los parámetros de operación más importantes son:

- a. Grado de reducción y secuencia de reducciones
- b. Lubricante sólido usado
- c. Enfriamiento adecuado de los dados, en ese orden de importancia.

2.3.2 Calibres utilizados en el alambre galvanizado, según norma BWG

Para la producción de alambre galvanizado cabe mencionar los distintos calibres que se utilizan en el proceso, los de uso particular se presentan a continuación en la siguiente tabla, el cual presenta las medidas de los diferentes calibres:

Tabla I. Medidas de los alambres trefilados

Calibre	Diámetros en mm		
	Nominal	Mínimo	Máximo
16	1.651	1.6	1.7
15	1.829	1.75	1.85
14	2.108	2.0	2.1
13	2.413	2.38	2.45
12	2.769	2.7	2.8
10	3.404	3.38	3.48
9	3.759	3.9	3.9
8	4.191	4.15	4.25

Fuente: Depto. Producción

Aceros de Guatemala S.A. Año 2003

El mínimo y máximo representa un rango permitido en el proceso de trefilado, en cambio el nominal es la medida estandarizada por la norma BWG (Birmingham Wire Gauge).

2.4 Insumos utilizados en el proceso

Los insumos que se utilizan en la producción del galvanizado de alambre se describen a continuación:

2.4.1 Ácido clorhídrico

Es un compuesto químico inorgánico, cuya fórmula molecular es HCl. Es un ácido muy fuerte que en contacto con el aire, desprende un humo incoloro, de olor fuerte e irritante. Su sabor es agrio. Se obtiene por reacción del hidrógeno y cloro, con absorción por agua.

Se utiliza para la limpieza del alambre en el caso de aceite, lubricante, grasa o pintura, que tenga sobre su superficie.

2.4.2 Cloruro de amonio

El uso del fundente (cloruro de amonio o cloruro de amonio zinc) es aplicando en el punto, en el cual los alambres después de ser decapados y enjuagados, se preparan para sumergirse en la paila de zinc fundido.

Las soluciones de fundente son ligeramente ácidas y actúan como un leve decapado. En efecto el cloruro de amonio zinc lo protege adecuadamente de oxidación mientras ayuda al secado y se traslucen de forma de cristales blancos, reduce el baño de zinc de salpicaduras, además da una fluidez excelente produce en el recubrimiento una brillantez y da mayor afinidad de zinc al alambre, por estas razones es recomendado su uso.

2.4.3 Aluminio

Generalmente se adiciona al zinc fundido en cantidades minúsculas (56.7g/tonelada de zinc) o 0.005%. Esto disminuye la velocidad de oxidación del zinc fundido y abrillanta la apariencia del alambre galvanizado. El aluminio en el zinc disminuye el tamaño de grano, lo cual mejora la uniformidad del recubrimiento, pero este no debe exceder el nivel de 0.005%; demasiado disminuye la velocidad de formación de la capa de aleación y hace al baño de zinc más difícil de trabajar.

Como una prevención contra un exceso de aluminio, las adiciones deben ser hechas en la forma de una aleación maestra de zinc aluminio, sumergiéndola en el fondo del baño en muy pequeñas cantidades, quizás dos veces cada ocho horas de trabajo del baño.

2.4.4 Zinc

El lingote de zinc para el galvanizado es suministrado por fundidores experimentados para este uso particular, el grado de pureza que se utiliza en el proceso de galvanización es del 99.995%. Siendo la pureza de zinc un factor de mucha importancia, ya que en determinadas impurezas pueden influir en el espesor y estructura del recubrimiento formado y, por lo tanto, en su resistencia a la corrosión.

Para ayudar en la excoiación, es recomendable mantener una capa de plomo en el fondo del baño por consiguiente el zinc fundido tiende a permanecer saturado en plomo, el cual se disuelve en el zinc fundido arriba del 1%. Generalmente se considera que es más difícil galvanizar satisfactoriamente a concentraciones de plomo más bajas que el 0.5%.

2.5 Condiciones actuales de las variables del proceso

Durante muchos años el modo de trabajo en la planta de galvanizado de alambre ha sido de forma empírica, la inspección diaria es el único control sobre la línea de producción.

Es importante mencionar el modo de trabajo en los insumos empleados en la línea de galvanizado. Para ello se resumirá de forma concreta en los siguientes puntos:

- a. El ácido clorhídrico se reemplaza en su totalidad cada quince días, o sea aproximadamente cada 220 TM de producción, no teniendo ningún tipo de análisis químico para desechar el mismo o bien para practicarle refuerzos.
- b. El cloruro de amonio al igual que el ácido clorhídrico se reemplaza cada 15 días o bien cada 220 TM de producción, siendo de mucha importancia tener un parámetro de comparación para su respectivo análisis.
- c. La temperatura del baño de galvanizado es controlado por medio de un sistema electrónico el cual mantiene la temperatura del zinc fundido entre 450°C y 465°C.

3. DISEÑO DE GRÁFICOS DE CONTROL

El diseño de gráficos de control va enfocado a los puntos en los cuales mantienen una variación en el proceso, es por ello que en este capítulo se muestran las variables que serán inspeccionadas, como las consecuencias de carecer de un sistema de control apropiado. Por otro lado se encuentra los cálculos necesarios para determinar el RCP, la interpretación de resultados y el porcentaje de producto que se produce fuera de especificaciones.

3.1 Características por controlar

Las características que serán inspeccionadas en el proceso de galvanizado de alambre por inmersión en caliente, se describen a continuación.

3.1.1 Baño de decapado

A continuación se describirá las condiciones ideales en las que se debe trabajar el baño de decapado:

3.1.1.1 Concentración de hierro en el baño de decapado

En el baño de decapar se acumulan gradualmente sales de hierro. Cuando la concentración de estas alcanza el valor de 80-100 g/l., el baño no trabaja correctamente, es un gasto inútil continuar añadiendo ácido nuevo, también llamado “refuerzo”.

3.1.1.2 La temperatura del ácido

La temperatura debajo de unos 15°C, el decapado con ácido clorhídrico es muy lento. Es preferible trabajar a 18 – 31°C. La reacción química entre el óxido y el ácido genera calor suficiente para mantener una temperatura correcta. Sin embargo durante el invierno, el baño se enfría a veces a menos de 15°C en el transcurso de una noche y, de no existir medios de calentamiento, se tarda mucho en conseguir que el baño alcance su temperatura óptima de trabajo, por lo que es recomendable disponer de medio de calefacción adecuados.

El método más sencillo es la inyección directa de vapor, y como esto no hay que hacerlo más que de vez en cuando, la dilución del líquido de decapar por el agua condensada no representa problema alguno.

3.1.1.3 Concentración del ácido

Cuando se trata de un baño de ácido clorhídrico, la concentración no es muy importante, si bien, cuanto más diluido este el ácido tanto mayor será el tiempo de decapado. El baño consta aproximadamente de 14 por 100 en peso de ácido clorhídrico y se obtiene diluyendo ácido comercial de 19.2°Bé ó 30 por 100 en peso, con su volumen igual en agua. La concentración se mantendrá mediante adiciones periódicas de ácido nuevo concentrados, llamados también “refuerzos”.

Cabe mencionar que los “refuerzos” se hacen una vez se encuentren las concentraciones de hierro dentro del rango permitido (80-100 g/l) en la paila de decapado.

3.1.2 Baño de fundente

Por ser una operación de mucha importancia en el proceso de producción del galvanizado, es importante conocer los parámetros por considerarse en el baño de fundentizado, como la temperatura y la densidad relativa. A continuación se describe cada uno de ellos.

3.1.2.1 La temperatura del cloruro de amonio zinc

La temperatura del fundentizado no es importante en lo que se refiere a la acción del mismo, pero generalmente es aconsejable mantenerlo caliente. La temperatura máxima será determinada por el diámetro del metal y por la velocidad en que pasó el material del fundentizado al baño de zinc, es decir, el material deberá estar lo suficientemente seco para evitar salpicaduras de metal derretido cuando se haga la inmersión. Es necesario dejar el material en la solución solamente el tiempo de requerido para que el metal alcance la temperatura de solución. Una temperatura entre los 54°C y los 76°C será suficiente para que el material tenga un poco de tiempo después de pasar por el fundentizado para secarse parcialmente con su propio calor.

3.1.2.2 Concentración del cloruro de amonio zinc

La concentración de cloruro de amonio zinc que asegurará un mínimo de oxidación, debe de estar comprendida entre 18° - 20°Bé (medida en temperatura ambiente) es la recomendada para la pre – inmersión.

3.1.3 Baño de zinc

El baño de zinc fundido es la última etapa en el proceso de galvanizado, es por ello que es importante mencionar las variables a controlar, como también la importancia de manejarlos adecuadamente.

3.1.3.1 Temperatura del baño de galvanizado

El galvanizado debe ser hecho a la temperatura más baja posible, es consistente con el escurrimiento del zinc del alambre galvanizado. A baja temperatura se mantiene la ceniza y la escoria a un mínimo, se conserva combustible. Casi todo el alambre puede ser galvanizado en el rango de temperatura de 420°C – 460°C. El peso del recubrimiento incrementa cuando se acumula la aleación hierro – zinc en la paila de zinc y a más alta temperatura el hierro es más rápidamente disuelto en el zinc. Es importante que la temperatura de la paila sea controlada con precisión.

La temperatura crítica para la reacción entre las aleaciones de hierro y zinc fundido es de 480°C. Por debajo de esta temperatura una aleación compacta de hierro – zinc es formada en la temperatura crítica, la capa de

aleación se divide en grandes cristales, a través de los cuales el zinc puede penetrar hasta el metal base y puede alearse continuamente el zinc con el hierro adicional a alta velocidad, en este caso la formación de escoria es muy alta.

3.1.3.2 Velocidad de inmersión

El alambre debe ser sumergido tan rápidamente como sea posible, con el debido cuidado de seguridad. La velocidad de inmersión también influye la uniformidad del recubrimiento. Un recubrimiento grueso suficiente para la mayoría de los propósitos será depositado si el alambre trabajado se deja en el baño hasta que el burbujeo se detenga y entonces es retirado sin demora.

Los tiempos de inmersión usados por las compañías de galvanizado varían mucho en general.

A continuación se encuentran las velocidades a las que se gradúan las embobinadoras estáticas para la planta de galvanizado de alambre, representadas en la tabla IV.

**Tabla II. Velocidad de producción en la planta de galvanizado de alambre,
para los calibres comerciales**

Calibre B.W.G	Velocidad m/min
16	48

15	40
14	34
13	30
12	27
10	21.40
9	18.80
8	17.40

Fuente: Depto. Producción
Aceros de Guatemala S.A. Año 2003

3.1.4 Determinación de los defectos

La falta de control en cada una de las operaciones del galvanizado, provoca defectos en el producto terminado tales como alambre quemado, mala adherencia y manchas blancas. A continuación se describe cada uno de ellos.

3.1.4.1 Alambre quemado

Se debe principalmente a temperaturas exageradamente altas y fuera de control en la paila de galvanizado, temperaturas que exceden del rango normal de trabajo y un tiempo de inmersión demasiado prolongado provocan que el alambre salga parcialmente quemado de la paila.

3.1.4.2 Mala adherencia

Esta es consecuencia de la composición química del alambre trefilado utilizada, un alambre con porcentajes de silicio (Si) alto provoca inevitablemente una capa de zinc gruesa, dicha capa aumenta de grosor a medida que el porcentaje de silicio aumenta.

Así también una falta de control y supervisión de los parámetros críticos dentro del proceso de limpieza (decapado y fundentizado) son la causa principal de este problema al momento de recubrir el acero con zinc.

Una capa demasiado gruesa de zinc da como resultado que la adherencia del mismo sobre el acero no sea la óptima y que se produzca descascaramiento al momento de doblar el alambre.

3.1.4.3 Manchas blancas

El alambre muestra manchas de color blanco a todo lo largo, a simple vista el alambre tiene un color opaco; dichas manchas se presentan más comúnmente en los extremos del alambre galvanizado y donde el alambre no se le ha practicado un buen decapado.

Estas manchas blancas además de afectar la apariencia del alambre, predisponen al mismo a corroerse mas fácilmente, ya que el área blanca tiene un espesor de capa más delgado que el resto del alambre facilitando así la corrosión del mismo.

3.2 Gráficos de control por variable

3.2.1 Descripción del problema

Las operaciones de decapado y fundentizado de alambre se trabajan en su actualidad de forma empírica, o sea dando refuerzos y removiendo los insumos (ácido clorhídrico, cloruro de amonio zinc) sin previo análisis químico.

Por este motivo se deben establecer procedimientos para la realización de los análisis químicos, que sean utilizados de base para su respectivo estudio, con ello se podrá aprovechar y optimizar el uso de los insumos.

Así la implementación de gráficos estadísticos no llega a determinar la tendencia de las variables que se trabajan dentro de los insumos (concentraciones, % de hierro disuelto, temperaturas, etc.), y poder determinar con exactitud los refuerzos que se requieren como sus cambios.

3.2.2 Gráficos por variable para los insumos del proceso

A continuación se presentan cinco puntos a considerar para la construcción del gráfico de control.

3.2.2.1 Características por medir

Las variables más importantes que se recomienda controlar en el proceso de galvanizado de alambre son los siguientes:

- A) Decapado
 - Concentración del ácido
 - °Be
 - Concentración del hierro disuelto

Temperatura del ácido

B) Fundentizado

°Be

Temperatura del fundente

C) Galvanizado

Temperatura

3.2.2.2 Especificaciones de los insumos y variables
del proceso

A continuación se resumen los parámetros en las que se deben trabajar las variables del decapado, fundentizado y baño de zinc, según parámetros establecidos por *Zinc Institute, Nueva York, la Zinc Development Association, Londres* y Manual de Galvanizado de *Du Pont*. Anteriormente descritos en los puntos 3.1.1 - 3.1.3:

Tabla III. Especificaciones de las diferentes pailas en la línea de galvanizado de alambre por inmersión en caliente

OPERACIÓN	VARIABLE	RANGO DE APLICACIÓN
Decapado	Concentración del ácido	5 – 15%
	% de hierro disuelto	0 – 80 y 100 gr/lit ó 0 – 8 y 10%
	Temperatura del baño	18 – 31°C

	Densidad relativa °Bé	18 – 20°Bé
Fundentizado	Temperatura del baño	54 – 76°C
	Densidad relativa °Bé	15 – 25°Bé
Baño de zinc	Temperatura del baño	420°C – 460°C

Fuente: Zinc Institute, Inc.
Practica de Galvanización General, 1981.

3.2.2.3 Tamaño de la muestra

Para calcular el tamaño de la muestra que es necesaria para la construcción de los gráficos se utilizará la siguiente fórmula para una población infinita.

$$E = \frac{(Z_c)(\sigma)}{(n)^{1/2}}$$

despejando n se obtiene:

$$n = \frac{(Z_c)^2(\sigma)^2}{E^2}$$

$$E^2$$

donde:

- n: tamaño de la muestra, cálculo que se presenta en la sección 3.2.2.5.2.
- Zc: nivel de confianza, de la curva normal
- σ :- desviación estándar de la población, ver sección 3.2.2.5.1.
- E: Error estimado que se obtendrá entre la media de la población y la media muestral.

En la toma de datos para las temperaturas en las pailas de decapado, fundentizado y galvanizado, no conlleva a manejar un alto costo. Es por ello la aplicación de la fórmula para dichas variables. En cambio para las concentraciones del ácido, porcentaje de hierro disuelto y densidades relativas °Bé (decapado y fundentizado) se practicarán muestreos diarios, o sea cada veinticuatro horas, siendo motivo principal las variaciones suaves que presenta las propiedades químicas en las diferentes pailas del proceso. Es importante mencionar el alto costo que representa realizar los análisis químicos para dichas pailas.

3.2.2.4 Diseño de la tabla para inspección

En este punto se presenta la plantilla (ver figura 5) que se empleará para la inspección de las variables del proceso de producción (temperaturas, densidades relativas, % de hierro disuelto y concentración del ácido), en la línea de galvanizado de alambre por inmersión en caliente (ver figuras 6-8, 10-12 y 19-22).

Figura 5. Hoja de registro para la toma de datos

HOJA DE REGISTRO INDUSTRIA DE ACERO
--

Producto _____		Departamento _____					
Característica _____		Unidad de medida _____					
Límite de especificación		max _____ min _____					
Registrado por _____		Método _____					
Cantidad muestras	Tamaño de muestra					X	R
	1	2	3	4	5		
1							
2							
3							
.							
.							
.							
Promedio							
Máximo							
Mínimo							

3.2.2.5 Construcción de los gráficos

En esta sección se calcularán la desviación estándar de la población, para luego obtener el tamaño de la muestra, la cual será utilizada para la obtención de los datos. Estos últimos serán utilizados para la construcción de los gráficos de medias, rangos y el de límites del proceso.

3.2.2.5.1 Determinación de la desviación estándar

Debido a que se desconocerá el valor de la desviación estándar de la población, se procederá a tomar treinta muestras, divididas en seis grupos de cinco cada una. Esta recolección de datos se realizará durante seis días, tomando cinco muestras por día, una cada 80qq de producción, para el caso de las temperaturas.

Por otro lado el diseño de los gráficos de control por variable para las densidades relativas, porcentaje de hierro disuelto y concentración del decapado, se calculará de forma directa (ver inciso 1.2.6.3.1-2), siempre bajo la misma base, tomando treinta muestras durante seis semanas, tomando cinco muestras por semana o sea cada 400qq de producción (ver inciso 3.2.2.5.3.). Debido a que si se realizara con menor frecuencia resultaría impráctico, ya que el comportamiento de sus características no tiene movimientos repentinos. Posterior a ello se verá como se calcula la desviación estándar para el primer caso.

A continuación se encuentran los datos obtenidos de las temperaturas de las variables del proceso de galvanización.

Figura 6. Registro de datos para el cálculo de la desviación estándar para la temperatura del decapado

HOJA DE REGISTRO			
INDUSTRIA DE ACERO			
Producto: <u>alambre galvanizado</u>		Departamento: <u>galvanización</u>	
Operación: <u>decapado</u>			
Característica: <u>temperatura</u>		Unidad de medida: <u>°C</u>	
Límite de especificación		máx. <u>31 °C</u>	mín. <u>18 °C</u>
Registrado por <u>Christian Arango</u>		Método <u>actual</u>	
Cantida	Tamaño de muestra	X	R

d muestr as	1	2	3	4	5		
Día 1	25	28	27	28	31	27.8	6
Día 2	24	29	32	31	32	29.6	8
Día 3	26	32	27	29	27	28.2	6
Día 4	24	31	27	28	29	27.8	7
Día 5	27	26	29	33	30	29	7
Día 6	25	29	28	30	29	28.2	5
Promedio						28.433 3	6.5
Máximo			33			29.6	8
Mínimo			24			27.8	5

Figura 7. Registro de datos para el cálculo de la desviación estándar para la temperatura del fundentizado

HOJA DE REGISTRO			
INDUSTRIA DE ACERO			
Producto: <u>alambre galvanizado</u>		Departamento: <u>galvanización</u>	
Operación: <u>fundentizado</u>			
Característica: <u>temperatura</u>		Unidad de medida: <u>°C</u>	
Límite de especificación		máx. <u>76 °C</u>	mín. <u>54 °C</u>
Registrado por <u>Christian Arango</u>		Método <u>actual</u>	
Cantida	Tamaño de muestra		R

d muestr as	1	2	3	4	5		
Día 1	26	22	21	22	27	23.6	6
Día 2	21	24	27	24	25	24.2	6
Día 3	26	24	31	28	27	27.2	7
Día 4	28	24	29	24	22	25.4	7
Día 5	29	30	26	27	24	27.2	6
Día 6	22	26	28	25	26	25.4	6
Promedio						25.500 0	6.3333
Máximo			30			27.2	7
Mínimo			21			23.6	6

Figura 8. Registro de datos para el cálculo de la desviación estándar para la temperatura de galvanizado

HOJA DE REGISTRO INDUSTRIA DE ACERO							
Producto: <u>alambre galvanizado</u> Departamento: <u>galvanización</u> Operación: <u>galv. de zinc</u>							
Característica: <u>temperatura</u>				Unidad de medida: <u>°C</u>			
Límite de especificación				máx. <u>460 °C</u>		mín. <u>420 °C</u>	
Registrado por <u>Christian Arango</u> Método <u>actual</u>							
Cantidad	Tamaño de muestra					X	R
muestras	1	2	3	4	5		
Día 1	465	463	459	457	458	460.4	5
Día 2	461	462	460	456	458	459.4	6

Día 3	456	458	462	466	462	460.8	8
Día 4	462	457	459	463	465	461.2	6
Día 5	459	456	458	464	460	459.4	8
Día 6	464	460	458	463	466	462.2	8
Promedio						460.566 7	6.8333
Máximo			466			462.2	8
Mínimo			456			459.4	5

La fórmula por utilizar para el cálculo de la desviación estándar es la siguiente:

$$\sigma = R/d_2$$

donde:

R: promedio de rangos

d₂: factor de línea central, ver tabla XIV de anexos
para una muestra n = 5

Aplicando la fórmula:

R: promedio de rangos para cada variable

d₂ = 2.326 para una muestra de cinco

Tabla IV. Desviación estándar

Operación	Variable	R	D2	Resultado de
-----------	----------	---	----	--------------

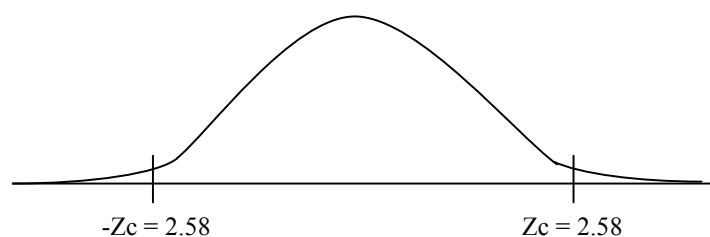
				$\sigma=R/d2$
Decapado	Temperatura	6.5	2.326	2.7945
Fundentizado	Temperatura	6.3333	2.326	2.7228
Galvanizado	Temperatura	6.8333	2.326	2.9378

3.2.2.5.2 Cálculo de la muestra

De acuerdo con el paso anterior, se obtiene el tamaño de la muestra de la siguiente forma:

Se utilizará un nivel de confianza del 99% o sea $Z_c = 2.58$, como se representa en la figura (ver tabla de anexos); el criterio para elegir este valor es el siguiente:

Figura 9. Representación gráfica de los puntos críticos para un nivel de confianza del 99 %, en la curva normal



En el momento de seleccionar el nivel de confianza, se corre el riesgo de cometer cualquiera de los dos siguientes errores:

Error tipo I: es el riesgo de que un punto caiga fuera de los límites de control, lo que indica una condición fuera de control cuando no existe una causa atribuible.

Error tipo II: es el riesgo de que un punto caiga entre dichos límites cuando el proceso está en realidad fuera de control.

El empleo de los límites de 3σ , en lugar de otro más estrecho o más amplio, es una cuestión de experiencia. Aunque la mayoría de veces, los límites de 3σ son los mejores, se dan casos especiales en los que es conveniente el empleo de límites más estrecho, tales como 2σ , esto como un instrumento para ejercer una presión ejecutiva sobre la calidad.

Un error E de 1°C , representa la diferencia máxima permitida entre la medida de temperaturas, esta se obtiene con el resultado de la muestra, esto exige un tamaño de muestra mayor.

Aplicando la fórmula, se presenta los resultados en la próxima tabla de las muestras que se requiere para cada variable:

$$n = \frac{(Z_c)^2(\sigma)^2}{E^2}$$

$$Z_c = 2.58$$

$$E_{\text{temp}} = 1$$

Tabla V. Resultado de la muestra "n"

Operación	Variable	Zc	σ	E	Resultado de n	n
-----------	----------	----	----------	---	----------------	---

Decapado	Temperatura	2.58	2.7945	1	52	60
Fundentizado	Temperatura	2.58	2.7228	1	49	50
Galvanizado	Temperatura	2.58	2.9378	1	57	60

El tamaño de la muestra es de 60 para la temperatura de decapado y galvanizado, 50 para la temperatura del fundentizado. El modo de recolección de los datos es la siguiente: para la temperatura de decapado y galvanizado se tomarán doce muestras de cinco observaciones cada uno, para la temperatura del fundentizado se tomaran diez muestras de cinco observaciones cada uno. La información obtenida se encuentra a continuación

Figura 10. Registro de datos para la elaboración del gráfico de la temperatura del decapado

HOJA DE REGISTRO INDUSTRIA DE ACERO							
Producto: <u>alambre galvanizado</u>				Departamento: <u>galvanización</u>			
Operación: <u>decapado</u>							
Característica: <u>temperatura</u>				Unidad de medida: <u>°C</u>			
Límite de especificación				máx. <u>31 °C</u>		mín. <u>18 °C</u>	
Registrado por <u>Christian Arango</u>				Método <u>actual</u>			
Cantidad muestras	Tamaño de muestra					X	R
	1	2	3	4	5		
Día 1	24	27	26	28	31	27.20	7
Día 2	26	24	31	29	29	27.80	7
Día 3	26	31	28	29	27	28.20	5
Día 4	30	26	27	28	29	28.00	3
Día 5	29	26	28	27	29	27.80	3
Día 6	23	27	24	24	28	25.20	5

Día 7	29	26	22	31	29	27.40	9
Día 8	29	27	28	29	27	28.00	2
Día 9	30	33	29	25	26	28.60	8
Día 10	28	31	29	24	26	27.60	7
Día 11	31	27	29	29	25	28.20	6
Día 12	25	29	32	30	28	28.80	7
Promedio						27.7333	5.75
Máximo			33			28.6	9
Mínimo			23			25.2	2

Figura 11. Registro de datos para la elaboración del gráfico de la temperatura del fundentizado

HOJA DE REGISTRO INDUSTRIA DE ACERO							
Producto: <u>alambre galvanizado</u>				Departamento: <u>galvanización</u>			
Operación: <u>fundentizado</u>							
Característica: <u>temperatura</u>				Unidad de medida: <u>°C</u>			
Límite de especificación				máx. <u>76 °C</u>		mín. <u>54 °C</u>	
Registrado por <u>Christian Arango</u>				Método <u>actual</u>			
Cantidad muestras	Tamaño de muestra					X	R
	1	2	3	4	5		
Día 1	28	29	31	27	26	28.2	5
Día 2	27	24	25	26	30	26.4	6
Día 3	21	24	24	26	28	24.6	7
Día 4	28	29	27	26	22	26.4	7
Día 5	25	27	29	28	30	27.8	5
Día 6	31	29	27	25	28	28	6
Día 7	28	28	29	28	27	28	3

Día 8	30	28	26	24	22	26	8
Día 9	21	24	26	27	28	25.2	7
Día 10	29	25	27	24	23	25.6	6
Promedio						26.6200	6.0000
Máximo			31			28.2	7
Mínimo			21			24.6	3

Figura 12. Registro de datos para la elaboración del gráfico de la temperatura de galvanizado

HOJA DE REGISTRO INDUSTRIA DE ACERO							
Producto: <u>alambre galvanizado</u> Departamento: <u>galvanización</u> Operación: <u>galv. de zinc</u>							
Característica: <u>temperatura</u>				Unidad de medida: <u>°C</u>			
Límite de especificación				máx. <u>460 °C</u>		mín. <u>420 °C</u>	
Registrado por <u>Christian Arango</u>				Método <u>actual</u>			
Cantidad muestras	Tamaño de muestra					X	R
	1	2	3	4	5		
Día 1	466	463	461	460	459	461.8	7
Día 2	458	460	463	464	466	462.2	8
Día 3	460	458	456	455	458	457.4	5
Día 4	456	457	459	461	463	459.2	7
Día 5	466	464	464	462	460	463.2	6
Día 6	461	462	466	463	459	462.2	7
Día 7	457	459	462	463	467	461.6	10

Día 8	462	459	457	455	458	458.2	7
Día 9	459	460	462	463	465	461.8	5
Día 10	460	459	458	458	454	457.8	6
Día 11	457	459	462	463	463	460.8	6
Día 12	464	463	460	458	457	460.4	7
Promedio						460.550 0	6.7500
Máximo			466			463.2	10
Mínimo			456			457.4	5

3.2.2.5.3 Límites de control

Se toman como referencia las fórmulas vistas en el capítulo número uno (página 22 y 23) para las variables de la temperatura, densidad específica, concentraciones del ácido y % de hierro disuelto.

Límites de control para las temperaturas de las operaciones de decapado, fundentizado y paila de zinc: (ver tabla XIV de los anexos para los factores A2, D3)

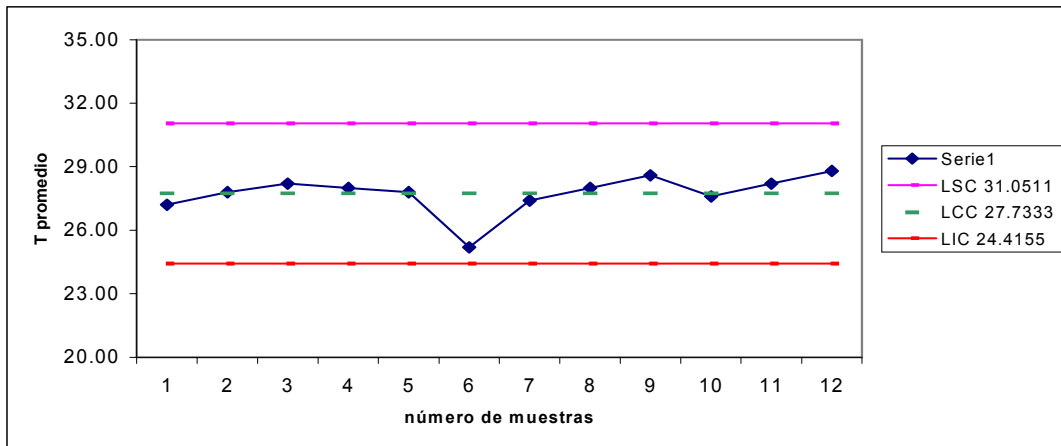
Graficos X (temperatura de decapado)

$$LSC = X + A2R = 27.7333 + (0.577)*(5.75) = 31.0511 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LCC = X = 27.7333 = 27.7333 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LIC = X - A2R = 27.7333 - (0.577)*(5.75) = 24.4155 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Figura 13. Gráfico de medias para la temperatura de decapado



Gráficos X (temperatura de fundentizado)

$$LSC = X + A2R = 26.6200 + (0.577)*(6.00) = 30.082 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LCC = X = 26.6200 = 26.620 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LIC = X - A2R = 26.6200 - (0.577)*(6.00) = 23.158 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

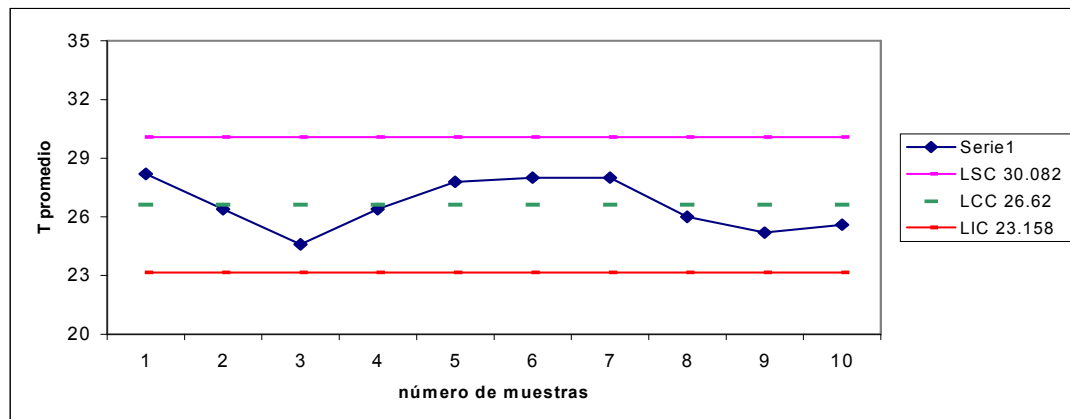


Figura 14. Gráfico de medias para la temperatura de fundentizado

Gráficos X (temperatura de paila de zinc)

$$LSC = X + A2R = 460.6500 + (0.577)*(6.75) = 464.5448 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LCC = X = 460.6500 = 460.6500 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LIC = X - A2R = 460.6500 - (0.577)*(6.75) = 456.7552 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

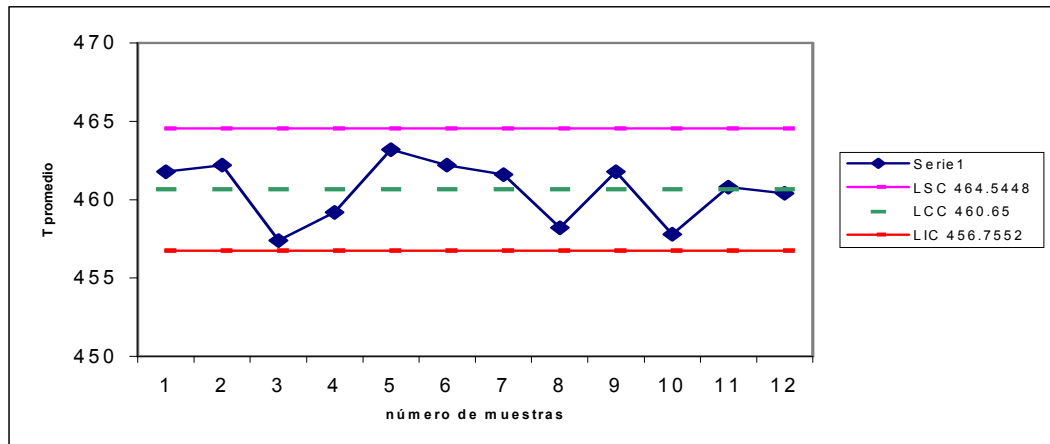


Figura 15. Gráfico de medias para la temperatura de la paila de zinc

Gráficos R (temperatura de decapado)

$$LSC = D4R = (2.114) \cdot (5.75) = 12.1555 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LCC = R = 5.75 = 5.75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LIC = D3R = (0) \cdot (5.75) = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

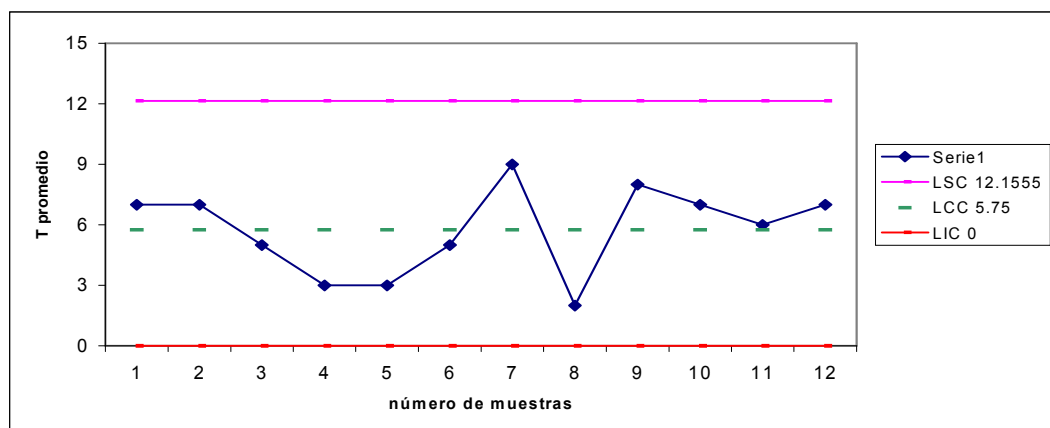


Figura 16. Gráfico de rangos para la temperatura de decapado

Gráficos R (temperatura de fundentizado)

$$LSC = D4R = (2.114)*(6) = 12.684 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LCC = R = 6 = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LIC = D3R = (0)*(6) = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

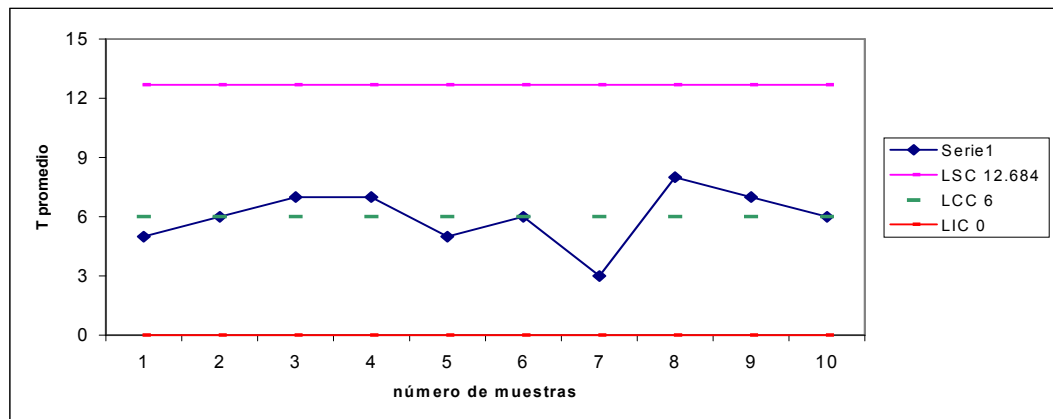


Figura 17. Gráfico de rangos para la temperatura del fundentizado

Gráficos R (temperatura de paila de zinc)

$$LSC = D4R = (2.114)*(6.75) = 14.269 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LCC = R = 6.75 = 6.75 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$LIC = D3R = (0)*(6.75) = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

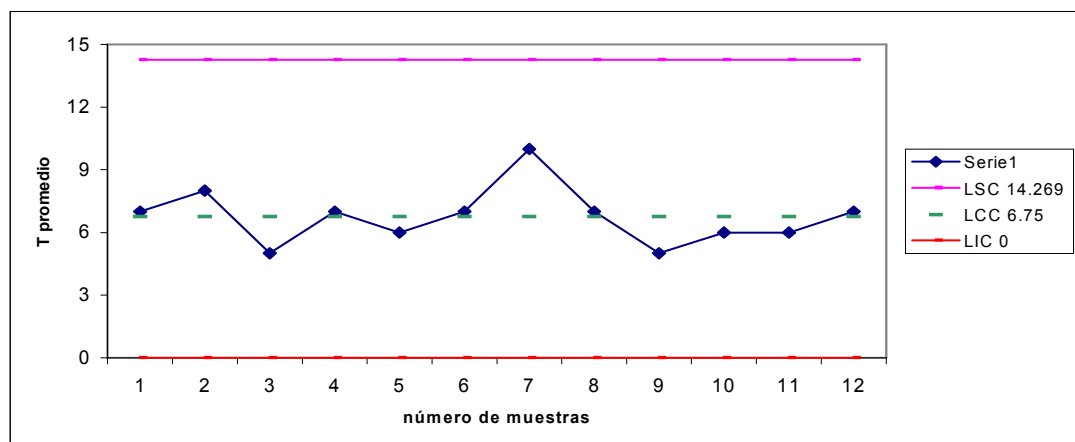


Figura 18. Gráfico de rangos para la temperatura de la paila de zinc

Como se pudo observar los gráficos de control corresponden a medias y rangos de las temperaturas del proceso (ver figuras 13-18), es importante mencionar que se encuentran bajo control estadístico sobre los datos generados del proceso de producción actual. Por lo tanto es importante comparar sobre un parámetro (especificaciones) para llevar a cabo el análisis y verificar que el proceso sea confiable.

A continuación se presentan las tablas de las muestras para la densidad específica, concentración del ácido y hierro disuelto en las operaciones de decapado y fundentizado, establecidas en el punto 3.2.2.4.1. Con estos datos se partirá para realizar el cálculo de los límites de control del proceso. Es importante mencionar que los gráficos que se presentaran a continuación mantienen una tendencia bastante uniforme conforme transcurre cada semana, manteniendo cinco observaciones por semana.

Figura 19. Registro de datos para la elaboración del gráfico de la concentración del ácido para el decapado

HOJA DE REGISTRO INDUSTRIA DE ACERO							
Producto <u>alambre galvanizado</u>		Departamento: <u>galvanización</u>			Operación: <u>decapado</u>		
Característica: <u>concentración del ácido</u>				Unidad de medida: <u>% de concentración</u>			
Límite de especificación				máx. <u>15 %</u>	mín. <u>5%</u>		
Registrado por <u>Christian Arango</u>				Método <u>actual</u>			
Cantidad muestras	Tamaño de muestra					X	R
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5		
Semana 1	13.62	12.05	9.9	8.6	7.55	10.34	6.07
Semana 2	5.02	4.8	3.9	3.33	2.9	3.99	2.12
Semana 3	14.5	13.82	11.37	9.02	8.15	11.372	6.35
Semana 4	7.65	6.05	4.8	3.63	3.01	5.028	4.64
Semana 5	13.72	12.64	10.78	9.24	7.79	10.834	5.93
Semana 6	6.86	5.09	4.32	3.29	2.62	4.436	4.24
Promedio						7.6673	4.8917
Máximo			14.5			11.372	6.07
Mínimo			2.62			3.99	2.12

Figura 20. Registro de datos para la elaboración del gráfico de la
concentración del hierro disuelto en el decapado

HOJA DE REGISTRO INDUSTRIA DE ACERO							
Producto: <u>alambre galvanizado</u>		Departamento: <u>galvanización</u>		Operación: <u>decapado</u>			
Característica: <u>concentración del hierro disuelto</u>		Unidad de medida: <u>gr / l</u>					
Límite de especificación		máx. <u>100</u>		mín. <u>0</u>			
Registrado por <u>Christian Arango</u>		Método <u>actual</u>					
Cantidad muestras	Tamaño de muestra					X	R
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5		
Semana 1	6.14	14.35	27.74	43.63	57.38	29.848	51.24
Semana 2	64.44	79.03	93.08	101.02	112.3	89.974	47.86
Semana 3	8.34	31.98	43.18	49.87	58.18	38.31	49.84
Semana 4	73.49	80.05	95.55	104.6	115.13	93.764	41.64
Semana 5	3.31	21.26	29.09	48.71	59	32.274	55.69
Semana 6	68.15	77.57	83.78	98.86	108.33	87.338	40.18
Promedio						61.9180	47.7417
Máximo			115.13			93.764	55.69
Mínimo			3.31			29.848	40.18

Figura 21. Registro de datos para la elaboración del gráfico de la densidad

relativa en el decapado

HOJA DE REGISTRO INDUSTRIA DE ACERO							
Producto: <u>alambre galvanizado</u>					Departamento: <u>galvanización</u>		
Operación: <u>decapado</u>							
Característica: <u>densidad relativa</u> Unidad de medida: <u>° Bé</u>							
Límite de especificación máx <u>20 ° Bé</u> min <u>18</u>							
°Bé							
Registrado por <u>Christian Arango</u> Método <u>actual</u>							
Cantidad muestras	Tamaño de muestra					X	R
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5		
Semana 1	12	14	16	18	20	16	8
Semana 2	21	26	28	30	30	27	9
Semana 3	13.5	15	16	19	20	16.7	6.5
Semana 4	22	23	27	29	30	26.2	8
Semana 5	12	15	16	18	20	16.6	8
Semana 6	21	26	28	29	32	27.2	11
Promedio						21.55	8.4167
Máximo			32			27.2	11
Mínimo			12			16	6.5

Figura 22. Registro de datos para la elaboración del gráfico de la densidad
relativa en el fundentizado

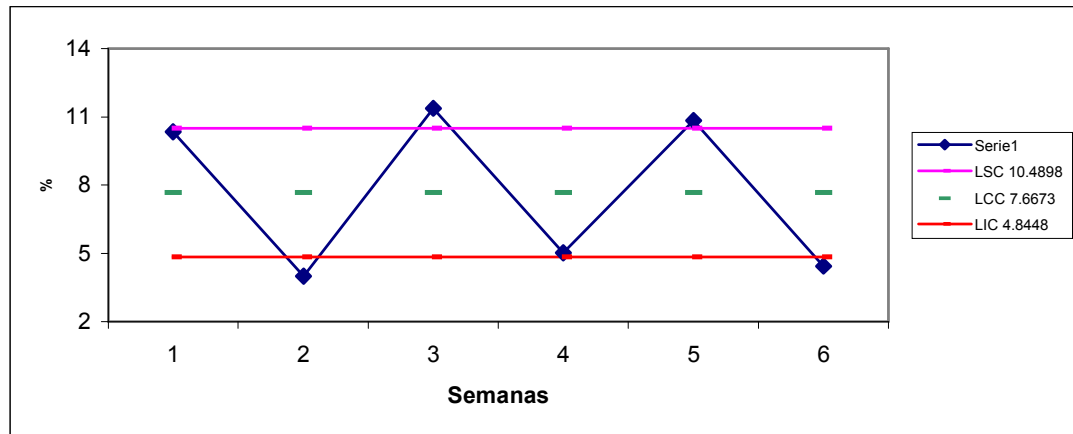
HOJA DE REGISTRO INDUSTRIA DE ACERO							
Producto: <u>alambre galvanizado</u> Departamento: <u>galvanización</u> Operación: <u>fundentizado</u> Característica: <u>densidad relativa</u> Unidad de Medida: <u>° Bé</u> . Límite de especificación máx. <u>25 ° Bé</u> min. <u>15 ° Bé</u> Registrado por <u>Christian Arango</u> Método <u>actual</u>							
Cantidad muestras	Tamaño de muestra					X	R
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5		
Semana 1	11	13	14	17	19	14.8	8
Semana 2	22	25	27	29	30	26.6	8
Semana 3	12	14	16	19	20	16.2	8
Semana 4	23	25	26	29	31	26.8	8
Semana 5	13	14	15	18	19	15.8	6
Semana 6	21	24	26	28	32	26.2	11
Promedio						21.0667	8.1667
Máximo			32			26.8	11
Mínimo			11			14.8	6

Gráficos X (concentración del ácido clorhídrico del decapado)

$$LSC = X + A2R = 7.6673 + (0.577)*(4.8917) = 10.4898 \%$$

$$\begin{aligned} \text{LCC} &= X = 7.6673 = 7.6673 \% \\ \text{LIC} &= X - A2R = 7.6673 - (0.577)(4.8917) = 4.8448 \% \end{aligned}$$

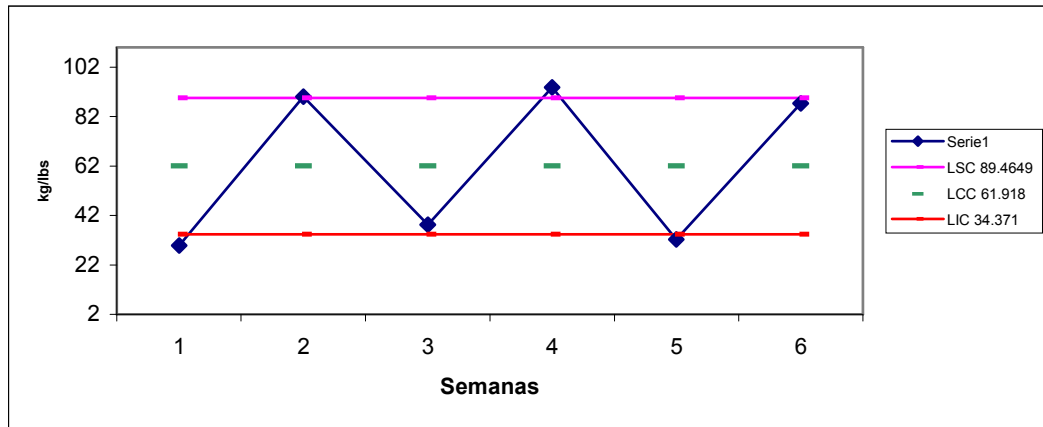
Figura 23. Gráfico de medias para la concentración del ácido clorhídrico



Gráficos X (hierro disuelto en el ácido clorhídrico decapado)

$$\begin{aligned} \text{LSC} &= X + A2R = 61.9180 + (0.577)(47.7417) = 89.4649 \text{ kg/lbs} \\ \text{LCC} &= X = 61.9180 = 61.9180 \text{ kg/lbs} \\ \text{LIC} &= X - A2R = 61.9180 - (0.577)(47.7417) = 34.3710 \text{ kg/lbs} \end{aligned}$$

Figura 24. Gráfico de medias para el % de hierro disuelto en el ácido clorhídrico



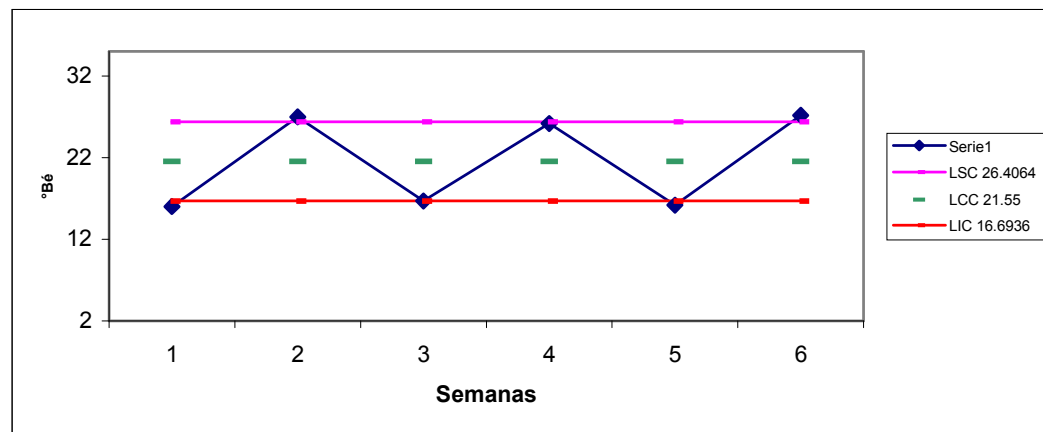
Gráficos X (densidad relativa del decapado)

$$LSC = X + A2R = 21.5500 + (0.577)*(8.4167) = 26.4064 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

$$LCC = X = 21.5500 = 21.5500 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

$$LIC = X - A2R = 21.5500 - (0.577)*(8.4167) = 16.6936 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

Figura 25. Gráfico de medias para la densidad relativa del decapado



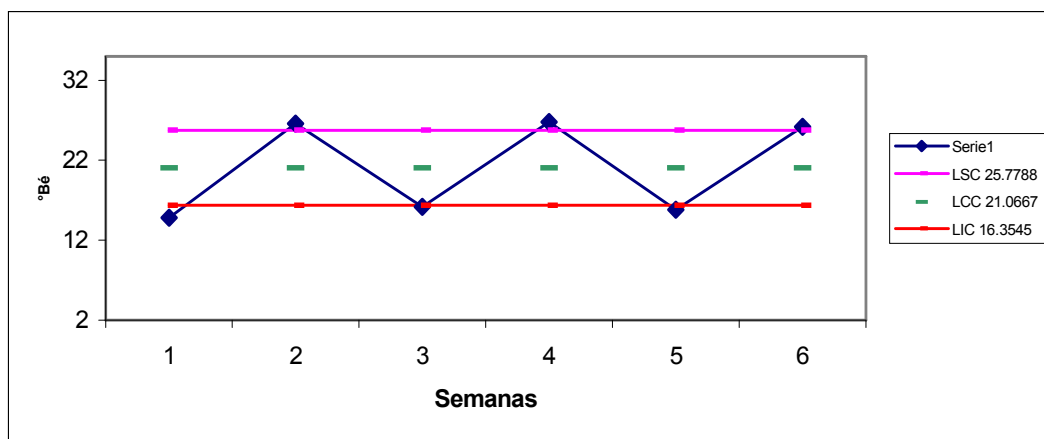
Gráficos X (densidad relativa del decapado)

$$LSC = X + A2R = 21.0667 + (0.577)*(8.1667) = 25.7788 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

$$LCC = X = 21.0667 = 21.0667 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

$$LIC = X - A2R = 21.0667 - (0.577)*(8.1667) = 16.3545 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

Figura 26. Gráfico de medias para la densidad relativa del fundentizado



Gráficos R (concentración del ácido clorhídrico del decapado)

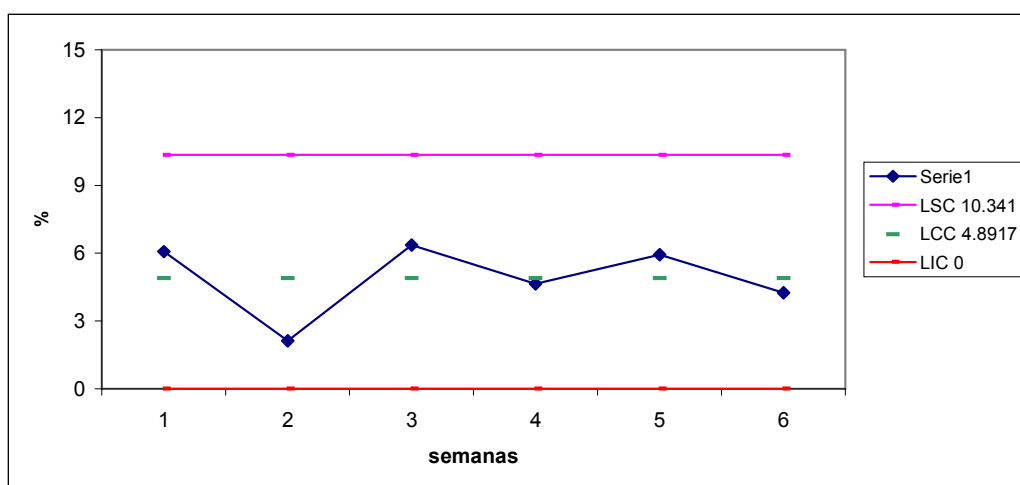
$$LSC = D4R = (2.114) \cdot (4.8917) = 10.3410 \%$$

$$LCC = R = 4.8917 = 4.8917 \%$$

$$LIC = D3R = (0) \cdot (4.8917) = 0 \%$$

Figura 27. Gráfico de rangos para la concentración del ácido clorhídrico

decapado



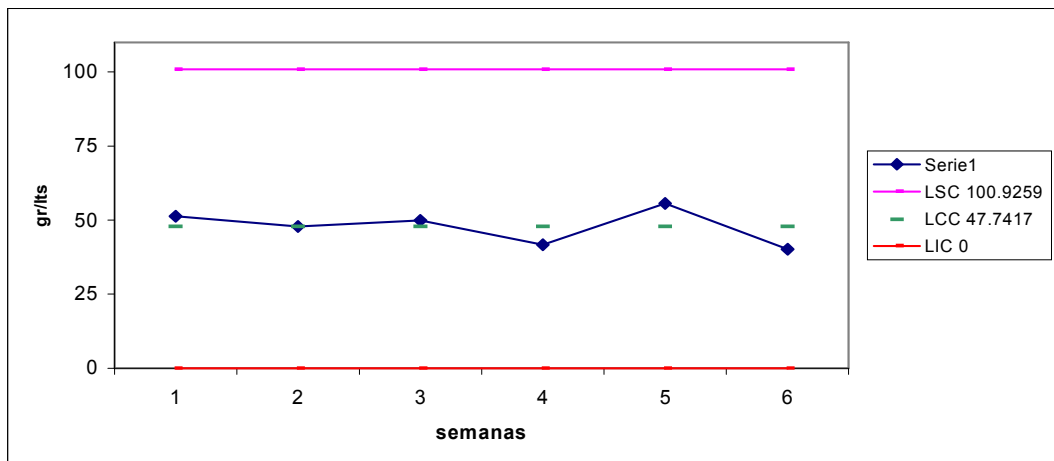
Gráficos R (hierro disuelto en el ácido clorhídrico)

$$LSC = D4R = (2.114) \cdot (47.7417) = 100.9259 \text{ lb/lts}$$

$$LCC = R = 47.7417 = 47.7417 \text{ lb/lts}$$

$$LIC = D3R = (0) \cdot (47.7417) = 0 \text{ lb/lts}$$

Figura 28 Gráfico de rangos para la concentración de hierro disuelto en el decapado



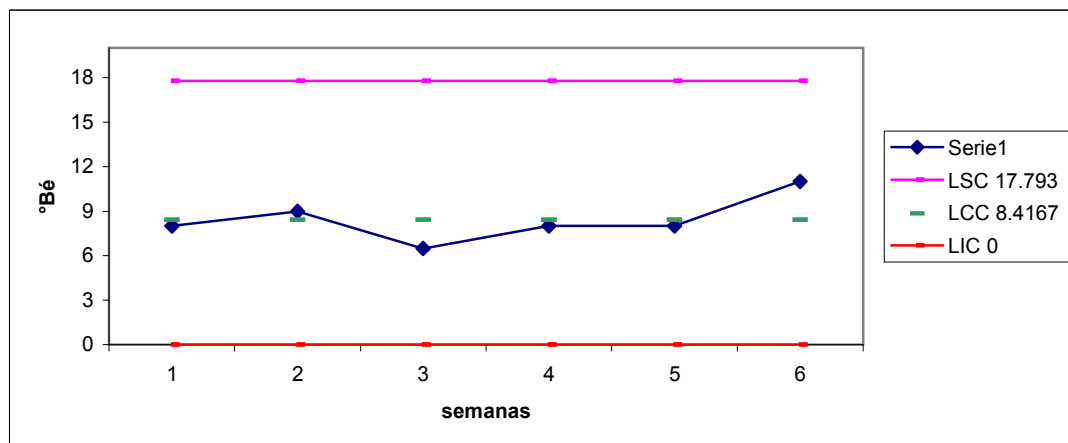
Gráficos R (densidad relativa del decapado)

$$LSC = D4R = (2.114) * (8.4167) = 17.793 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

$$LCC = R = 8.4167 = 8.4167 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

$$LIC = D3R = (0) * (8.4167) = 0 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

Figura 29. Gráfico de rangos para la densidad relativa decapado



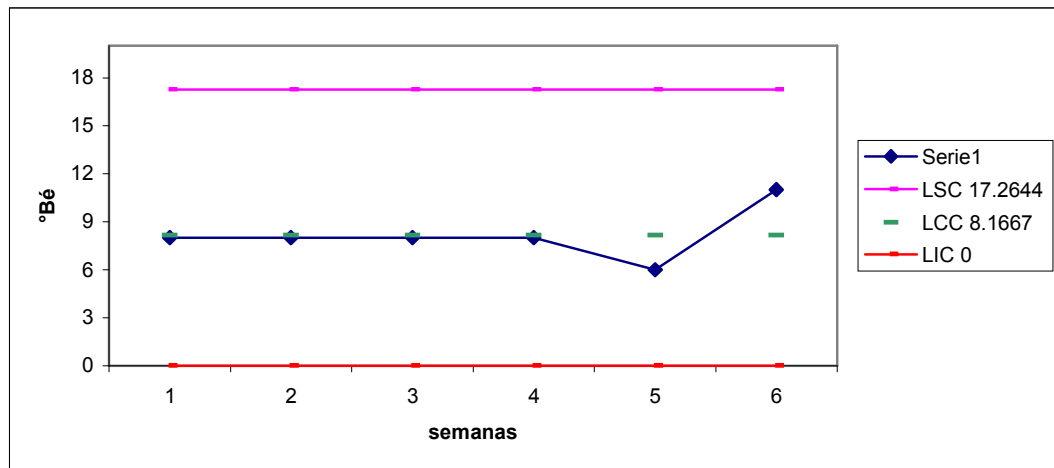
Gráficos R (densidad relativa del fundentizado)

$$LSC = D4R = (2.114) * (8.1667) = 17.2644 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

$$LCC = R = 8.1667 = 8.1667 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

$$LIC = D3R = (0) \cdot (8.1667) = 0 \text{ } ^\circ\text{Bé}$$

Figura 30. Gráfico de rangos para la densidad relativa fundentizado



En los gráficos de control estadístico por variable para promedios (ver figuras 23-26), se observó que las variables analizadas mantienen una tendencia cíclica en el comportamiento de sus propiedades, encontrándose las muestras en los límites del proceso tanto superior como inferior. De allí la necesidad de comparar dichos puntos con los límites de especificaciones, para poder cotejar de forma gráfica ambos límites y comprobar que se esté trabajando de forma satisfactoria.

También así se observó que para los gráficos de rangos mantienen una uniformidad en el proceso (ver figuras 27-30), encontrándose los mismos dentro de un rango permitido.

3.2.2.5.4 Comparación entre los límites de especificación y los límites del proceso

Los límites de especificaciones o del proyecto, fijan la cantidad de variación que se puede tolerar para los datos individuales que se producen. Por lo tanto, estos límites se pueden comparar directamente con los límites del proceso de las distribuciones de frecuencias (ver figuras 31-37). Estos límites del proceso se pueden medir directamente y compararlos en el dibujo con los límites de especificaciones, para poder determinar si existe o no un estado de control satisfactorio.

Los límites de las gráficas de control por variables, como están basados en la distribución de las medias, no pueden ser comparados directamente con los límites de especificaciones o del proyecto. Cuando se necesite tomar una decisión sobre si estos límites indican una condición satisfactoria o no, será necesario comparar los límites de especificaciones o del proyecto, con los límites del proceso.

Para determinar la desviación estándar de la muestra para cada variable, se calculará con la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Aplicando la fórmula se obtienen los siguientes resultados (ver tabla VIII):

Tabla VI. Desviación estándar de las variables del proceso

Operación del proceso	Variables	Desviación estándar σ
Decapado	concentración del ácido	3.79 %
	Hierro disuelto	33.93 gr/lt
	Temperatura	6.19 °C
	Densidad relativa	2.35 °Bé
Fundentizado	Temperatura	6.34 °C
	Densidad relativa	2.47 °Bé
Galvanizado	Temperatura	3.11 °C

En la tabla IX que aparece a continuación, se calculará los límites del proceso, para proceder a compararlos de forma gráfica:

Tabla VII. Límites del proceso y límites de especificación

Operación del proceso	Variables	Límites del proceso $X \pm 3\sigma$			Límites de especificación	
		L.P.S.	L.P.C.	L.P.I.	L.S.E.	L.I.E.
Decapado	concentración del ácido	11.42	7.67	3.87	15	5
	Hierro disuelto	95.85	61.92	27.99	100	0
	Temperatura	30.08	21.73	25.38	31	18
	Densidad relativa	27.74	21.55	15.36	20	18
Fundentizado	Temperatura	29.09	26.62	24.15	76	54
	Densidad relativa	27.41	21.07	14.73	25	15
Galvanizado	Temperatura	463.6	460.5	457.4	460	420

Figura 31. Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación **CONCENTRACIÓN DEL DECAPADO**

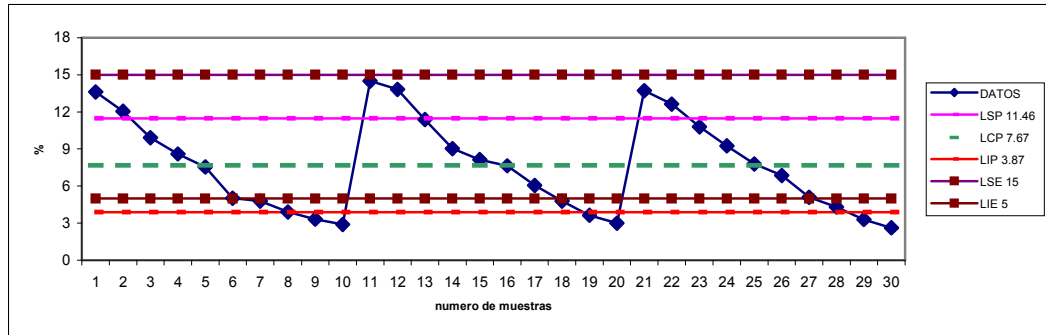


Figura 32. Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación **CONCENTRACIÓN DE HIERRO DISUELTO**

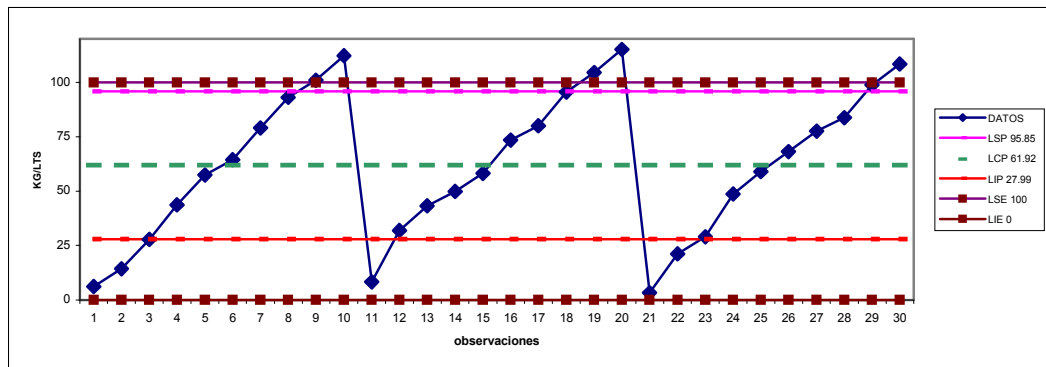


Figura 33. Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación **DENSIDAD RELATIVA**

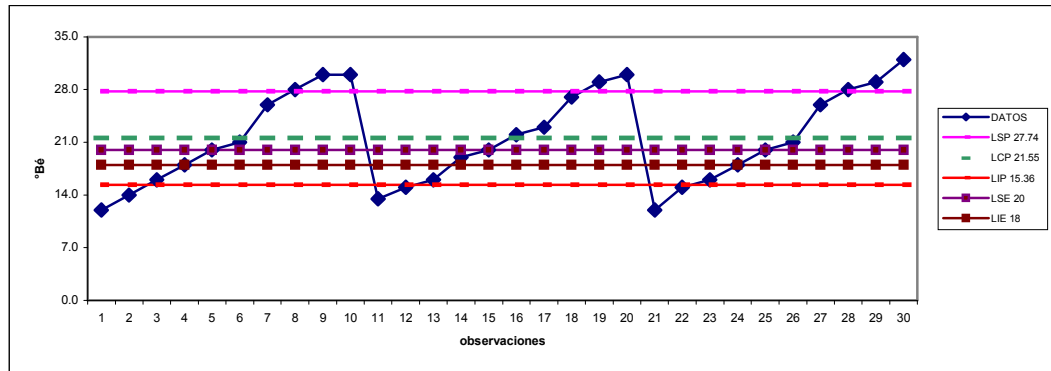


Figura 34. Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación TEMPERATURA DECAPADO

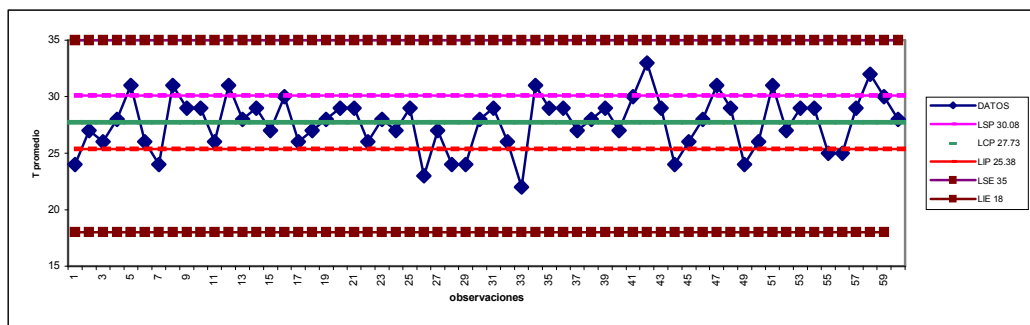


Figura 35. Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación DENSIDAD RELATIVA DEL FUNDENTIZADO

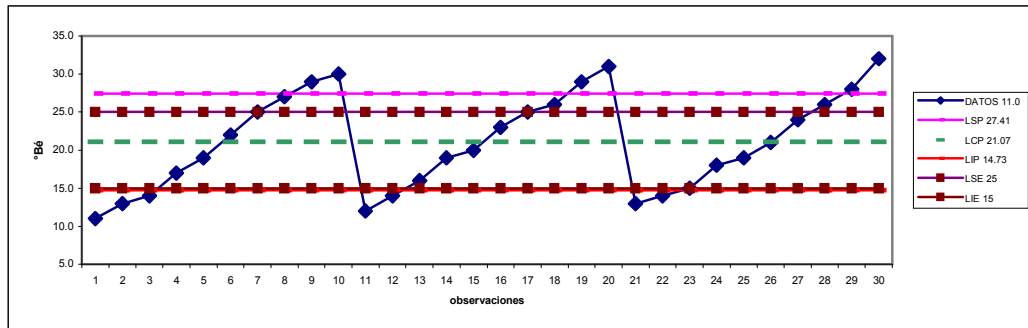


Figura 36. Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación TEMPERATURA DEL FUNDENTIZADO

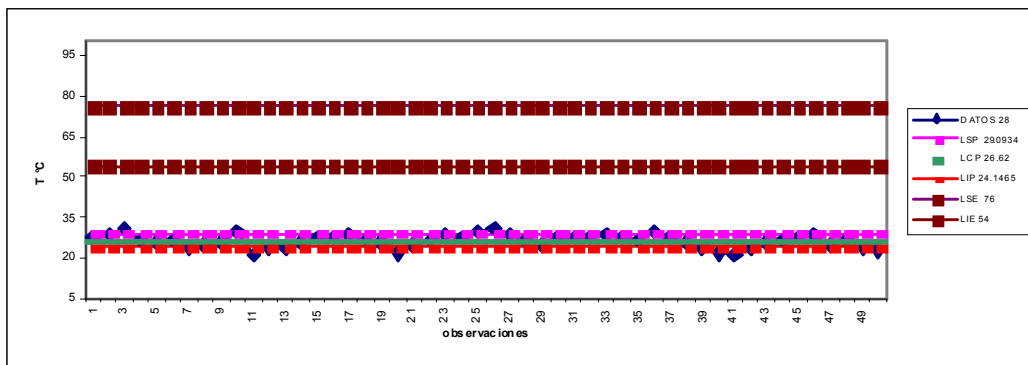
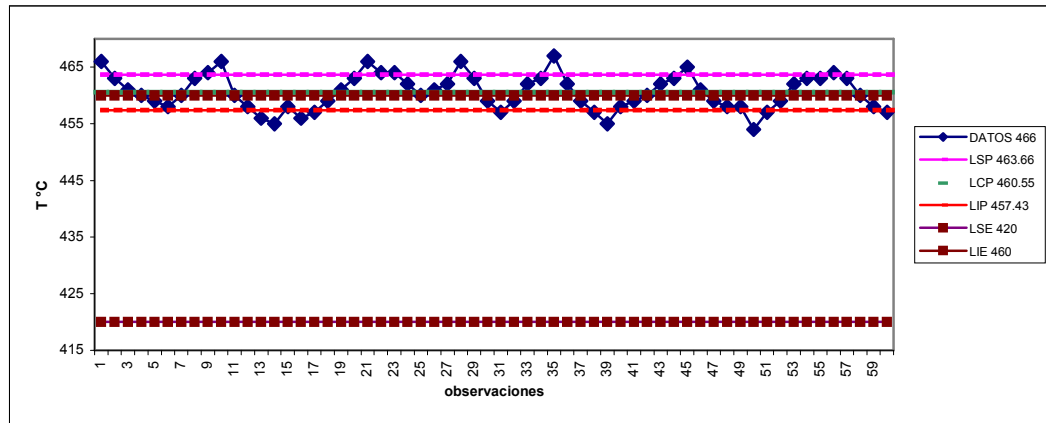


Figura 37. Gráfico de comparación entre los límites del proceso contra los límites de especificación TEMPERATURA DEL GALVANIZADO



3.2.2.5.5 Descripción del proceso de la construcción del gráfico

Para la construcción de los gráficos de control, es necesario seguir las siguientes etapas.

- A. Selección de la característica de calidad más conveniente.
- B. Recolección de los datos tomados de cierto número de muestras, cada una formada por un número conveniente de unidades.
- C. Determinación de los límites de control, de acuerdo con los datos proporcionados por las muestras.
- D. Trazar los límites de control e iniciar el registro de los resultados de las muestras de un tamaño adecuado.
- E. Cuando la característica de las muestras de la producción quede fuera de los límites de control, tomar la acción correctiva necesaria.
- F. Cuando en un proceso las características de las muestras se conservan persistentemente dentro de los límites de control, se dice que el proceso está bajo control.

3.2.2.5.6 Índice de capacidad del proceso (RCP)

A continuación se analizarán las variables del proceso de producción, por medio del índice de capacidad del proceso, para determinar la capacidad del proceso de cumplir con las especificaciones:

Fórmula del RCP (inciso 1.2.1.3):

$$RCP = \frac{LES - LEI}{6\sigma}$$

Aplicando la fórmula se obtiene:

Tabla VIII. Resultados del Índice de capacidad del proceso

Operación del proceso	Variables	RCP = (LSE-LIE)/(6σ)
Decapado	concentración del ácido	0.44
	Hierro disuelto	0.49
	Temperatura	0.14
	Densidad relativa	0.35
Fundentizado	Temperatura	0.67
	Densidad relativa	0.58
Galvanizado	Temperatura	1.14

Debido a que el RCP para las variables del decapado y fundentizado de alambre que se encuentra menor que uno (1), esto quiere decir que las operaciones mencionadas no son capaces de cumplir con sus especificaciones.

Por otro lado la variable del galvanizado de alambre si es capaz de cumplir con las especificaciones.

Los resultados obtenidos gráficamente en las variables de la densidad relativa, concentración del hierro disuelto y el porcentaje de concentración del ácido clorhídrico en el decapado, pueden tener una probable relación de dependencia mutua, pudiendo estos valores variar conforme la concentración de cada uno de ellos durante el proceso de producción.

3.2.2.5.7 Análisis de resultados

A continuación se analizarán los resultados obtenidos por el índice de capacidad del proceso (RCP) de las diferentes variables estudiadas en el proceso de producción de galvanizado de alambre por inmersión en caliente.

La observación obtenida para cada variable y su posterior estudio estadístico, se inició teniendo las pailas de decapado y fundentizado recién removidas, con el propósito de observar el ciclo completo con el cual trabajan actualmente en dicho proceso. Es importante mencionar que la variabilidad cíclica que se presentan en los gráficos 31, 32, 33 y 35 representan las remociones efectuadas a las pailas en un periodo de diez días.

3.2.2.5.7.1. Decapado

El índice de capacidad del proceso obtenido por la variable de la concentración del ácido, $RCP = 0.44$, muestra ser un proceso que no cumple con el rango de especificación, esto debido a la falta de control estadístico y análisis químico correspondiente. Como se puede observar en la gráfica 31 en

los días del 7-10, del 18-20 y del 27-30, muestra claramente que trabajan fuera de los límites de especificación.

Continuando con el análisis de la concentración de hierro disuelto, es parte importante en la fase de decapado, se obtuvo un $RCP = 0.49$, valor que muestra que se está trabajando fuera de los límites de especificación. Esta variabilidad se presenta dos días antes de que el ácido sea removido (ver figura 32), bajo estas circunstancias la paila trabaja en condiciones no aptas para practicar el decapado del alambre.

La condición de densidad relativa del ácido no es capaz de cumplir con la especificación de rango, según resultado obtenido de $RCP = 0.35$. Es necesario tomar en cuenta que esta incapacidad es comprobable principalmente a que los límites de proceso en cuestión no son cubiertos por los límites de especificación asignados para un buen decapado. La densidad relativa es utilizada como parámetro para comprobar que el análisis químico sea el correcto y a la vez sea confiable según los datos obtenidos.

La temperatura de la operación de decapado según el cálculo obtenido por el $RCP = 0.14$, indica claramente que no sería capaz de cumplir con las especificaciones del proceso, pero al observar la figura 34 se puede notar que los puntos tomados en las observaciones se mantienen dentro de los límites de especificación, lo cual quiere decir que no precisamente tienen que estar fuera de rango de las especificaciones para no ser capaz si no que exhiben un grado de variabilidad alto dentro de la temperatura de decapado.

3.2.2.5.7.2. Fundentizado

La temperatura del fundentizado muestra que el índice de capacidad del proceso es de $RCP = 0.67$, expresando así que la variable no es capaz de cumplir con las especificaciones, esto debido a que la temperatura del proceso se encuentra por debajo del rango de especificaciones recomendado ya que no existe ningún mecanismo adecuado para elevar la temperatura del proceso al punto apropiado.

La densidad del fundente utilizado en la paila, trabaja fuera de los límites de especificación (ver figura 35). El fundente se remueve cada diez días de producción continua por lo que los puntos al inicio y al final del ciclo de uso del fundente, se encuentran fuera de control en cuanto a su concentración. Es por ello que el RCP indica un resultado de 0.58 mostrando así ser una variable que no es capaz de cumplir con sus especificaciones. Los límites del proceso son controlables mediante toma de °Bé para aplicar sus respectivos refuerzos.

3.2.2.5.7.3. Galvanización

La temperatura del galvanizado muestra un $RCP = 1.14$, indicando de esta forma que es capaz de cumplir con el rango de especificaciones, como lo muestra en la figura 37, las temperaturas se mantienen sobre el límite superior de especificaciones. A pesar que se encuentra dentro de los rangos aceptables, es necesario considerar que en cualquier momento puede llegar a ser un punto crítico dentro del proceso, es controlable toda vez que se asegure una temperatura promedio entre el límite inferior del proceso y el límite inferior de especificaciones.

3.2.2.5.8 Porcentaje que no cumple con las especificaciones

Ya que las variables del proceso no son capaces de cumplir con las especificaciones, a excepción de la temperatura del galvanizado, ahora se evaluará el porcentaje del producto que no trabaja dentro de los rangos de especificaciones, el cálculo se realizará al encontrar los puntos críticos de la curva normal, relacionando los límites de especificaciones contra la gran media muestral.

$$Z1 = \frac{LIE - X}{\sigma}$$

$$Z2 = \frac{X - LSE}{\sigma}$$

Para efectos de practicidad se calculará el porcentaje para la concentración del ácido clorhídrico.

Ahora

$$Z1 = \frac{5 - 7.6673}{3.79} = -0.7037$$

$$Z2 = \frac{7.6673 - 15}{3.79} = -1.9352$$

De la tabla de la curva normal (ver tabla XIII de los anexos) se suman las áreas a la izquierda de Z2 más el área a la derecha de Z1.

Para un $Z_1 = -0.7037$ y una muestra de 5 se tienen un área de: 0.2734

Para un $Z_2 = -1.9352$ y una muestra de 5 se tiene un área de: 0.4744

El área sumada es de 0.7478

Ahora se multiplica este porcentaje por la cantidad de producción (660TM) que se tuvo en el tiempo en el cual se llevo a cabo el muestreo, obteniéndose un resultado de 494 TM. Dato que corresponde a la cantidad de producto que trabajo fuera de las especificaciones.

De igual forma se calcula para todas las variables que obtuvieron un RCP menor que uno.

4. CONSIDERACIONES Y SEGUIMIENTO

Este capítulo trata de la seguridad e higiene que se debe manejar en una planta de galvanizado de alambre por inmersión en caliente, además está incluido el plan de implementación que debe seguir para llevar un control estadístico del proceso y por otro lado, se tiene las recomendaciones técnicas que se sugiere en dicho proceso.

4.1 Seguridad e higiene en el proceso

Es de vital importancia conocer los estándares de seguridad e higiene, ya que proporcionan parámetros, reglas, lineamientos, procedimientos y cuidados en las secciones de mayor peligro.

4.1.1 Reglas generales

1. Conozca las reglas de seguridad: aprenda las reglas de seguridad para su trabajo y empléelas.
2. De usted se espera la seguridad: trabaje con seguridad por su propia protección y por las de los hombres quienes trabajan cerca de usted. Ayude al hombre recién llegado para que trabaje con seguridad.
3. Peligro poco usual: si usted no está seguro de cómo efectuar su trabajo con seguridad, pregúntele a su jefe inmediato antes de seguir adelante.
4. Licores intoxicantes: no ingrese licor dentro de la planta. No beba licor en lugar alguno que sea propiedad de la compañía. No venga al trabajo bajo la influencia del licor.

5. Peleas: no participe en forma alguna en pelea, evite: retozar, molestar o tirar materiales ni herramientas. Silbar, gritar o cualquier ruido recio innecesario que sea capaz de distraer a un compañero de trabajo.
6. Informe sobre condiciones no seguras: inmediatamente de parte de cualquier condición o práctica no segura avise a su jefe inmediato.
7. Avisos y señales de advertencia: los avisos de peligro o las señales de advertencia se colocan con un propósito. Póngales atención por su propio bien. Haga lo mismo con las señales que suenen de las grúas, camiones, etc.
8. Maquinaria y herramientas defectuosas: no utilice herramientas ni maquinaria que necesiten reparación o ajustes. Su uso puede resultar en lesiones para usted y para otros. Informe inmediatamente de tales equipos a su jefe inmediato.
9. Obstruir pasillos: no amontone ni deje material o herramientas que obstruyan los pasillos, caminos, escaleras, pasos de camiones, salidas, entradas.
10. Vestimenta: vestirse adecuadamente para su trabajo. Asegúrese de que tiene el equipo adecuado para su seguridad. Almacene la ropa sólo en roperos (casilleros) o en los lugares proporcionados para ello.
11. Equipo eléctrico y extintores de incendios: no ponga loncheras ni otro artículo sobre o dentro de cajas de interruptores u otros aparatos eléctricos ni sobre los extintores de incendio.
12. Informe sobre grietas o goteras: informe al jefe inmediato sobre todas las grietas o goteras de vapor, ácido, aceite y gas.
13. Ojos: en todo momento debe emplearse equipo adecuado de seguridad para proteger los ojos. No intente remover cosa alguna del ojo de un compañero de trabajo.
14. Su salud: mantenga limpio su compartimiento (casilleros) y no marque o señale las paredes ni dañe el equipo sanitario. Nunca tire artículos, tales

como guantes, trapos, etc. En los inodoros. Nunca tire comida, tabaco ni desperdicios en los inodoros ni en los bebederos. Coloque todos los desperdicios en las latas que se le proporcionan.

- a. Lávese las manos antes de comer.
- b. Dele al lugar en donde trabaja la misma consideración que a su hogar.
- c. Tome agua solo de los bebederos. Otra agua podría no ser segura.

15. Informe sobre todos los accidentes y heridas, no importan cuán leves sean.

4.1.2 Manejo de materiales

La mayoría de los accidentes en un taller de galvanización, ocurren cuando los materiales son manipulados.

Una amplia variedad de materiales es manipulada, tal como fabricaciones, soldadas, tanques, cajas, tubería y aditamentos o accesorios, hojas plantas, baños de eliminación, formas curvas, barras, redondos, ángulos, cerca de alambre suministros.

El material anterior es recibido y almacenado, manipulado dentro del proceso y enviado por una amplia variedad de métodos de manejo, que oscilan desde un manejo manual hasta montacargas.

4.1.21.Instrucciones generales de seguridad para el manipuleo de los materiales:

1. El buen manejo es esencial para la seguridad en el manipuleo de los materiales, ya sea mecánica o manualmente. Mantenga la planta limpia.
2. El material debiera acumularse en forma nivelada, en forma segura y no muy alto.
3. Tenga cuidado al caminar sobre pisos mojados o con aceite.
4. Planee su trabajo, los métodos fortuitos producen accidentes.
5. Póngase su equipo de seguridad.

4.1.2.2.Seguridad en el manipuleo manual:

1. Levante con sus piernas, no con la espalda, mantenga la carga cerca del cuerpo.
2. Obtenga ayuda para cargas pesadas o difíciles de manejar.
3. Asegúrese de que los pies estén firmes antes de levantar.
4. Nunca levante con el cuerpo girando, mueva los pies y ponga la carga al frente.
5. No corra.
6. Use precaución en las esquinas en donde no hay visibilidad, tenga cuidado con las otras personas.
7. Cuando sea posible, deslice el material en vez de cargarlo.
8. Nunca lleve caminando un garrafón de ácido, utilice un cargador.
9. Póngase protectores para dedos de los pies cuando maneje tarimas de zinc.
10. Mantenga las manos fuera de peligro, cuídese de puntos que puedan comprimir al manejar los materiales manualmente.
11. Evite contacto con la piel cuando maneje químicos.

12. Inmediatamente vierta agua abundante sobre salpicaduras con químicos para quitarlas.

4.1.2.3.Seguridad en el manipuleo mecánico

1. Solamente los trabajadores autorizados debieran operar cualquier equipo mecánico.
2. Inspeccione frecuentemente el equipo. Los anzuelos o ganchos, bloques y cables de grúas, cadenas, correas, cables, etc. Nunca utilice equipo desgastado, retorcido, roto o dañado de forma alguna.
3. Utilice sólo cadenas y accesorios de acero de aleación, resistente al ácido, en las operaciones de decapado. Los cables de alambre no deben estar en contacto con el ácido.
4. Al utilizar equipo de alzamiento, enganche y cargue cuidadosamente, no sobrecargue, no deje la carga colgando baje cuidadosamente.
5. Quitar todo el material flojo de la carga, antes de izar.
6. Mantenga las manos y los pies apartados de los montacargas o ganchos.
7. Evite mecer la leva cuando sea posible. Cerciórese que los otros trabajadores no estén en el camino antes de iniciar la izada.
8. Lleve la carga lo suficientemente en alto para evitar todas las obstrucciones, si fuese necesario en las áreas congestionadas, camine delante de las cargas para advertirles a los otros trabajadores. Nunca se quede de pie ni trabaje debajo de una carga colgado.
9. Los operadores deben conocer la capacidad del equipo.
10. En los montacargas no permita pasajeros.
11. Asegúrese de que los frenos, bocina, luz, etc., estén en condiciones adecuadas de funcionamiento.
12. Disminuya la velocidad, suene la bocina en todos los pasillos de cruce y en las salidas.

13. Sea especialmente precavido en las esquinas cerradas.

4.1.2.4. Equipo personal de seguridad

1. Debe tener puesto su calzado con las puntas de seguridad durante todas las fases del trabajo de galvanización
2. Debe tener puestos los guantes de cuero en las palmas, durante todo el trabajo de enganchamiento, desenganchamiento y trabajo manual, cuando sea posible.
3. Debe tener puestos los guantes de hule, delantales y botas de hule, así como el protector de cara al manejar ácidos dentro de garrafrones o en recipientes abiertos.
4. Su protector de cara o los protectores de ojos debieran tenerse puestos cuando se trabaja alrededor de tanques de decapado, paila para galvanización, en donde ocurre explosiones o descargas, o en cualquier lugar en donde es posible una lesión en los ojos.
5. Use sus protectores de cara, o los guantes, cuando agregue zinc a la paila.
6. Use sus protectores de cara, polainas y guantes cuando se le quitan las impurezas a la paila.
7. Lleve puesto su equipo de seguridad para evitar que se causen lesiones.

4.1.3 Limpieza y decapado

En el departamento de limpieza y decapado, algunos materiales quemarán si permite que ellos entren en contacto con su piel u ojos. Algunos también pueden ser venenosos.

Si estos materiales son utilizados adecuadamente, no son peligrosos. Para su propia protección, debe aprender a cómo manejarlos con seguridad.

4.1.3.1 Decapado

En general todos los productos deben ser decapados en solución ácida antes de la galvanización en inmersión caliente. Los ácidos más comúnmente utilizados son el sulfúrico, fluorhídrico, muriático y clorhídrico

Las quemaduras con ácido son muy dolorosas para la piel y los ojos. Ellas sanan muy lentamente y las quemaduras severas pueden ser fatales.

Respirar los vapores del ácido es doloroso y dañino. Se debe tener mucho cuidado al manejar ácido y al trabajar cerca de los tanques de decapado.

4.1.3.1.1. Precauciones para el manejo de químicos

1. No deje que el ácido le caiga en la piel ni en el cuerpo.
2. Siga cuidadosamente las instrucciones sobre el manejo de materiales al llevar a cabo trabajo en los tanques de decapado.
3. Al manejar ácidos, póngase los anteojos protectores y el protector de cara, los guantes de hule, las botas de hule y un mandil (delantal) de hule.
4. Al agregarle ácido al baño, siempre vierta el ácido sobre el agua, nunca el agua sobre el ácido.
5. Nunca camine con un garrafón de ácido.
6. Vierta agua sobre las quemaduras de ácido con agua corriente durante diez minutos.

7. Obtenga atención médica.

4.1.3.1.2. Almacenaje

1. Los ácidos debieran ser almacenados en un lugar fresco, bien ventilado.
2. No almacene el ácido cerca de tuberías calientes ni bajo el sol. Puede explotar.

4.1.4 Galvanización por inmersión en caliente

Cómo operar de forma segura la galvanización en inmersión caliente:

Tabla IX. Peligro y precauciones a considerar en la planta de galvanización por inmersión en caliente

PELIGRO	PRECAUCIONES
Material que cae dentro de la paila de zinc, puede salpicar zinc caliente.	Use el equipo de manejo lo suficientemente fuerte para sostener.
Material mojado que entra en el baño de zinc, salpica o explota.	Tome las medidas necesarias para el secado de alambre, este es posterior al fundentizado. Use anteojos protectores, sombrero, camisa de manga larga.
Salpicadura de zinc en el piso después de sacar el trabajo de la paila de zinc.	Mantenga su distancia y póngase sus polainas de asbesto.
Quemaduras producidas del agua hirviente, que sale del tanque de enfriamiento cuando el material es enfriado en agua.	Mantenga agua fresca dentro de los tanques de enfriamiento. Introduzca tan lentamente como sea posible el trabajo dentro del agua.
Quemaduras por el material galvanizado o por el manejo de	Maneje el material con ganchos o con guantes gruesos de protección.

equipo.	
---------	--

Equipo de seguridad que debe utilizarse en el proceso

1. Anteojos protectores claros, usados por todos los que trabajan cerca de la paila.
2. Protector claro de cara usado por los hombres del fundente.
3. Zapatos de seguridad, usados por todos.
4. Guantes de algodón, usados por todos los hombres.
5. Guantes y ganchos al manejar canastas calientes.
6. Polainas de asbesto, botas, guantes y delantales de hule según sean necesarios.
7. Mangas largas y sombreros o gorros.

4.1.5 Buen manejo y buena higiene

Usted trabaja más seguro, mejor y más feliz en un taller ordenado. Mantenga el equipo que usted utiliza en orden, y puesto fuera del camino cuando no esté en uso. Mantenga el área en que usted trabaja limpia y ordenada.

La limpieza es esencial para su salud y seguridad. Coloque todos los desechos o sobras, trapos, basura, desperdicios, etc. en los recipientes que se le proporcionan.

Lávese las manos, brazos y cara con jabón y agua tibia antes de ingerir alimentos.

Ayude a mantener limpios e higiénicos sus cuartos de armarios (caserillos), y baños.

4.1.6 Incendio

En caso de incendio, aplique un extintor adecuado contra fuego hasta que llegue ayuda, y haga que los compañeros den aviso al departamento de bomberos.

El hombre que dé la alarma, deberá quedarse allí para dirigir a los bomberos al lugar del fuego.

Si su ropa prende fuego, no corra, al correr el aire aviva más el fuego. Sofoque las llamas tirándose al suelo y rodando, o cubriéndose con un abrigo o cualquier otro trapo pesado.

4.1.7 Primeros auxilios de emergencia

1. No mueva al herido a menos que esté en peligro de más lesiones.
2. Controle inmediatamente una hemorragia severa o seria al:
 - a. Presionar directamente sobre la herida si la presión del dedo no detiene la hemorragia. Presione en contra de la herida con el material más limpio que tenga en la mano.
 - b. Utilice un torniquete sólo cuando los otros métodos fallen. Utilizar esto sólo en los brazos o las piernas. No utilice alambre ni cuerda. Apriete hasta que la hemorragia pare y luego marque sobre la frente del paciente la hora en que le fue aplicado el torniquete. Afloje cada quince minutos.

3. Inicie inmediatamente la respiración artificial si el paciente no respira debido a:

- a. Contacto con electricidad,
- b. Exposición a gas
- c. Ahogo en agua
- d. Asfixia o Golpe severo en la cabeza.

Aplicar la presión cada 4 ó 5 segundos.

No permitir que el paciente se levante si revive.

- a. Envíe por alguien para que llame al hospital. Dele al hospital los detalles completos antes de colgar. Haga que alguien vaya a la carretera para guiar a las personas de la ambulancia hasta el herido.
- b. Pongan frazadas sobre y debajo del paciente, cuidadosamente.
- c. Insolación y postración por calor, si el hombre está frío – calientelo. Si está caliente, enfriarlo.
- d. Quemaduras con ácido, aplique bastante agua.

4.2 Mejoras técnicas del proceso

En la línea de producción de galvanizado de alambre, existen actualmente deficiencias técnicas dentro de sus mismas operaciones. A continuación se describirán dos mejoras, que ayudarán a que la buena práctica de galvanizado se desarrolle correctamente.

a. Mejora en el secado de alambre previo al galvanizado

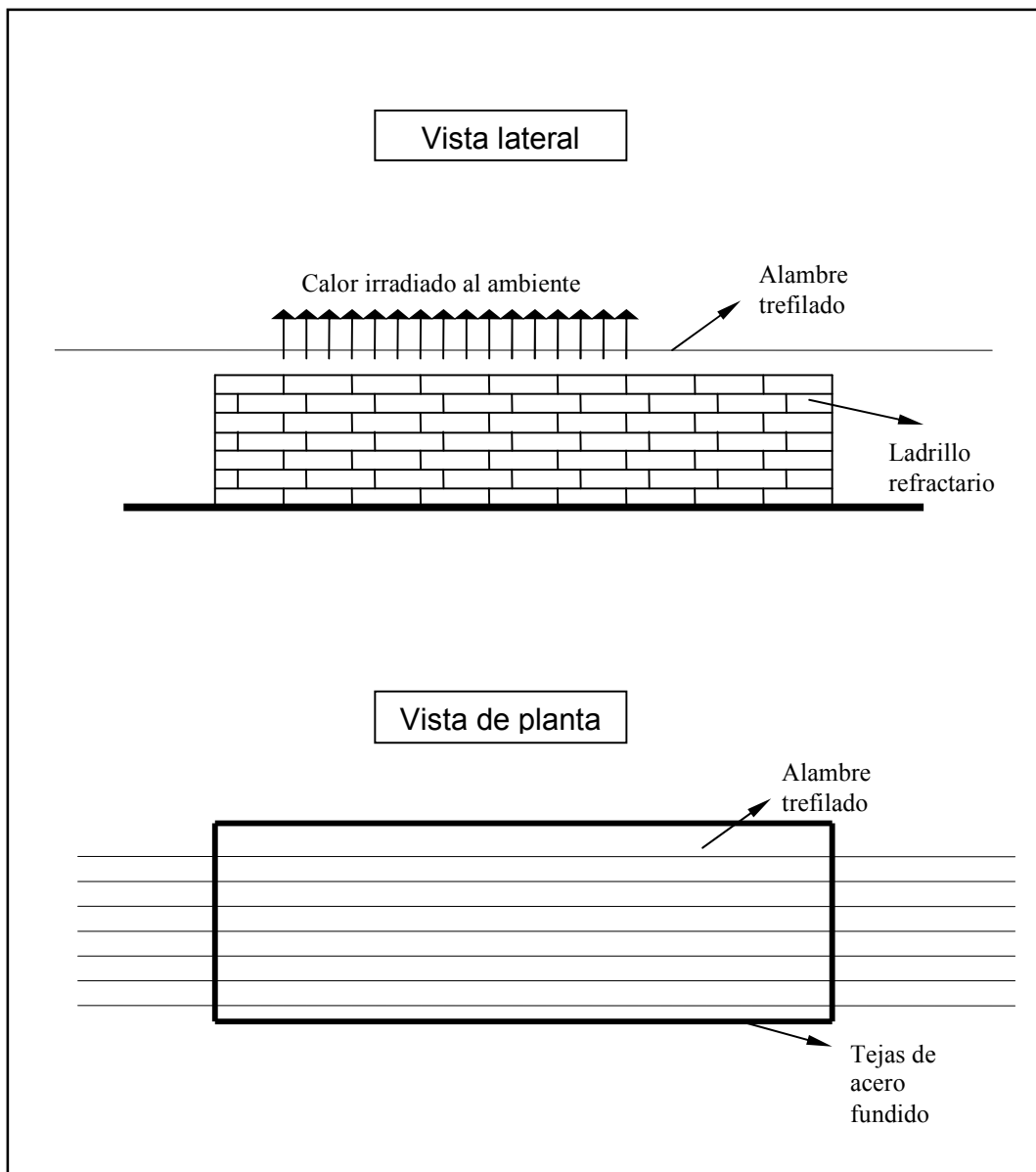
Dentro de la operación del secado de alambre, se propone aprovechar de una mejor manera los gases combustión de escape, emanados por el horno de zinc.

Actualmente existe una cama de precalentamiento de alambre, su base está fabricada de ladrillo refractario y sobre ella están montadas tejas de hierro fundido donde pasa el alambre previo a su galvanizado.

El problema de este método es que no se aísla el calor transferido por los gases de escape hacia el alambre, si no que se irradia hacia el ambiente (ver figura 38).

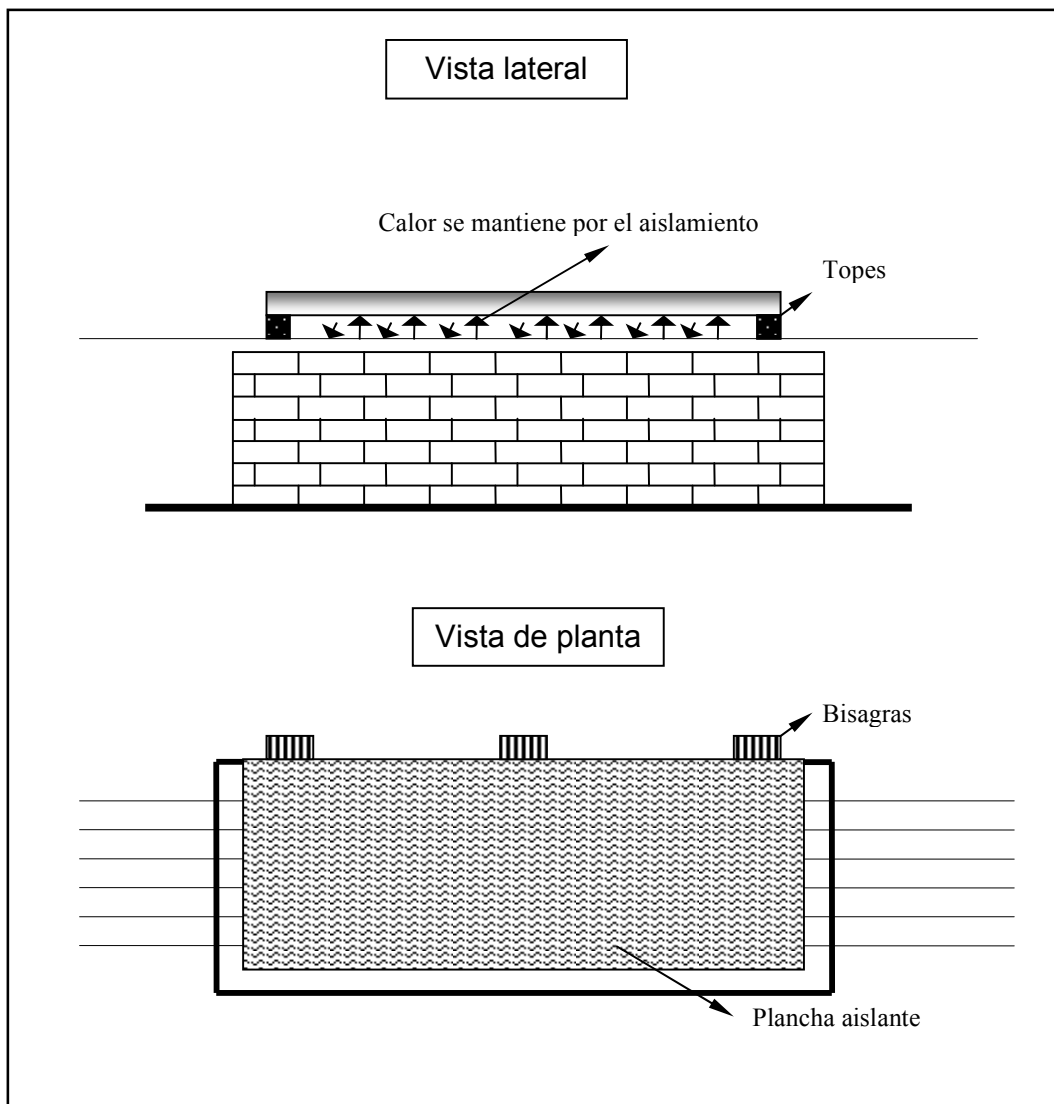
Para esto se recomienda fabricar sobre la cama de precalentamiento, una plancha metálica, para encerrar el calor dentro del paso del alambre.

Figura 38. Operación de precalentado (actual)



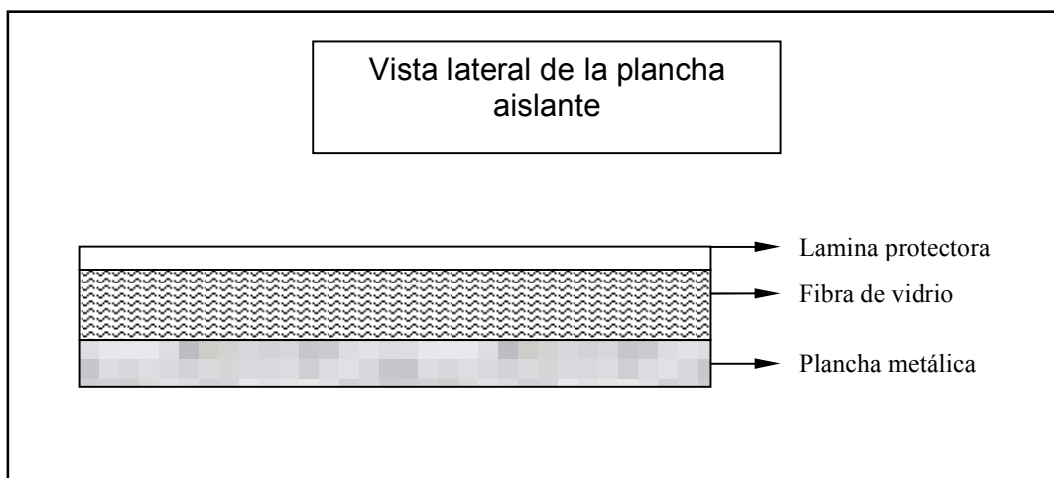
Se fabricarán bisagras para el mejor manejo de dicha plancha y se instalarán topes metálicos al lado opuesto de las bisagras con el propósito de no impedir el paso del alambre (ver figura 39).

Figura 39. Operación de precalentado (propuesta)



Para mejorar aun más el aprovechamiento del calor, se cubrirá con fibra de vidrio en la parte exterior de la plancha metálica y cubriéndola con lámina de bajo calibre, ayudando de esta manera a que el calor irradiado por los gases de escape, lo transfiera directamente sobre el alambre trefilado (ver figura 40).

Figura 40. Sección de la plancha aislante



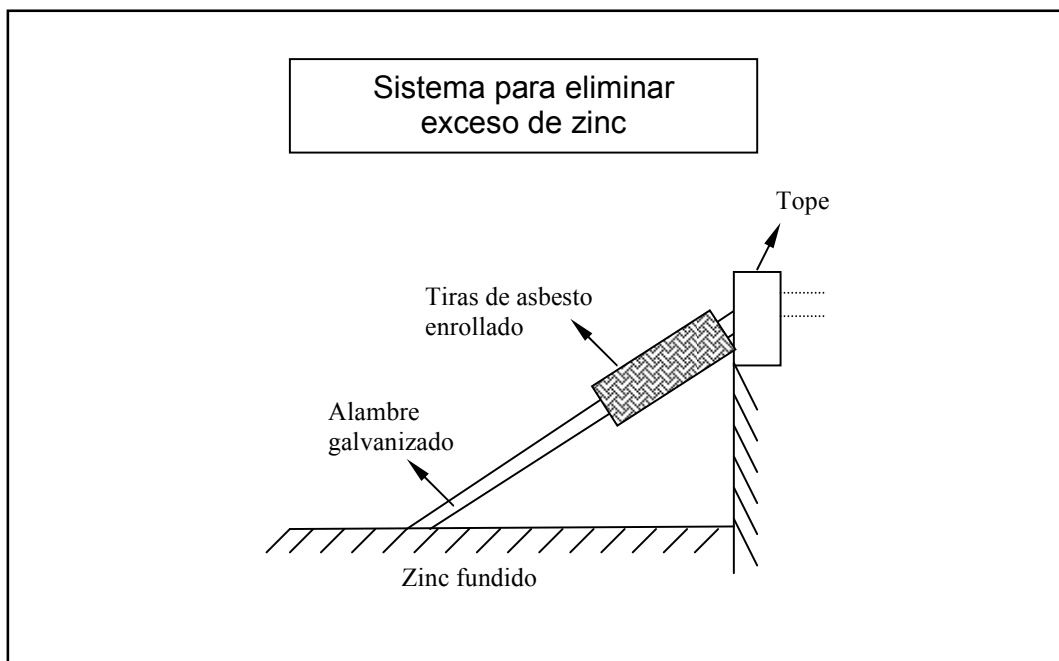
Es importante mencionar que un buen precalentado de alambre, tiene como beneficio número uno, el disminuir accidentes dentro la operación de galvanizado, ya que al momento que el alambre entre húmedo a la paila de zinc fundido, provoca una reacción química severa haciendo que salpique o explote zinc a altas temperatura, siendo de mucho riesgo para los operadores directos. Y número dos, ayuda a disminuir generación de escoria de zinc, sobre la paila de galvanizado provocando a la vez que los costos de operación sean altos.

b. Mejora en el sistema de eliminación de exceso de zinc

Para mejorar la calidad del acabado del alambre galvanizado. Se deberá diseñar una nueva forma de botar el exceso de zinc en la salida de la paila de galvanizado.

La forma actual de eliminar el exceso de zinc, es por medio de una cinta de asbesto enrollada al alambre, a continuación se grafica una vista no a escala del sistema actual.

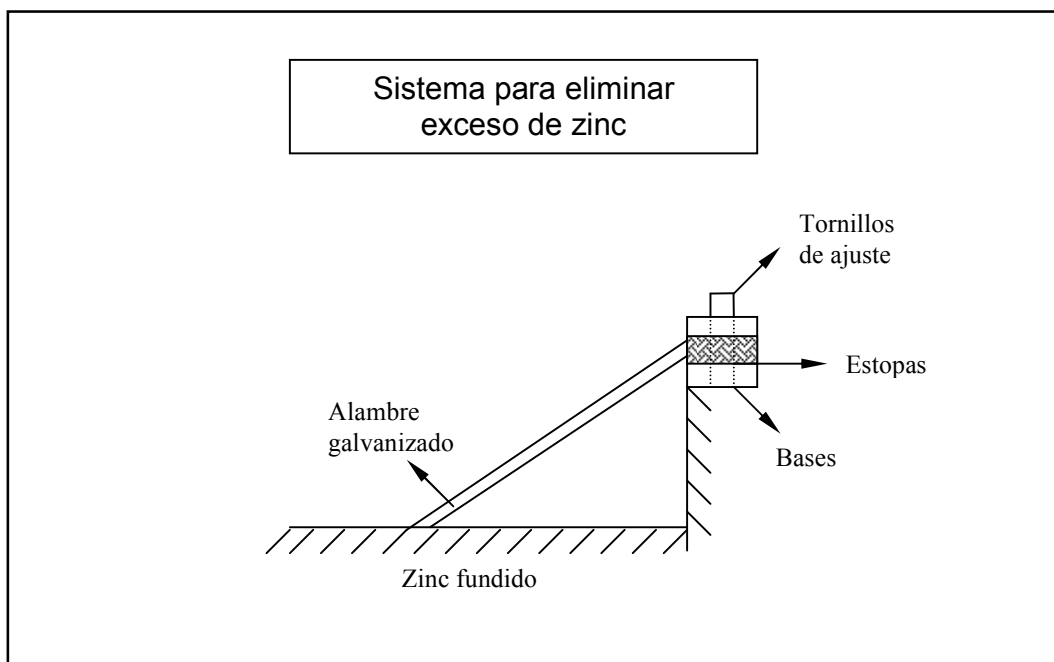
Figura 41. Diseño actual del sistema de eliminación de exceso de zinc



El problema de esta práctica es que se forman grumos alrededor del alambre, dando una apariencia defectuosa en el producto terminado. Esto se debe a la falta de presión que tiene que ejercer el asbesto sobre el alambre galvanizado.

Es por ello que en el sistema que se sugiere, se utilizarán dos estopas de grueso calibre con bases metálicas, una inferior y otra superior. La estopa superior será presionada por dos tornillos, el cual será enroscado manualmente por el operador según la apariencia del producto terminado. (ver figura 42). Es necesario recordar que el enfriado del alambre ya galvanizado deberá estar posterior al sistema de eliminación de exceso de zinc, para darle un temple al zinc sobre el alambre.

Figura 42. Diseño propuesto del sistema de eliminación de exceso de zinc



4.3 Plan de implementación

Para el desarrollo del plan se efectuará un cronograma de actividades por medio del diagrama de Gantt, que a continuación se describirá.

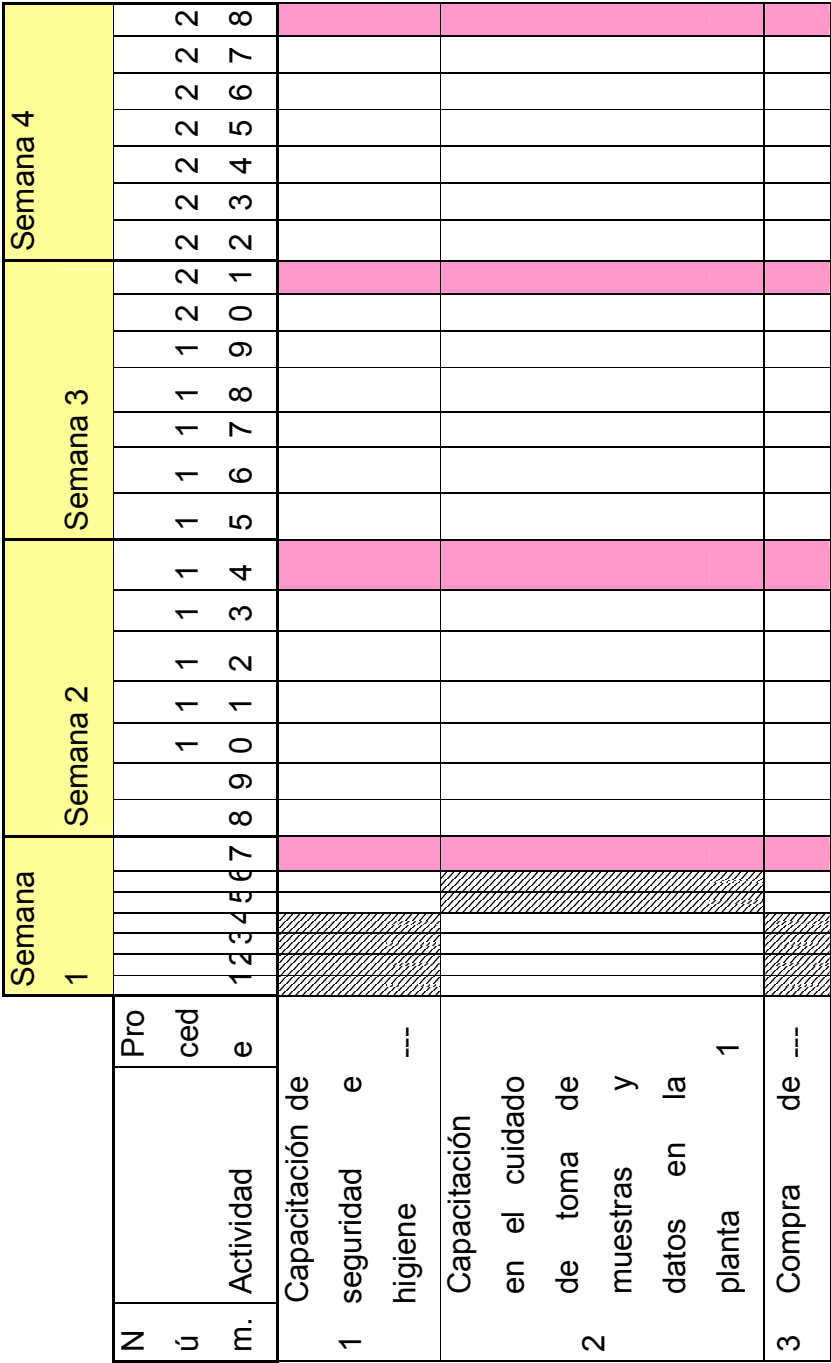
4.3.1 Desarrollo del plan por medio de un diagrama de Gantt

A continuación se definen las actividades generales para llevar a cabo la implementación del control estadístico de calidad, en la línea de galvanizado de alambre, esta se efectuará desde su capacitación hasta el análisis de resultado.

Con el propósito de mantener el orden y al mismo tiempo darle continuidad al plan, se utilizará como herramienta principal un diagrama de Gantt (ver figura 43).

Figura 43. Diagrama de Gantt

PROGRAMA DE IMPLEMENTACIÓN



La forma en que se llevará a cabo cada actividad es la siguiente:

1. Para la capacitación de seguridad e higiene, se tratarán temas como los descritos en el punto 4.1, dentro de los temas más importante pueden mencionarse: manejo de materiales, seguridad en el manipuleo mecánico, equipo personal de seguridad, manipuleo en las pailas de fundentizado, decapado y zinc fundido y por ultimo primeros auxilios.
2. En la actividad dos se tratará de la capacitación en el cuidado de toma de muestras y datos en la planta, en los que se resaltará el cuidado de la toma de muestras en el ácido clorhídrico y la toma de resultados en las pailas de decapado.
3. La compra de equipo la solicitará el depto. de control de calidad.
4. La capacitación para el análisis del ácido clorhídrico, será coordinado por la jefatura de calidad en conjunto con la casa que provea el equipo de laboratorio. Para tratar temas como nomenclaturas, equipo de laboratorio, uso adecuado del equipo de laboratorio y procedimiento para el análisis (ver pto. 4.3.3)
5. Para la toma de muestras y análisis, consistirá únicamente en recabar la información en planta (muestras de ácido, temperaturas y densidades) y proceder posteriormente a dicho análisis (concentraciones y % de hierro).
6. En el diseño de los gráficos de control por variable, se utilizará el procedimiento descrito en el punto 3.2.2.4.4, teniendo como espera los resultados.

7. El ploteo de los datos se llevará a cabo cuando se obtengan todos los resultados y gráficos hechos. A partir de aquí es donde se determinarán las conclusiones.
8. Obteniendo ya los gráficos de control por variable ya trazados, se procederá a tomar la acción correctiva o bien a establecer que gráfico se encuentra bajo control.

Dentro del plan de implementación es muy importante definir los participantes, el cual estarán involucrados para cada actividad, en el cuadro XII. se encuentra la lista.

Tabla X. Participantes de las actividades en el diagrama de gantt

Núm. de actividad	Participantes
1	Depto. de Calidad, Jefatura de planta, Supervisores y operarios de turno.
2	Auxiliar de Análisis (depto. de calidad)
3	Depto. de Calidad
4	Jefatura de Calidad y encargado de análisis
5	Auxiliar de análisis y encargado de análisis
6	Asistente de control de calidad
7	Asistente de control de calidad
8	Jefatura de calidad

Fuente: Depto. Planeación

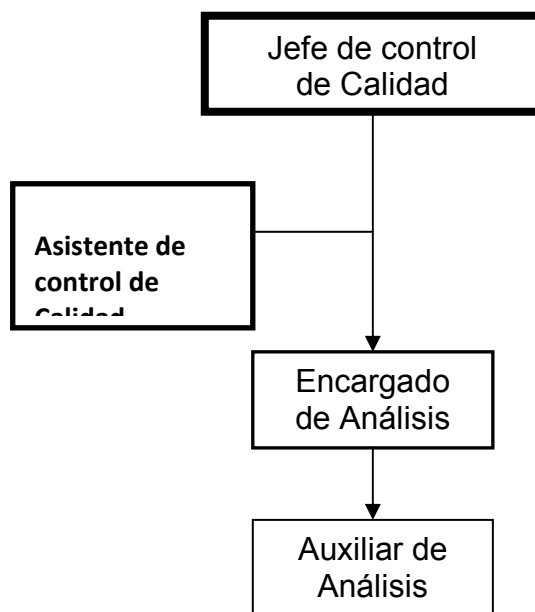
Aceros de Guatemala S.A. Año 2,003

4.3.2 Recurso humano

El personal es el elemento más importante para llevar a cabo las actividades del sistema de calidad.

Dentro del departamento de control de calidad es necesario establecer una estructura para administrar, organizar y controlar, el cual estará concentrada en la comprobación de las variables que se manejan en la línea de galvanizado. La estructura organizacional será representada en la figura 44 que se presenta a continuación:

Figura 44. Organigrama del depto. de calidad



Las funciones principales para cada puesto se describen a continuación:

El jefe de control de calidad: planificar, dirigir, coordinar, y controlar todas aquellas actividades y funciones relacionadas con las variables del proceso de galvanizado.

Asistente de control de calidad: control, mantenimiento y supervisión de las actividades de control de calidad.

Encargado de análisis: obtención de información por medio de análisis químico, ploteo de datos en los distintos gráficos por variable para los respectivos puntos importantes del proceso.

Auxiliar de encargado de análisis: recolección de datos y muestras de las distintas variables, como supervisar los cambios sugeridos por el jefe de control de calidad.

4.3.2.1 Responsabilidades

Las responsabilidades que tendrá el departamento de calidad es la siguiente:

1. Es responsabilidad del Auxiliar de encargado de análisis, recolectar muestras y datos de la línea de galvanizado.
2. Es responsabilidad del Auxiliar de encargado de análisis, entregar la información recolectada al encargado de análisis.
3. Es responsabilidad del encargado de análisis, realizar pruebas químicas y ploteo de datos a los gráficos de control, correspondiente a cada variable.
4. Es responsabilidad del asistente de control de calidad, analizar cada gráfico de control por variable.
5. Es responsabilidad del jefe de control de calidad, tabular la información recibida por el asistente, y posteriormente coordinar los cambios para el plan de contingencia necesario a realizar en la línea de galvanizado.

4.3.2.2 Procedimientos

En este punto se describe la propuesta de los procedimientos necesarios para mantener la confianza de la toma de muestras y datos.

A continuación se describe el procedimiento, para toma de la muestra de la concentración de decapado:

- a. Se tomará la muestra en el baño.
- b. Se analizará la muestra tomada, para practicarle su respectivo cálculo (ver punto 4.3.3.2)
- c. Tomar el resultado adquirido y plotearlo en la gráfica de control por variable que le corresponde.

La densidad relativa del decapado, se utilizará como parámetro importante e indispensable para analizar el % de hierro disuelto en el baño de decapado, con el siguiente procedimiento.

- a. Se tomará la densidad relativa en el baño de decapado con el densímetro.
- b. Anotar el resultado dado por el densímetro en la tabla (ver punto 4.3.4), este se ploteará por aparte en el gráfico de control correspondiente.
- c. La densidad adquirida se utilizara en el ábaco mostrado en la figura 45, La concentración de hierro se obtiene en la columna central, trazando una línea que una los puntos que representan los valores de la densidad.
- d. Tomar el resultado y plotearlo en la gráfica de control por variable que corresponde.
- e. Tomar la medida de corrección si es necesaria.

Es muy importante tener en cuenta que se pueden realizar los refuerzos necesarios en el baño de decapado para mantener su

concentración, una vez el % de hierro disuelto se encuentre dentro de sus límites de control. O bien en caso contrario el % de hierro se encontrara fuera de los límites permitidos, no es conveniente practicarle refuerzos sino remover el baño completo para cumplir con el propósito principal, la limpieza del alambre.

A continuación se describe el procedimiento de forma general para la toma de temperaturas en el decapado, fundentizado y baño de zinc:

- a. Se medirán las temperaturas con el termómetro tipo pistola.
- b. Se anotarán las temperaturas adquiridos en la tabla que corresponde (ver punto 4.3.4)
- c. Se plotearán las temperaturas adquiridas, en sus respectivos gráficos de control.
- d. De encontrarse fuera de control las temperaturas tomadas, se tomaran las medidas necesarias según sea el caso.

El procedimiento que corresponde para la densidad del baño de fundentizado se describe a continuación

- a. Se tomará la densidad relativa en el baño de fundentizado con el densímetro.
- b. Anotar el resultado dado por el densímetro en la tabla que corresponde (ver punto 4.3.4).
- c. El resultado dado se ploteará en el gráfico de control correspondiente
- d. Tomar la medida de corrección si es necesaria .

4.3.3 Equipo y cálculo para la toma de datos

Para llevar a cabo los análisis químicos y poder así calcular el porcentaje de concentración del ácido clorhídrico y cantidad de hierro disuelto en la paila de decapado, es necesario contar con equipo químico y procedimientos para llegar al resultado deseado. A continuación se describen el equipo y los procedimientos para la toma de datos.

4.3.3.1 Equipo

El equipo necesario en la toma de datos para las operaciones del galvanizado (decapado y fundentizado) son los siguientes:

Para el análisis del % de ácido clorhídrico y % de hierro disuelto en el decapado es el siguiente:

Los reactivos: todos los reactivos serán químicamente puros para análisis. Para la preparación de las soluciones se usará agua destilada o desmineralizada.

Solución de carbonato sódico N/2 (26.5 gr de carbonato sódico anhidro, en 100 ml de agua)

Indicador naranja de metilo (solución acuosa al 0.1 por 100).

Material: el equipo para el análisis químico es:

Embudo de vidrio

Papel de filtro Whatman no. 41

Pipeta aforada de 25ml.

Matraz aforado de 250 ml.

Bureta de 50 ml.

Dos Erlenmeyers de 250 ml.

Densímetro para un intervalo de densidades de 1.0 – 1.3.

Control de temperaturas. Para el debido control de las temperaturas en las secciones de decapado, fundentizado y galvanizado de alambre, se necesitará de un termómetro tipo pistola, este ayudara a tomar el dato sin necesidad de contacto. Este termómetro de gran precisión y con puntero láser direccional, para lugares de difícil acceso. Se monitoreará de esta forma según rangos permitidos descritos en el punto 3.2.2.2

Densidad relativa. Con la ayuda de un densímetro proporcionará datos de los densidades relativas en la paila de decapado, fundentizado y galvanizado de alambre.

4.3.3.2 Cálculos

4.3.3.2.1 Método operatorio para el % del ácido clorhídrico

A continuación se describen los pasos para calcular el % del ácido clorhídrico en la paila de decapado:

1. Tomar una muestra del baño.
2. Filtrar la muestra con el papel de filtro Whatman # 41, recogiendo el filtrado en un Erlenmeyer de 250ml.
3. Tomar 25 ml Del filtrado, con la pipeta aforada de 25 ml, e introducirlos en el matraz aforado de 250 ml, completando con agua hasta el envase. homogeneizar.

4. Tomar 25 ml De esta solución e introducirlos en el Erlenmeyer de 250 ml.
5. Añadir dos gotas del indicador naranja de metilo.
6. Llenar la bureta de 50 ml con la solución de carbonato sódico N/2.
7. Añadir lentamente la solución de carbonato sódico sobre la solución contenida en el Erlenmeyer, agitando éste suavemente, hasta el viraje del indicador, del color rojo al amarillo.

4.3.3.2.2. Cálculo y expresión del resultado para el % del ácido clorhídrico:

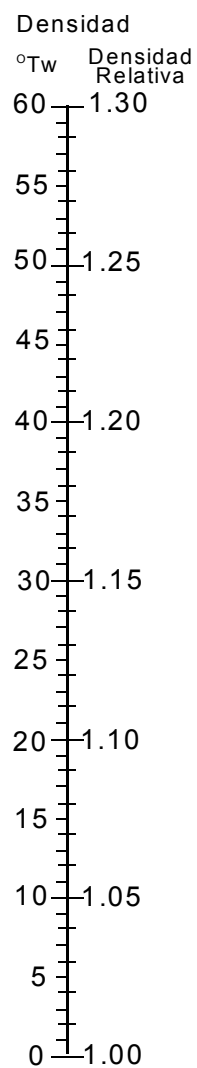
Si se gastan Y ml de solución de carbonato sódico, la concentración en ácido del baño es la siguiente:

$$Y \times 7.3 = \text{gramos / litro de HCl}$$

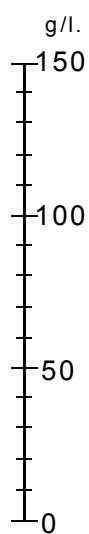
4.3.3.2.3. Control del hierro en el ácido clorhídrico

El contenido de hierro en el líquido de decapar puede determinarse haciendo uso del ábaco representado en la siguiente figura 45. Para ello, se mide previamente la densidad del líquido, mediante el densímetro.

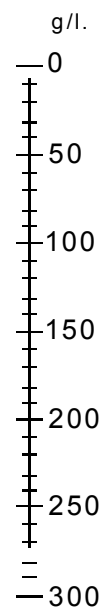
La concentración de hierro se obtiene en la columna central, trazando una línea que una los puntos que representan los valores de la densidad de la concentración de ácido en sus correspondientes columnas.



Contenido de hierro



Contenido de ácido clorhídrico



$$\text{S.G.} = \frac{145}{145 - ^\circ\text{Be}}$$

$$^\circ\text{Be.} = \frac{0.725^\circ\text{Tw}}{1 + 0.005^\circ\text{Tw}}$$

BIBLIOGRAFÍA

1. MILLER, Irwin & John Freud. **Probabilidad y estadística para ingenieros**. Mexico; Editorial Prentice may, 1987.
2. WALPOLE, Ronald. & Raymond Myers. **Probabilidad y estadística**. 4ta edición. México; Editorial McGraw Hill, 1992.
3. Zaclón Inc., **Manual de Tecnología: Fundentes**, (Cleveland, Ohio EUA: 1996)
4. Zinc Institute, Inc., **Práctica de la Galvanización General**, (292 Madison Avenue, New York, N.Y. 10017)
5. González Arana, Douglas Rafael IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALIDAD SEGÚN LA NORMA ISO /IEC GUÍA 25 (COGUANOR NGR 66 006), APLICADO AL DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD, EN LA PLANTA DE LAMINADO EN CALIENTE DE ALAMBRÓN DE ACERO AL CARBONO, PARA LA FABRICACIÓN DE PERFILES PLANOS, EN LA EMPRESA INDETA, S.A. Tesis Ing. Mec. Industrial. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2002. 335 pp.
6. J.M. Juran & F.M. Gryna. **Análisis y planeación de la calidad**. 3ra. Edición. México; editorial McGraw Hill, 1995.
7. Jiménez Vargas, Erick Adolfo CONTROL ESTADÍSTICO DE PROCESO, MANUAL DE IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA Tesis Ing. Industrial. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, facultad de Ingeniería, 1998. 135 pp.

ANEXOS

Tabla XI Áreas bajo la curva normal de 0 a Z

Z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0754
0.2	0.0793	0.8320	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2258	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2518	0.2549
0.7	0.2580	0.2612	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2996	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4716
1.9	0.4713	0.4719	0.4723	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4921	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990
3.1	0.4990	0.4990	0.4991	0.4991	0.4992	0.4992	0.4992	0.4992	0.4993	0.4993
3.2	0.4993	0.4993	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4994	0.4995	0.4995	0.4995
3.3	0.4995	0.4995	0.4995	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4996	0.4997
3.4	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4997	0.4998
3.5	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998	0.4998
3.6	0.4998	0.4998	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.7	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.8	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999	0.4999
3.9	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000

Tabla XII Factores utilizados en la construcción de diagramas de control

Número de observaciones de la muestra, n	Diagrama para los promedios				Diagrama para las desviaciones estándar						Diagrama para las amplitudes							
	Factores para los límites de control				Límites de control						Factores para la línea central				Factores para los límites de control			
	A	A ₂	A ₃	C ₁	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	D ₂	1/d ₂	d ₃	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄			
2	2.12	1.88	2.66	0.80	0	3.27	0	2.21	1.13	0.89	0.85	0	3.69	0	3.27			
3	1.73	1.02	1.95	0.89	0	2.57	0	2.28	1.69	0.59	0.89	0	4.36	0	2.58			
4	1.5	0.73	1.63	0.92	0	2.27	0	2.09	2.06	0.49	0.88	0	4.70	0	2.58			
5	1.34	0.58	1.43	0.94	0	2.09	0	1.96	2.33	0.43	0.86	0	4.92	0	2.12			
6	1.23	0.48	1.29	0.95	0.03	1.97	0.03	1.87	2.53	0.39	0.85	0	5.08	0	2			
7	1.13	0.42	1.18	0.96	0.12	1.88	0.11	1.81	2.70	0.37	0.83	0.21	5.20	0.08	1.92			
8	1.06	0.37	1.10	0.97	0.19	1.82	0.18	1.75	2.85	0.35	0.82	0.39	5.31	0.14	1.86			
9	1.00	0.34	1.03	0.97	0.24	1.76	0.23	1.71	2.97	0.34	0.81	0.55	5.39	0.18	1.82			
10	0.95	0.31	0.98	0.97	0.28	1.72	0.28	1.67	3.08	0.32	0.80	0.69	5.47	0.22	1.78			
11	0.91	0.29	0.93	0.98	0.32	1.68	0.31	1.64	3.17	0.32	0.79	0.81	5.53	0.26	1.74			
12	0.87	0.27	0.89	0.98	0.35	1.65	0.35	1.61	3.26	0.31	0.78	0.92	5.59	0.28	1.72			
13	0.83	0.25	0.85	0.98	0.38	1.62	0.37	1.59	3.34	0.30	0.77	1.03	5.65	0.31	1.69			
14	0.80	0.24	0.82	0.98	0.41	1.59	0.40	1.56	3.41	0.29	0.76	1.12	5.69	0.33	1.37			
15	0.78	0.22	0.79	0.98	0.43	1.57	0.42	1.54	3.47	0.29	0.76	1.21	5.74	0.35	1.65			
16	0.75	0.21	0.76	0.98	0.45	1.55	0.44	1.53	3.53	0.28	0.75	1.29	5.78	0.36	1.64			
17	0.73	0.20	0.74	0.98	0.47	1.53	0.46	1.51	3.59	0.28	0.74	1.36	5.82	0.38	1.62			
18	0.71	0.19	0.72	0.99	0.48	1.52	0.48	1.50	3.64	0.27	0.74	1.43	5.85	0.39	1.61			
19	0.69	0.19	0.70	0.99	0.50	1.50	0.49	1.48	3.69	0.27	0.73	1.49	5.89	0.40	1.60			
20	0.67	0.18	0.68	0.99	0.51	1.49	0.50	1.47	3.74	0.27	0.73	1.55	5.92	0.41	1.59			

Figura 46. Hoja de registro para la toma de datos

HOJA DE REGISTRO INDUSTRIA DE ACERO							
Producto _____		Departamento _____					
Característica _____		Unidad de medida _____					
Límite de especificación		max. _____		min. _____			
Registrado por _____		Método _____					
Cantidad muestras	Tamaño de muestra					X	R
	1	2	3	4	5		
1							
2							
3							
.							
.							
.							
Promedio							
Máximo							
Mínimo							