



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

**HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS BÁSICAS PARA MEJORAR
LA CALIDAD DE LÁMINA GALVANIZADA DE LA PLANTA
ACEROS DE GUATEMALA**

Manuel Escobar Yela
Asesorado por: Ing. Rubén Antonio Yela Corzo

Guatemala, mayo de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS BÁSICAS PARA MEJORAR
LA CALIDAD DE LÁMINA GALVANIZADA DE LA PLANTA
ACEROS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MANUEL ESCOBAR YELA

ASESORADO POR: ING. RUBÉN ANTONIO YELA CORZO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO 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 Recinos |
| 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. Claudia Lizeth Barrientos de Castillo |
| EXAMINADOR | Ing. José Rolando Chávez Salazar |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos René Berges Carío |
| 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:

**HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS BÁSICAS PARA MEJORAR
LA CALIDAD DE LÁMINA GALVANIZADA DE LA PLANTA
ACEROS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Coordinación de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha de octubre de 2003.

Manuel Escobar Yela

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Manuel Escobar Fernández

Elvira Inés Yela de Escobar

A MI HERMANO

Adolfo Escobar Yela

AGRADECIMIENTO

El autor expresa su agradecimiento a las personas que, en una u otra forma, le proporcionaron su valiosa colaboración para realizar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | IX |
| RESUMEN | XI |
| OBJETIVOS | XIII |
| INTRODUCCIÓN | XV |
| | |
| 1. ANTECEDENTES GENERALES | |
| 1.1. Antecedentes generales de la empresa..... | 1 |
| 1.1.1. Ubicación de la empresa..... | 1 |
| 1.1.2. Descripción de la empresa..... | 1 |
| 1.1.2.1. Planta de laminación de barras..... | 1 |
| 1.1.2.2. Planta de laminación de perfiles..... | 2 |
| 1.1.2.3. Planta de alambre y clavo..... | 2 |
| 1.1.2.4. Planta de galvanización de lámina..... | 2 |
| 1.1.3. Misión de la empresa..... | 2 |
| 1.1.4. Visión de la empresa..... | 3 |
| 1.2. Proceso de galvanización..... | 3 |
| 1.2.1. Galvanización..... | 3 |
| 1.2.2. Galvanización por inmersión en caliente..... | 4 |
| 1.3. Control estadístico de calidad..... | 5 |
| 1.3.1. Herramientas estadísticas para la calidad..... | 6 |
| 1.3.1.1. Diagrama de flujo..... | 6 |
| 1.3.1.2. El histograma..... | 7 |
| 1.3.1.3. Diagrama de Pareto..... | 11 |
| 1.3.1.4. Hoja de verificación..... | 15 |

| | | |
|-------------|---|----|
| 1.3.1.5. | Diagrama de causa y efecto..... | 17 |
| 1.3.1.6. | Diagrama de dispersión..... | 20 |
| 1.3.1.7. | Cartas de control..... | 22 |
| 1.3.1.7.1. | Límites de control..... | 23 |
| 1.3.1.7.2. | Usos de una carta de control..... | 25 |
| 1.3.1.7.3. | Tipos de cartas de control..... | 25 |
| 1.3.1.7.4. | Carta de control $\bar{X} - R$ | 26 |
| 1.3.1.7.5. | Carta de control R | 26 |
| 1.3.1.7.6. | Carta de control \bar{X} | 26 |
| 1.3.1.7.7. | Cartas de control np y p | 27 |
| 1.3.1.7.8. | Cartas de control c y u | 27 |
| 1.3.1.7.9. | Pasos para construir la carta de control $\bar{X} - R$ | 27 |
| 1.3.1.7.10. | Pasos para construir las cartas de control p y np | 29 |
| 1.3.1.7.11. | Pasos para construir las cartas de control c y u | 30 |
| 1.3.1.7.12. | Interpretación de las cartas de control..... | 31 |
| 2. | SISTEMA ACTUAL DE CONTROL DE CALIDAD | |
| 2.1. | Descripción de la planta de galvanización de lámina..... | 35 |
| 2.1.1. | Sección de corte de lámina..... | 35 |
| 2.1.2. | Líneas de galvanización..... | 36 |
| 2.1.3. | Sección de corrugación de lámina..... | 37 |
| 2.2. | Descripción del proceso de galvanización de lámina..... | 37 |
| 2.2.1. | Materia prima..... | 37 |
| 2.2.2. | Insumos..... | 37 |
| 2.2.3. | Proceso de galvanización de lámina de acero..... | 38 |

| | | |
|----------|---|----|
| 2.2.4. | Diagrama de flujo del proceso..... | 40 |
| 2.3. | Descripción del producto terminado..... | 43 |
| 2.3.1. | Lámina galvanizada acanalada..... | 43 |
| 2.3.2. | Lámina galvanizada lisa..... | 44 |
| 2.4. | Control de calidad..... | 45 |
| 2.4.1. | Control de calidad de materia prima..... | 45 |
| 2.4.2. | Control de calidad del proceso..... | 45 |
| 2.4.2.1. | Análisis de concentración en las soluciones químicas que determinan la calidad de preparación de la lámina pre-galvanización y la terminación post-galvanización..... | 46 |
| 2.4.2.2. | Medidas de presión y temperaturas que determinan la calidad del trabajo de los tanques en el proceso..... | 46 |
| 2.4.3. | Control de calidad del producto terminado..... | 47 |
| 2.4.3.1. | Medidas del producto terminado que definen su calidad..... | 47 |
| 2.4.3.2. | Inspección visual de la apariencia del producto terminado para su clasificación de calidad..... | 48 |
| 3. | REGISTROS DE CALIDAD ÚTILES PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS | |
| 3.1. | Registros de calidad en planta..... | 49 |
| 3.1.1. | Procedimientos de control de calidad..... | 49 |
| 3.1.1.1. | Materia prima..... | 49 |
| 3.1.1.2. | Proceso..... | 50 |
| 3.1.1.3. | Producto terminado..... | 51 |
| 3.1.2. | Formatos de control de calidad..... | 52 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.1.2.1. | Materia prima..... | 52 |
| 3.1.2.2. | Proceso..... | 52 |
| 3.1.2.3. | Producto terminado..... | 53 |
| 3.1.3. | Reportes diarios de control de calidad..... | 54 |
| 3.1.3.1. | Promedio de mediciones de temperaturas de operación..... | 54 |
| 3.1.3.2. | Promedio de recubrimiento de zinc..... | 55 |
| 3.1.3.3. | Concentración de los tanques de limpieza y sellado..... | 55 |
| 3.1.3.4. | Producción diaria..... | 56 |
| 3.2. | Clasificación de defectos del producto terminado..... | 56 |
| 3.2.1. | Defectos de materia prima..... | 57 |
| 3.2.2. | Defectos por proceso..... | 58 |
| 3.3. | Clasificación del producto terminado..... | 59 |
| 3.3.1. | Lámina de primera..... | 59 |
| 3.3.2. | Lámina defectuosa..... | 60 |
| 3.3.3. | Lámina de segunda..... | 60 |
| 3.3.4. | Lámina de tercera..... | 60 |
| 3.4. | Ventajas de aplicar herramientas estadísticas para mejorar la calidad..... | 61 |
| 3.4.3. | Variables del producto..... | 61 |
| 3.4.4. | Atributos del producto..... | 62 |
| 3.4.5. | Control del proceso..... | 63 |
| 4. | APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA LA CALIDAD DE LÁMINA GALVANIZADA | |
| 4.1. | Tabulación de datos..... | 65 |
| 4.1.1. | Defectos de materia prima..... | 66 |
| 4.1.2. | Defectos por proceso..... | 66 |

| | | |
|----------|--|----|
| 4.1.3. | Temperaturas y recubrimiento de zinc..... | 67 |
| 4.1.4. | Producción total y producción defectuosa..... | 68 |
| 4.2. | Aplicación de herramientas estadísticas idóneas para mejorar la calidad del producto..... | 69 |
| 4.2.1. | Hoja de verificación..... | 69 |
| 4.2.2. | Diagrama de Pareto..... | 72 |
| 4.2.3. | Diagrama de causa y efecto..... | 76 |
| 4.2.4. | Diagrama de dispersión..... | 77 |
| 4.2.5. | Cartas de control..... | 78 |
| 4.2.5.1. | Cartas de control para variables..... | 78 |
| 4.2.5.2. | Cartas de control para atributos..... | 80 |
| 4.3. | Análisis de resultados..... | 83 |
| 4.3.1. | Resultados de la hoja de verificación..... | 83 |
| 4.3.2. | Resultados del diagrama de Pareto..... | 84 |
| 4.3.3. | Resultados del diagrama de causa y efecto..... | 85 |
| 4.3.4. | Resultados del diagrama de dispersión..... | 85 |
| 4.3.5. | Resultados de las cartas de control..... | 86 |
| 4.3.5.1. | Carta de control del peso de recubrimiento de zinc..... | 86 |
| 4.3.5.2. | Carta de control de la fracción defectuosa de la producción..... | 87 |
| 5. | RUTA HACIA LA MEJORA CONTINUA | |
| 5.1. | Modificación de procesos..... | 89 |
| 5.1.1. | Procedimientos..... | 89 |
| 5.1.2. | Gráfico corregido de control estadístico del proceso..... | 91 |
| 5.2. | Evaluaciones periódicas..... | 95 |
| 5.2.1. | Procedimientos..... | 95 |

| | |
|---|-----|
| 5.2.2. Actividades de control de calidad..... | 97 |
| 5.3. Guía de selección de herramientas estadísticas..... | 98 |
| 5.4. Planeación estratégica para mejorar la calidad..... | 98 |
| 5.4.1. Crear conciencia sobre la necesidad del cambio..... | 99 |
| 5.4.2. Conocer las estrategias del cambio..... | 99 |
| 5.4.3. Capacitar sobre las herramientas para el cambio..... | 100 |
| 5.4.4. Que todos sean promotores del cambio..... | 100 |
| 5.4.5. Tomar las medidas que apoyen el cambio..... | 101 |
| CONCLUSIONES | 103 |
| RECOMENDACIONES | 105 |
| BIBLIOGRAFÍA | 107 |
| APÉNDICE | 109 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | |
|---|----|
| 1. Zonas de la carta de control..... | 31 |
| 2. Medidas de canales de lámina..... | 44 |
| 3. Hoja de verificación de calidad de producto terminado por turno..... | 70 |
| 4. Hoja de verificación de calidad de producto terminado por rollo..... | 71 |
| 5. Diagrama de Pareto de defectos de materia prima..... | 74 |
| 6. Diagrama de Pareto de defectos por proceso..... | 75 |
| 7. Diagrama de causa y efecto de dobleces en las puntas de lámina galvanizada..... | 76 |
| 8. Diagrama de dispersión de datos de temperaturas de operación de baño de zinc y peso de recubrimiento de zinc..... | 77 |
| 9. Carta de control de peso de recubrimiento de zinc..... | 80 |
| 10. Carta de control de la fracción defectuosa..... | 82 |
| 11. Carta de control corregida de la fracción defectuosa..... | 94 |

TABLAS

| | | |
|-------|---|-----|
| I. | Especificaciones de lámina galvanizada acanalada (calibres)..... | 43 |
| II. | Especificaciones de lámina galvanizada lisa (calibres)..... | 44 |
| III. | Cantidad de láminas defectuosas por materia prima..... | 66 |
| IV. | Cantidad de láminas defectuosas por proceso..... | 67 |
| V. | Promedio de temperaturas de operación del baño de zinc y peso del recubrimiento de zinc..... | 68 |
| VI. | Producción total y defectuosa de lámina galvanizada..... | 69 |
| VII. | Frecuencia y porcentaje de defectos de materia prima..... | 72 |
| VIII. | Frecuencia y porcentaje de defectos por proceso..... | 73 |
| IX. | Promedio de pesos de recubrimiento de zinc y límites de especificación..... | 79 |
| X. | Fracción defectuosa diaria y límites de control..... | 81 |
| XI. | Fracción defectuosa corregida y límites de control..... | 92 |
| XII. | Guía de selección de herramientas estadísticas..... | 98 |
| XIII. | Factores para la construcción de las cartas de control $\bar{X} - R$ | 109 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------------------|---|
| μ | Media o promedio |
| σ | Desviación estándar |
| mm | Milímetros |
| onz/gl | Onzas por galón |
| Ph | Grado de acidez o alcalinidad de una solución |
| g/l | Gramos por litro |
| min | Minutos |
| seg | Segundos |
| mts | Metros |
| B.P.T. | Bodega de producto terminado |
| ASTM | <i>American Standards for Testing and Materials</i> |
| JIS | <i>Japanese Industrial Standards</i> |
| onz/pie ² | Onzas por pie cuadrado |
| un | Unidades |
| L.E.I. | Límite de especificación inferior |
| L.E.S. | Límite de especificación superior |
| L.C.I. | Límite de control inferior |
| L.C.C. | Límite de control central |
| L.C.S. | Límite de control superior |

GLOSARIO

| | |
|-----------------------------|--|
| Araña | Accesorio de acero con varios ganchos utilizado con grúa o puente grúa para levantar fardos de lámina. |
| Calibre | Término utilizado para definir el espesor de la lámina. |
| Cama | Plancha de acero sobre la cual se colocan los fardos de lámina. |
| Costos de no calidad | Costos originados por las deficiencias en productos y procesos. |
| Ductilidad | Capacidad de un material para deformarse. |
| Escoria | Residuo o impureza de un material que ha sido sometido a algún proceso. |
| Fardo | Conjunto de láminas de una misma especificación. |
| Flux | Acondicionador superficial que mejora la adherencia de zinc en la lámina. |
| Galvanización | Proceso por el cual el acero o el hierro es cubierto con una capa de zinc. |

| | |
|--------------------|--|
| Laminación | Proceso en caliente por el cual se reduce el área transversal de un material, haciéndolo pasar entre dos rodillos. |
| Puente grúa | Grúa que corre sobre rieles a lo largo de la parte superior de una nave. |
| Recocido | Tratamiento térmico por el cual se suaviza un material elevando su temperatura y después enfriándolo lentamente. |
| Trefilación | Proceso en frío por el cual se reduce el área transversal de un material, haciéndolo pasar a través de dados especiales. |

RESUMEN

Las herramientas estadísticas para mejorar la calidad de los productos son fundamentales en el proceso de mejora continua. En un mercado cada vez más exigente, es necesario utilizar técnicas eficaces que ayuden a solucionar los problemas de calidad que afectan a una empresa. Por tal razón, el presente trabajo describe los métodos de aplicación de la hoja de verificación, el diagrama de Pareto, el diagrama de causa y efecto, el diagrama de dispersión y las cartas de control para el estudio del proceso de galvanización de lámina de acero.

El presente trabajo consta de una breve descripción de los conceptos básicos del proceso de galvanización, de cada una de las herramientas estadísticas utilizadas para mejorar la calidad y de las ventajas del uso de estas últimas. También se describen los factores que intervienen en el proceso de producción, el sistema de control de calidad llevado en planta, del cual se tomaron los registros necesarios para realizar el estudio del proceso con herramientas estadísticas, y las características del producto terminado que son evaluadas para conocer variaciones especiales en el proceso y sus causas.

La aplicación de cada una de las herramientas estadísticas idóneas para el proceso se describe en la cuarta parte, con la tabulación de datos, construcción de gráficas y análisis de resultados.

La parte final describe los procesos de seguimiento y elementos fundamentales para la aplicación de herramientas estadísticas en la ruta hacia la mejora continua.

OBJETIVOS

- **General**

Aplicar herramientas estadísticas en un sistema de control de calidad para la mejora continua de lámina galvanizada en la planta Aceros de Guatemala.

- **Específicos**

1. Describir el proceso general de galvanización por inmersión en caliente de lámina de acero.
2. Describir cada una de las herramientas estadísticas y su aplicación para mejorar la calidad de los productos.
3. Conocer los factores que intervienen en el proceso de galvanización que serán evaluados.
4. Describir el sistema actual de control de calidad del proceso, del cual se tomará información para llevar a cabo el estudio.
5. Clasificar cada uno de los defectos del producto terminado para evaluar aquellos que pueden ser controlados y corregidos dentro de la fábrica.

6. Evaluar gráficamente el proceso para conocer variaciones por causas comunes o especiales y determinar si se encuentra controlado estadísticamente.

7. Proponer métodos que ayuden a evaluar constantemente la calidad de la lámina galvanizada como forma de mejora continua.

INTRODUCCIÓN

En un mercado cada vez más competitivo, la calidad de los productos ha cobrado mayor importancia en consumidores y usuarios que buscan obtener la mejor calidad al mejor precio. Con el advenimiento de los acuerdos comerciales entre Estados Unidos de América y Centroamérica, el mercado nacional tendrá que emplear estrategias que mejoren la calidad de sus productos ante nuevas fuerzas competitivas.

El presente trabajo está enfocado a la aplicación de herramientas estadísticas idóneas para mejorar la calidad de lámina de acero galvanizada por inmersión en caliente. Con la ayuda de dichas herramientas, puede evaluarse variables y atributos del producto y establecer las causas de variación en el proceso.

Como antecedentes, se presenta la descripción completa del proceso en estudio, el sistema actual de control de calidad llevado en planta y conceptos básicos sobre las herramientas para mejorar la calidad.

Con el uso de la información que proporcionan los registros diarios de calidad de la planta, se llevará a cabo un trabajo de evaluación y análisis de la calidad del proceso de producción, detección de fallas, generación de opciones de cambio y propuestas de seguimiento para la ejecución de acciones emprendidas hacia la mejora de la calidad, ya que es de gran ayuda utilizar constantemente herramientas estadísticas, que reflejen variaciones en los factores que intervienen en la producción de bienes y servicios para su mejoramiento e innovación.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Antecedentes generales de la empresa

Aceros de Guatemala S.A., forma parte de una corporación de empresas dedicadas a la fabricación de productos de acero para la construcción. Fue fundada en el año 1963 y a la fecha es considerada como una de las empresas líderes en la industria de transformación de acero en el ámbito nacional.

1.1.1 Ubicación de la empresa

La planta Aceros de Guatemala S.A., se encuentra ubicada en la 33 calle 24-65 zona 12 de la ciudad capital de Guatemala.

1.1.2 Descripción de la empresa

Aceros de Guatemala S.A., es una empresa dedicada a la fabricación, a partir de materia prima nacional e importada, de productos derivados del acero para la construcción y está conformada por las plantas de manufactura siguientes:

1.1.2.1 Planta de laminación de barras

Por medio del proceso de laminación en caliente se producen barras corrugadas para refuerzo de concreto a partir de palanquilla de acero al carbón.

1.1.2.2 Planta de laminación de perfiles

Por medio del proceso de laminación en caliente se producen angulares, hembras, barras cuadradas y redondas lisas, a partir de palanquilla de acero al carbón.

1.1.2.3 Planta de alambre y clavo

Por medio de los procesos de: trefilación, se fabrica alambre a partir de alambrón de acero al carbón; galvanización por inmersión en caliente, se obtiene alambre galvanizado a partir de alambre trefilado; recocido, se produce alambre de amarre a partir de alambre trefilado; por medio de máquinas se hace alambre espigado a partir de alambre galvanizado; clavo para madera y clavo para lámina, a partir de alambre trefilado.

1.1.2.4 Planta de galvanización de lámina

Por medio del proceso de galvanización por inmersión en caliente se produce lámina galvanizada acanalada y lisa a partir de rollos de lámina de acero laminada en frío.

1.1.3 Misión de la empresa

Dedicarse a la investigación, desarrollo, producción y distribución de productos básicos de acero y productos afines para la construcción en Centroamérica, Panamá y el sur de México, con miras a la expansión hacia América del Sur, México, el Caribe y los Estados Unidos de América.

1.1.4 Visión de la empresa

Obtener el liderazgo total en Guatemala y Centroamérica en sus líneas de productos y lograr una participación importante en mercados del sur de México, el Caribe, Norte y Sudamérica. Ser una empresa altamente profesional, rentable y respetada fortaleciendo su competitividad por medio de alianzas estratégicas con las empresas más dinámicas y prestigiosas del sector.

1.2 Proceso de galvanización

1.2.1 Galvanización

La galvanización es un proceso por medio del cual el hierro o el acero es cubierto por una capa de zinc, la cual protege al material de la corrosión por agentes ambientales. Las ventajas de los recubrimientos de zinc son: proporcionan una duración excepcional de los materiales, una resistencia mecánica elevada, una protección integral de las piezas (interior y exteriormente), facilidad de pintar y eliminan la necesidad de mantenimiento.

La duración de un recubrimiento de zinc en hierro o acero dependerá del grosor de la capa y del medio ambiente. La eficacia del recubrimiento está en relación directa con su espesor, siendo antieconómico aplicar un recubrimiento de bajo costo, cuyo espesor no sea suficiente para la duración que se precisa, en las condiciones particulares de exposición en determinado ambiente.

El espesor, normalmente, se expresa en gramos de zinc por metro cuadrado de superficie del metal base o en onzas de zinc por pie cuadrado de superficie del metal base.

El método de galvanización más comúnmente utilizado es por inmersión en caliente. Un recubrimiento de zinc obtenido por galvanización en caliente protege la superficie del hierro o del acero con mucha más eficacia que una capa de pintura impermeable. 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 perfectamente unido y aleado con el metal base.

Incluso si en el recubrimiento hay pequeños espacios al descubierto, tales como raspaduras, éstos quedan igualmente protegidos contra la oxidación. Ello 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.

1.2.2 Galvanización por inmersión en caliente

El proceso consiste en cubrir las piezas de hierro o acero con una capa de zinc por medio de inmersión en un baño de zinc fundido a una temperatura ideal que puede ser de 450°C a 470°C. Una temperatura menor o mayor al rango anterior puede verse reflejada al final del proceso en el tamaño del grano de la capa de zinc.

Para obtener los resultados propios de la galvanización es necesario limpiar químicamente la superficie de los materiales por medio de un proceso de preparación superficial y acondicionamiento.

Durante la inmersión en el zinc fundido, se produce una reacción de difusión entre el zinc y el acero, que tiene como resultado la formación de diferentes capas de aleaciones zinc-hierro.

Al extraer los materiales del baño de zinc, estas capas de aleación quedan cubiertas por una capa externa de zinc puro. El resultado es un recubrimiento de zinc unido metalúrgicamente al acero base mediante diferentes capas de aleaciones zinc-hierro.

La ventaja de los recubrimientos obtenidos por inmersión en zinc fundido es que abarcan la totalidad de la superficie de las piezas. Estos recubrimientos proporcionan tres tipos de protección al acero:

- a. Protección por efecto barrera: aísla el material del medio ambiente agresivo.
- b. Protección catódica o de sacrificio: mientras exista recubrimiento de zinc sobre la superficie del acero, éste no sufrirá ataque corrosivo alguno.
- c. Restauración de zonas desnudas: los productos de corrosión del zinc, que son insolubles, compactos y adherentes, taponan las pequeñas discontinuidades que pueden producirse en el recubrimiento por causa de la corrosión o por daños mecánicos (golpes, arañazos, etc.)

1.3 Control estadístico de calidad

Cuando se habla de control de calidad, se hace referencia a las técnicas y actividades de carácter operativo utilizadas para satisfacer constantemente los requisitos de calidad. El control estadístico de calidad se trabaja con datos históricos o registros. Consiste en la aplicación de técnicas estadísticas para medir y mejorar los procesos, incluyendo el control estadístico del proceso, herramientas de diagnosis y otras técnicas estadísticas. Una técnica para mejorar dichos controles es la aplicación de las herramientas estadísticas para la calidad.

1.3.1 Herramientas estadísticas para la calidad

1.3.1.1 Diagrama de flujo

El diagrama de flujo es la representación gráfica y en secuencia de todos los pasos o actividades que se realizan en un proceso productivo. Dicho diagrama puede incluir información adicional como el tiempo para realizar cada actividad o distancias recorridas. Sirve para las secuencias de un producto, un operario, una pieza, etc.







Este diagrama ayuda a:

- a. Visualizar globalmente el proceso.
- b. Planear y coordinar responsabilidades en diferentes áreas.
- c. Identificar etapas clave o potencialmente problemáticas.
- d. Localizar actividades de control o puntos de medición.
- e. Determinar si el proceso actual se apega a los requerimientos del cliente (de no ser así, el diagrama ayuda a modificarlo y rediseñarlo).

Los pasos para construir un diagrama de flujo son:

- a. Definir el proceso específico para el que se va a elaborar el diagrama de flujo.
- b. Identificar los principales componentes del proceso: materiales, máquinas y personas que intervienen en el flujo de las operaciones.
- c. Representar la secuencia de actividades desde la primera hasta la última, incluyendo las que se realizan de manera simultánea.

La simbología a emplear en el diagrama de flujo es la siguiente:

-  Operación (se produce o se realiza algo).
-  Transporte (se cambia de lugar o se mueve un objeto).
-  Inspección (se verifica la calidad o la cantidad del producto).
-  Demora (se interfiere o se retrasa el paso siguiente).
-  Almacenaje (se guarda o se protege el producto o los materiales).
-  Combinada (se produce o se realiza algo al mismo tiempo que se inspecciona).

La construcción del diagrama de flujo se realiza uniendo con una línea todos los puntos en donde se efectúa una operación, un almacenaje, una inspección, un transporte o alguna demora, de acuerdo con el orden natural del proceso.

Esta línea representa la trayectoria usual que siguen los materiales o el operario que los procesa, a través de la planta o taller en donde se lleva a cabo.

1.3.1.2 El histograma

El histograma es una gráfica de barras que permite describir el comportamiento de un conjunto de datos en cuanto a su tendencia central, forma y dispersión.

El histograma permite que de un vistazo pueda tenerse una idea objetiva sobre la calidad de un producto, el desempeño de un proceso o el impacto de una acción de mejora. La correcta utilización del histograma permite tomar decisiones no sólo con base en la media, sino también con base en la dispersión y formas especiales de comportamiento de los datos. Su uso cotidiano facilita el entendimiento de la variabilidad y favorece el uso de los datos y los hechos objetivos.

A continuación se describen los pasos para la construcción de un histograma:

- a. Determinar el rango de datos. El rango es igual a la diferencia entre el dato máximo y el mínimo.
- b. Obtener el número de clases (NC). Existen varios criterios para determinar el número de clases (o barras). Sin embargo, ninguno de ellos es exacto. Se recomienda obtener de cinco a quince clases, dependiendo de cómo estén los datos y cuántos sean. Un criterio usado frecuentemente es que el número de clases debe ser aproximadamente igual a la raíz cuadrada del número de datos.
- c. Establecer la longitud de clase (LC). La longitud de clase se establece de tal manera que el rango pueda ser cubierto en su totalidad por NC intervalos de igual magnitud. Así, una forma directa de obtener la LC es dividiendo el rango entre el número de clases. Sin embargo, en ocasiones resulta más conveniente ampliar un poco el rango para que la longitud de clase esté expresada de manera más sencilla o en el mismo tipo de cifras que están los datos.

- d. Construir los intervalos de clase. Los intervalos de clase resultan de dividir el rango (original o ampliado) en NC intervalos de longitud LC cada uno. El punto inicial para la primera clase puede ser el dato mínimo si no se amplió el rango. Si se amplió el rango el punto inicial es un poco antes del mínimo. Para obtener la primera clase, se le suma al punto inicial la longitud de clase y así se obtiene el intervalo de la primera clase. Para obtener el intervalo de la segunda clase, se toma el final de la primera clase como punto inicial y se le suma la longitud de clase, y así se sigue hasta completar todos los intervalos.
- e. Obtener la frecuencia de cada clase. Para obtener la frecuencia se cuentan los datos que caen en cada intervalo de clase. Cuando un dato coincide con el final de una clase y principio de la siguiente, entonces tal dato se incluye en esta última.
- f. Graficar el histograma. Se hace una gráfica de barras en la que las bases de las barras sean los intervalos de clase y la altura sean las frecuencias de las clases.

Cuando un histograma se construye de manera correcta y es resultado de un número suficiente de datos, en general más de 40, y éstos son representativos de la población, proceso o problema, entonces lo que se aprecia en el histograma, como tendencia central, variabilidad y comportamientos especiales, es una información valiosa. Formalmente, observando un histograma puede contestarse varias preguntas. Por ejemplo:

- a. ¿Cuáles son las mediciones más comunes? Para ello hay que observar la barra o el grupo de barras más altos.

- b. ¿Hay un comportamiento simétrico? ¿Hay sesgo? ¿Hacia qué lado? Para responder a estas preguntas basta observar la forma del histograma.
- c. ¿Cómo es la dispersión? Para contestar hay que observar a partir del grupo de barras más alto qué tan rápido disminuye la frecuencia de las demás barras.
- d. ¿Está centrado el proceso? Con un tamaño de muestra grande es muy fácil ver si un proceso está centrado o no, ya que basta observar la posición del cuerpo del histograma con respecto a la calidad óptima y a las especificaciones.
- e. ¿Cuántos picos hay? Cuando hay varios picos o agrupaciones de barras en un histograma, lo primero que debe hacerse es revisar si la construcción se hizo de manera correcta.
- f. ¿Hay acantilados?
- g. ¿Hay datos aislados o raros? Un pequeño grupo de mediciones muy extremas o raras es fácilmente detectable en un histograma, ya que aparece claramente aislado del resto.
- h. Estratificar. Cuando se obtienen datos que proceden de distintas máquinas, proveedores u operadores, puede encontrarse información valiosa si se hace un histograma por cada fuente.

1.3.1.3 Diagrama de Pareto

En una empresa existen muchos problemas que esperan ser resueltos o cuando menos atenuados. Cada problema puede deberse a varias causas diferentes. Es imposible e impráctico pretender resolver todos los problemas o atacar todas las causas al mismo tiempo.

En este sentido, es fundamental seleccionar al problema más importante, y al mismo tiempo, en principio, centrarse sólo en atacar su causa más relevante. La idea es escoger un proyecto que pueda alcanzar la mejora más grande con el menor esfuerzo. La herramienta que permite localizar el problema principal y ayuda a localizar la causa más importante de éste, se llama diagrama o análisis de Pareto.

La idea anterior contiene el llamado principio de Pareto, conocido como “Ley 80-20” ó “Pocos vitales, muchos triviales”, el cual reconoce que unos pocos elementos (20 por ciento) generan la mayor parte del efecto (80 por ciento); el resto de los elementos generan muy poco del efecto total. De la totalidad de problemas de una empresa sólo unos pocos son realmente importantes.

La idea central del diagrama de Pareto es localizar los pocos defectos, problemas o fallas vitales para concentrar los esfuerzos de solución o mejora en éstos. Una vez que sean corregidos, se vuelve a aplicar el principio de Pareto para localizar de entre los que quedan a los más importantes, volviéndose este ciclo una filosofía. También el diagrama de Pareto apoya la identificación de las pocas causas fundamentales de los problemas vitales, con lo que se podrá reducir de manera importante las fallas y deficiencias en la empresa.

Se puede aplicar el análisis de Pareto a todo tipo de problemas: calidad, eficiencia, conservación de materiales, ahorro de energía, seguridad, etc.

Un diagrama de Pareto puede ser el primer paso para un proyecto de mejora. Es muy útil para motivar la cooperación de todos los involucrados, puesto que con una mirada cualquier persona puede darse cuenta de cuáles son los problemas principales.

Características de un buen diagrama de Pareto:

- a. La clasificación por categorías del eje horizontal puede abarcar diferentes tipos de variables. Por ejemplo: tipo de defectos, grupo de trabajo, producto, máquina, obrero, turno, fecha de fabricación, cliente, etc.
- b. El eje vertical izquierdo debe representar unidades de medida que den una clara idea de la importancia de cada categoría.
- c. El eje vertical derecho representa una escala en porcentajes de 0 a 100, para que con base en ésta se pueda evaluar la importancia de cada categoría respecto a las demás.
- d. La línea acumulativa representa los porcentajes acumulados de las categorías.
- e. Para que no haya un número excesivo de categorías que dispersen el fenómeno, se recomienda agrupar las categorías que tienen relativamente poca importancia en una sola y catalogarla como la categoría "otras", aunque no es conveniente que esta categoría represente un porcentaje de los más altos.

- f. Un criterio rápido para saber si la primera barra o categoría es significativamente más importante que las demás, no es que ésta represente 80 por ciento del total; más bien es si ésta al menos duplica en magnitud al resto de las barras.
- g. Cuando en un diagrama de Pareto no predomina ninguna barra y éste tiene una apariencia plana o un descenso lento en forma de escalera, significa que deben reanalizarse los datos o el problema y su estrategia de clasificación.
- h. Es necesario agregar en la gráfica el período que representan los datos. Se recomienda anotar claramente la fuente de los datos y el título de la gráfica.
- i. Cuando se localiza el problema principal, es indispensable hacer un diagrama de Pareto de segundo nivel, en el cual se identifiquen los factores o causas potenciales que originan tal problema.

Pasos para la construcción de un diagrama de Pareto:

- a. Decidir y delimitar el problema o área de mejora que va a atenderse. Tener claro el objetivo que se persigue. A partir de lo anterior, visualizar o imaginar qué tipo de diagrama de Pareto puede ser útil para localizar prioridades o entender mejor el problema.
- b. Con base en lo anterior, discutir y decidir el tipo de datos que van a necesitarse y los posibles factores que sería importante estratificar. Construir una hoja de verificación bien diseñada para la colección de datos que identifique tales factores.

- c. Si la información va a tomarse de reportes anteriores o si va a recabarse, definir el período del que se tomarán datos y determinar quien será responsable de ello.
- d. Al terminar de obtener los datos, construir una tabla donde se cuantifique la frecuencia de cada defecto, su porcentaje y demás información.
- e. Para representar gráficamente la información de la tabla obtenida en el paso anterior, construir un rectángulo que sea un poco más alto que ancho. En este rectángulo se construirán las escalas como se describe en los tres incisos siguientes:
- f. El lado izquierdo del rectángulo será el eje vertical que determinará la importancia de cada categoría. Para construir la escala o darle dimensiones al eje de las Y, marcar el inicio con un cero y el final con el total acumulado de defectos. Enseguida, a partir de cero, trazar divisiones de igual longitud hasta completar el total.
- g. Marcar el lado o eje derecho con una escala porcentual, iniciando con 0 por ciento y terminando en la parte superior con 100 por ciento.
- h. Dividir la base del rectángulo o eje horizontal en tantos intervalos iguales como categorías sean consideradas. De acuerdo con la frecuencia con que ocurrió cada categoría (defecto), ordenarlas de izquierda a derecha y de mayor a menor, y anotar el nombre de cada una.
- i. Construir una gráfica de barras, tomando como altura de cada barra el total de defectos correspondientes.

- j. Con la información del porcentaje acumulado, graficar una línea acumulada.
- k. Documentar referencias del diagrama de Pareto, como son títulos, periodo, área de trabajo, etc.
- l. Interpretar el diagrama de Pareto y, si existe una categoría que predomina, hacer un análisis de Pareto de segundo nivel para localizar los factores que influyen más en el mismo.

1.3.1.4 Hoja de verificación

La hoja de verificación o de comprobación es un formato construido especialmente para recabar datos, de tal forma que sea sencillo el registro sistemático de tales datos y que sea fácil analizar la manera en que influyen los principales factores que intervienen en una situación o problema específico. Una característica que debe reunir una hoja de verificación es que visualmente se pueda hacer un primer análisis que permita apreciar la magnitud y localización de los problemas principales. De esta manera, una buena hoja de registro de datos se convierte en una herramienta sumamente poderosa en el proceso de mejora continua.

Algunas de las situaciones en las que resulta de utilidad obtener datos a través de la hoja de verificación son las siguientes:

- a. Describir resultados de operación o de inspección.

- b. Examinar artículos defectuosos (identificando razones, tipos de fallas, área de donde proceden, así como máquina, material u operador que participó en su elaboración).
- c. Confirmar posibles causas de problemas de calidad.
- d. Analizar o verificar operaciones y evaluar el efecto de los planes de mejora.

La hoja de verificación es un paso natural dentro de un análisis de Pareto y una estratificación para recabar datos o confirmar pistas de búsqueda. Cada área de la empresa podría empezar a diseñar sus formatos de registro de tal forma que ayude a entender mejor la regularidad estadística de los problemas que se tienen. Por ejemplo, los accidentes de trabajo, fallas en equipos y mantenimiento, fallas en trámites administrativos, quejas y atención a clientes, razones de incumplimiento de plazos de entrega, ausentismo, inspección y supervisión de operaciones son problemas sobre los que se requiere información que se puede obtener mediante un buen diseño de una hoja de verificación.

Recomendaciones para el uso de una hoja de verificación:

- a. Determinar la situación que es necesaria evaluar, sus objetivos y el propósito que se persigue. A partir de lo anterior, definir el tipo de datos o información que se requieren.
- b. Establecer el período durante el cual se obtendrán los datos.

- c. Diseñar el formato apropiado. Cada hoja de verificación debe llevar la información completa sobre el origen de los datos: fecha, turno, máquina, proceso y el responsable que tomará los datos. Una vez obtenidos, se analizan e investigan las causas de su comportamiento. Para ello deben utilizarse gráficas. Debe buscarse mejorar los formatos de registro de datos, para que cada día sean más claros y útiles.

- d. El uso excesivo de la hoja de verificación puede llevar a obtener datos sin ningún objetivo concreto e importante. Para evitar esto, debe procurarse que cada hoja con la que se obtienen datos en una empresa tenga un objetivo claro y de importancia. No hay que caer en el ocio de obtener datos sólo que sí. Tampoco debe caerse en el error de menospreciar la utilidad de esta herramienta, ya que casi en cualquier tipo de problemas la obtención de datos es un paso fundamental para dirigir la búsqueda de las verdaderas causas de un problema.

1.3.1.5 Diagrama de causa y efecto

El diagrama de causa y efecto o diagrama de Ishikawa es un método gráfico que refleja la relación entre una característica de calidad (muchas veces una área problemática) y los factores que posiblemente contribuyen a que exista. En otras palabras, es una gráfica que relaciona el efecto (problema) con sus posibles causas.

El diagrama de Ishikawa es una gráfica en la cual, en el lado derecho, se anota el problema y en el lado izquierdo se especifican por escrito todas sus causas potenciales, de tal manera que se agrupan o estratifican de acuerdo con sus similitudes en ramas y subramas.

Por ejemplo, las clasificaciones típicas de las causas potenciales de los problemas en manufactura son: mano de obra, materiales, métodos de trabajo, maquinaria, medición y medio ambiente.

El diagrama de Ishikawa es una herramienta muy útil para localizar las causas de los problemas, y será de mayor efectividad en la medida en que dichos problemas estén mejor localizados y delimitados.

A continuación se presentan algunas ventajas que tiene el uso del diagrama de Ishikawa:

- a. Hacer un diagrama de Ishikawa es una educación en sí (se logra conocer más el proceso o la situación).
- b. Sirve de guía objetiva para la discusión y la motiva.
- c. Las causas del problema se buscan activamente y los resultados quedan plasmados en el diagrama.
- d. Muestra el nivel de conocimientos técnicos que se ha logrado sobre el proceso.
- e. Sirve para señalar todas las posibles causas de un problema y su relación entre sí, con lo cual la solución de un problema se vuelve un reto y motiva así el trabajo por la calidad.

Métodos para la construcción de un diagrama de Ishikawa:

- a. Método 6M o análisis de dispersión. Este es el método de construcción más común y consiste en agrupar las causas potenciales en seis ramas principales: métodos de trabajo, mano de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente.
- b. Método de flujo de proceso. Con este método de construcción, la línea principal del diagrama de Ishikawa sigue la secuencia normal del proceso de producción o de administración.
- c. Método de estratificación o enumeración de causas. La idea de este método de construcción del diagrama de Ishikawa es ir directamente a las principales causas potenciales de un problema.

Pasos para la construcción de un diagrama de Ishikawa:

- a. Escoger el aspecto de calidad que se quiere mejorar, lo cual se puede hacer con la ayuda de un diagrama de Pareto, un histograma o una carta de control, por ejemplo.
- b. Escribir de manera clara y concreta el aspecto de calidad, a la derecha del diagrama. Trazar una flecha ancha de izquierda a derecha y decidir el tipo de diagrama de Ishikawa que va a usarse.
- c. Buscar todas las causas probables, lo más concretas posible, que puedan afectar a la característica de calidad.
- d. Representar en el diagrama de Ishikawa las ideas obtenidas y, analizando el diagrama, preguntarse si faltan algunas otras causas aún no consideradas para modificarlas.

- e. Decidir cuáles son las causas más importantes, esto se puede hacer por consenso, por votación o recurriendo a datos.
- f. Decidir sobre que causas va a actuarse, tomando en consideración el punto anterior. Es importante reportar a la alta dirección las causas en las que no se decida actuar debido a que es imposible por distintas circunstancias.
- g. Preparar un plan de acción para cada una de las causas a ser investigadas o corregidas, de tal forma que se determinen las acciones que deben realizarse. Para ello se puede usar nuevamente el diagrama de Ishikawa. Una vez determinadas las causas, debe insistirse en las acciones, para no caer sólo en debatir los problemas y no acordar acciones que tiendan a la solución de los problemas.

1.3.1.6 Diagrama de dispersión

En la búsqueda de las causas de un problema de calidad y en el reto de innovar un proceso de producción es común que sea necesario analizar la relación entre dos variables (características de calidad, variables de proceso, etc.). Por ejemplo, puede ser de interés investigar si la variación de un factor tiene algún efecto en cierta característica de calidad, es decir, investigar si existe una relación de causa-efecto. Existen varios métodos estadísticos para llevar a cabo tales investigaciones. Uno de ellos es el diagrama de dispersión, el cual es una herramienta que permite hacer una comparación o análisis gráfico de dos factores que se manifiestan simultáneamente en un proceso concreto.

Si X representa una variable y Y la otra, entonces se colectan los datos en pares sobre las dos variables (x_i, y_i) . Las parejas de datos obtenidos se representan en una gráfica del X - Y (o plano cartesiano) y a la figura resultante se le conoce como diagrama de dispersión.

Pasos para la construcción de un diagrama de dispersión:

- a. Obtención de datos. Una vez que se han seleccionado las variables que se desea investigar, se colectan los valores de éstas en parejas, es decir, reunir para cada valor de una variable el correspondiente de la otra.
- b. Elegir ejes. En general, si se trata de descubrir una relación de causa y efecto, la causa posible se representa en el eje X y el efecto probable en el eje Y . Si lo que se está investigando es la relación entre dos características de calidad o entre dos factores, entonces en el eje X se anota el que se puede manipular o controlar más, o el que ocurre primero durante el proceso. Anotar en los ejes el título de cada variable.
- c. Construir escalas. Los ejes deben ser tan largos como sea posible, pero de longitud similar. Para construir la escala se sugiere encontrar el valor máximo y el mínimo de ambas variables. Escoger las unidades para ambos ejes de tal forma que los extremos de los ejes coincidan de manera aproximada con el máximo y el mínimo de la variable correspondiente. Un error frecuente en la construcción de las escalas en los ejes es hacer que éstas inicien en cero. Deben iniciar con el mínimo y terminar con el máximo. Cuando las escalas se construyen de manera correcta, aparecen puntos a lo largo y ancho del diagrama, no sólo en una pequeña parte.

- d. Graficar los datos. Con base en las coordenadas en el eje X y en el eje Y, representar con un punto cada pareja de valores de las variables. Cuando existen parejas de datos repetidos (con los mismos valores en ambos ejes) en el momento de estar graficando, se detectará un punto que ya está graficado y se traza un círculo sobre el punto para indicar que está repetido. Si vuelve a repetirse se traza otro círculo concéntrico, y así sucesivamente.
- e. Documentar el diagrama. Registrar en el diagrama toda la información que sea de utilidad para identificarlo, como títulos, periodo que cubren los datos, títulos y unidades de cada eje, área o departamento y persona responsable de coleccionar los datos.

1.3.1.7 Cartas de control

La idea básica de una carta de control es observar y analizar gráficamente el comportamiento sobre el tiempo de una variable de un producto, o de un proceso, con el propósito de distinguir en tal variable sus variaciones debidas a causas comunes de las causas especiales (atribuibles).

El uso adecuado de las cartas de control permitirá detectar cambios y tendencias importantes en los procesos.

La variación debida a causas comunes es aquella que permanece día a día, lote a lote; es parte del sistema: materia prima, métodos, procesos y formas organizativas. Las causas comunes son difíciles de identificar y eliminar, por ser parte del sistema; sin embargo, representan a largo plazo la mayor oportunidad de mejora.

La variación debida a causas especiales es algo especial, no es parte del sistema de causas comunes, esta variación es causada por situaciones o circunstancias especiales que no están presentes permanentemente en el sistema; por ejemplo, una falla ocasionada por el mal funcionamiento de una pieza en una máquina o el empleo de materiales no habituales. Las causas especiales a menudo pueden ser identificadas y eliminadas si se cuenta con los conocimientos y condiciones para ello.

Una carta de control consiste en una línea central que representa el promedio de la variable que se está graficando, dos límites de control, superior e inferior a la línea central en una posición tal que, cuando el proceso está en control estadístico, hay alta probabilidad de que prácticamente todos los valores de la variable (puntos) caigan dentro de los límites. De esta manera, si todos los puntos están dentro de los límites, entonces se supone que el proceso está en control estadístico. Por el contrario, si al menos un punto está fuera de los límites de control, entonces es señal de que el proceso está fuera de control estadístico, por lo que es necesario investigar cuál es la causa de este comportamiento o cambio especial.

1.3.1.7.1 Límites de control

La ubicación de los límites de control en una carta es un aspecto fundamental, ya que si éstos se ubican demasiado alejados de la línea central entonces será más difícil detectar los cambios en el proceso, mientras que si se ubican demasiado estrechos, una variación puede tomarse como si proviniera de una causa especial cuando en realidad surge de una causa común.

Una forma sencilla y usual para calcular límites de control se obtiene a partir de la relación entre la media y la desviación estándar de una variable, que para el caso de una variable con distribución normal con media μ y desviación estándar, y bajo condiciones de control estadístico, se tiene que entre $\mu - 3\sigma$ y $\mu + 3\sigma$ se encuentra el 99.73% de los posibles valores que toma tal variable.

A continuación se presenta un modelo general para una carta de control:

Sea X la variable o dato estadístico que va a graficarse en la carta de control, y suponiendo que su media es μ_x y su desviación estándar es σ_x , entonces el límite de control superior (LCS), la línea central y el límite de control inferior (LCI) están dados por

$$\begin{aligned} \text{LCS} &= \mu_x + 3\sigma_x \\ \text{Línea Central} &= \mu_x \\ \text{LCI} &= \mu_x - 3\sigma_x \end{aligned}$$

Con estos límites, y bajo condiciones de control estadístico, se tendrá alta probabilidad de que los valores de X estén dentro de ellos. En particular, si X tiene distribución normal, tal probabilidad será de 0.9973, con lo que se espera que en condiciones de control sólo 27 puntos de 10,000 caigan fuera de los límites.

Este tipo de cartas de control se conoce como cartas de control de Shewhart. La forma de estimar la media y la desviación estándar de X a partir de las observaciones del proceso, dependerá del tipo de variable que sea X , ya sea un promedio, un rango o un porcentaje.

1.3.1.7.2 Usos de una carta de control

La utilidad fundamental de las cartas de control es contribuir a cada una de las actividades del control de calidad: controlar, mejorar e innovar procesos, distinguiendo entre variaciones aleatorias (debidas a causas comunes) y variaciones especiales. De esta manera, el uso adecuado de las cartas de control facilitará la identificación oportuna de tendencias y cambios especiales, evaluar los efectos de planes de mejora, analizar la evolución sobre el tiempo de variables de procesos productivos o administrativos, etc.

1.3.1.7.3 Tipos de cartas de control

Existen dos tipos generales de cartas de control: para variables y para atributos. Las primeras se aplican a variables (o características de calidad) de tipo continuo, que son aquellas que requieren un instrumento de medición para medirse (pesos, volúmenes, voltajes, longitudes, resistencias, temperaturas, etc.) Las cartas para variables tipo Shewhart más usuales son:

- a. $\bar{X} - R$ (de promedios y rangos)
- b. X (de medidas individuales)

Existen muchas características de calidad que no son medidas con un instrumento de medición en una escala continua o al menos en una escala numérica. En estos casos, el producto se juzga como conforme o no conforme, dependiendo de si posee ciertos atributos, y al producto se le podrá contar el número de defectos o no conformidades que posee el mismo, serán analizadas a través de las cartas de control para atributos:

- a. np (número de unidades defectuosas)
- b. p (proporción o fracción de artículos defectuosos)
- c. c (número de defectos)
- d. u (número de defectos por unidad)

1.3.1.7.4 Carta de control $\bar{X} - R$

Esta carta se utiliza para controlar y analizar un proceso en el cual la característica de calidad del producto que se está midiendo toma valores continuos, tales como longitud, peso o concentración, y esto proporciona la mayor cantidad de información sobre el proceso. \bar{X} representa un valor promedio de un subgrupo y R representa el rango del subgrupo. Una carta R se usa generalmente en combinación con una carta \bar{X} para controlar la variación dentro de un subgrupo.

Mediante una carta de control \bar{X} se controla la tendencia central de características de calidad, y mediante una carta R su variabilidad.

1.3.1.7.5 Carta de control R

Este diagrama es utilizado para estudiar la variabilidad de una característica de calidad de un producto o un proceso, y en ella se analiza el comportamiento sobre el tiempo de los rangos de las muestras o subgrupos.

1.3.1.7.6 Carta de control X

Cuando los datos de un proceso se registran durante intervalos largos o los subgrupos de datos no son efectivos, se grafica cada dato individualmente y esa gráfica puede usarse como gráfica de control.

Debido a que no hay subgrupo el valor R no puede calcularse, se usa el rango móvil R_s de datos sucesivos para el cálculo de los límites de control de X .

1.3.1.7.7 Cartas de control np y p

Estas cartas se utilizan cuando la característica de calidad se representa por el número de unidades defectuosas o la fracción defectuosa. Para una muestra de tamaño constante, se usa una gráfica np del número de unidades defectuosas, mientras que una gráfica p de la fracción de defectos se usa para una muestra de tamaño variable.

1.3.1.7.8 Cartas de control c y u

Estas cartas se usan para controlar y analizar un proceso por los defectos de un producto, tales como rayones en placas de metal, número de soldaduras defectuosas de un televisor o tejido desigual en telas. Una gráfica c referida al número de defectos, se usa para un producto cuyas dimensiones son constantes, mientras que una gráfica u se usa para un producto de dimensión variable.

1.3.1.7.9 Pasos para construir la carta $\bar{X} - R$

- a. Recoger aproximadamente 100 datos. Dividirlos en 20 ó 25 subgrupos con 4 ó 5 en cada uno, haciéndolos uniformes dentro del subgrupo. Registrarlos en una hoja de datos. Cuando no hay razones técnicas para hacer subgrupos, dividir los datos en el orden en que se obtuvieron. El tamaño del grupo es generalmente entre 2 y 10 en la mayoría de los casos.

- b. Calcular el promedio \bar{X} y el rango R para cada subgrupo de la siguiente forma:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

$n = \text{número de datos}$

$$R = X_{max} - X_{min}$$

- c. Calcular el promedio del proceso $\bar{\bar{X}}$ y el rango promedio \bar{R} de la siguiente forma:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \dots + \bar{X}_k}{k}$$

$k = \text{número de subgrupos}$

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_k}{k}$$

- d. Calcular los límites de control de la siguiente forma:

$$\text{Límite de control superior LCS}\bar{x} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$$

$$\text{Línea central LC}\bar{x} = \bar{\bar{X}}$$

$$\text{Límite de control inferior LCI}\bar{x} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

$$\text{Límite de control superior LCS}\bar{R} = D_4\bar{R}$$

$$\text{Línea central LC}\bar{R} = \bar{R}$$

$$\text{Límite de control inferior LCI}\bar{R} = D_3\bar{R}$$

Los valores de A_2 , D_3 y D_4 están dados en la tabla XIII en la sección apéndice.

1.3.1.7.10 Pasos para construir las cartas p y np

- Tomar una muestra y clasificar la calidad del producto en unidades que llenen o no los requisitos, según el estándar de inspección.
- Calcular la fracción promedio de defectos \bar{p} . La fracción defectuosa expresada por un decimal es el valor que se obtiene al dividir el número de unidades que presentan defectos por el número total de unidades inspeccionadas.

$$p = \frac{\text{número de defectuosos en subgrupos}}{\text{número de inspecciones en subgrupos}}$$

$$\bar{p} = \frac{\text{número total de defectuosos}}{\text{número total de inspecciones}}$$

- Calcular los límites de control de la siguiente forma:

$$\text{Límite de control superior LCS}_p = \bar{p} + \frac{3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Línea central LC}_p = \bar{p}$$

$$\text{Límite de control inferior LCI}_p = \bar{p} - \frac{3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Límite de control superior LCS}_{np} = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-n\bar{p})}$$

Línea central $LC_{np} = n\bar{p}$

Límite de control inferior $LC_{Inp} = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$

1.3.1.7.11 Pasos para construir las cartas c y u

- Tomar una muestra y clasificar la calidad del producto por el número de defectos encontrados, según el estándar de inspección.
- Calcular el número promedio de defectos \bar{c} cuando la muestra es de tamaño constante o el número promedio de defectos por unidad en todo el conjunto de datos \bar{u} cuando el tamaño de la muestra es variable.

$$\bar{c} = \frac{\text{total de no conformidades}}{\text{número de subgrupos}}$$

$$\bar{u} = \frac{\text{total de no conformidades}}{\text{total de unidades inspeccionadas}}$$

- Calcular los límites de control de la siguiente forma:

$$\text{Límite de control superior } LC_{Sc} = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$\text{Línea central } LC_c = \bar{c}$$

$$\text{Límite de control inferior } LC_{Ic} = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}}$$

$$\text{Límite de control superior } LC_{Su} = \bar{u} + \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$$

$$\text{Línea central } LC_u = \bar{u}$$

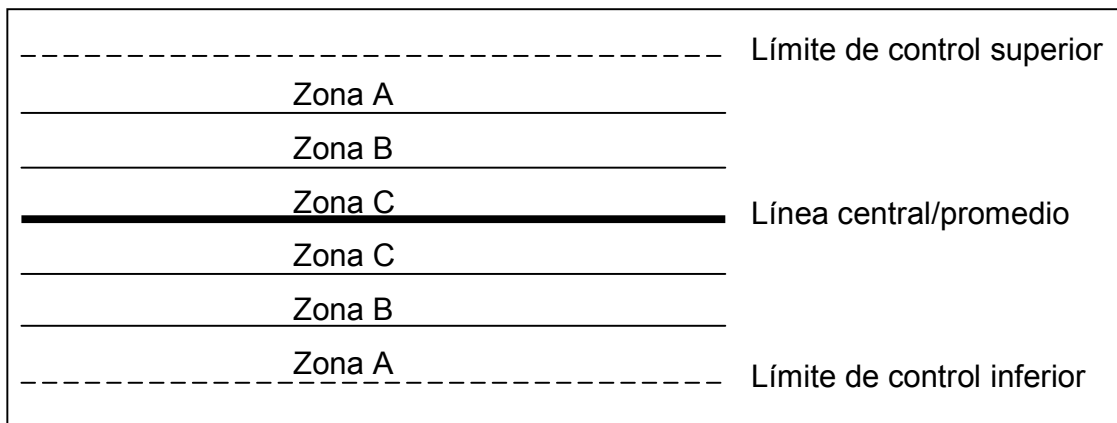
$$\text{Límite de control inferior LCI}u = \bar{u} - \frac{3\sqrt{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$$

1.3.1.7.12 Interpretación de las cartas de control

Después de graficar las cartas se dice que el proceso se encuentra fuera de control si:

- a. Uno o más puntos caen fuera de los límites de control.
- b. Cuando se divide la gráfica de control en zonas de la siguiente manera:

Figura 1. **Zonas de la carta de control**



FUENTE: Gutiérrez Pulido, Humberto. **Calidad Total y Productividad**, pág. 163

Se deben analizar los cambios en la gráfica y posiblemente corregir el proceso si:

- a. Dos o tres puntos sucesivos están en el mismo lado de la línea central en la zona A o más allá.
- b. Cuatro de cinco puntos sucesivos están en el mismo lado de la línea central en la zona B o más allá.
- c. Nueve puntos sucesivos están a una lado de la línea central.
- d. Seis puntos consecutivos van en aumento o disminución (tendencia).
- e. Catorce puntos en fila alternando de arriba abajo.
- f. Quince puntos en fila que estén dentro de la zona C (ya sea arriba o debajo de la línea central).

La carta $\bar{X} - R$ puede utilizarse en alguna o algunas de las siguientes situaciones:

- a. Se está iniciando un nuevo proceso o se va a desarrollar un nuevo producto con un proceso ya existente.
- b. En procesos con mal desempeño respecto a especificaciones.
- c. Se debe usar o se usan pruebas destructivas.
- d. Ya se han usado cartas de atributos, pero el proceso aún está fuera de control o su capacidad sigue siendo mala.
- e. Se pretende reducir la cantidad de inspección.
- f. Procesos en los que el operador tiene que decidir si los ajusta o no.
- g. Es necesario un cambio en las especificaciones del producto.
- h. Tiene que demostrarse continuamente que el proceso es estable o capaz.

Las cartas p , np , c o u pueden utilizarse en alguna o algunas de las siguientes situaciones:

- a. Los operadores controlan las causas especiales y es necesario reducir las fallas del proceso.

- b. El proceso consiste en operaciones complejas de ensamble y la calidad del producto se mide en términos de la ocurrencia de defectos, o con criterios del tipo pasa o no pasa.
- c. Es necesario que el proceso esté en control, pero no se pueden obtener mediciones de tipo continuo.
- d. Se requiere tener información sobre la evolución del desempeño del proceso. La información que proporcionan las cartas de atributos es de mucha utilidad para que la administración revise el desempeño de los procesos.

Las cartas de medidas individuales se utilizan cuando no tiene sentido práctico agrupar medidas para formar una muestra o subgrupo y poder instrumentar una carta $\bar{X} - R$, por lo que la mejor alternativa para controlar los procesos mediante una carta de control es usar una muestra $n = 1$ en alguna o algunas de las siguientes situaciones:

- a. Procesos muy lentos, en los que resulta inconveniente esperar otra medición para analizar el desempeño del proceso, como sería el caso de procesos químicos que trabajan por lotes.
- b. Procesos en los que las mediciones cercanas sólo difieren por el error de medición, por ejemplo, temperaturas.
- c. Se inspecciona de manera automática todas las unidades producidas.
- d. Resulta costoso inspeccionar y medir más de un artículo.

2. SISTEMA ACTUAL DE CONTROL DE CALIDAD

2.1 Descripción de la planta de galvanización de lámina

La planta de galvanización de lámina de Aceros de Guatemala S.A., cuenta con una sección de corte de materia prima, dos líneas de galvanización y una sección de corrugación de lámina. Además, para el manejo de la materia prima, el producto terminado y otros insumos, la planta cuenta con dos puente-grúas con capacidad de 5 y 12.5 toneladas.

2.1.1 Sección de corte de lámina

La sección de corte de lámina cuenta con una cizalla que trabaja por medio de una bomba hidráulica y topes ajustados para cortar los rollos de lámina en medidas comerciales de 6, 7, 8, 9, 10 y 12 pies de longitud.

En esta sección los rollos de lámina son desempacados y colocados en una bobina por medio de un puente-grúa. Del rollo se toma la punta y se ingresa en el carril de la cizalla, la cual corta la lámina en intervalos programados para la medida especificada.

Finalmente las láminas cortadas son agrupadas en fardos, los cuales son identificados y transportados hacia la cama que se encuentra al inicio de la línea de galvanización por medio del puente-grúa y un accesorio llamado araña.

2.1.2 Líneas de galvanización

La planta cuenta con dos líneas de galvanización que pueden trabajar simultáneamente. Ambas líneas siguen el mismo proceso de galvanización por inmersión en caliente. Al inicio de las líneas se encuentra una cama en donde son colocados los fardos de lámina y un operario ingresa una lámina a la vez a la línea que la transporta a lo largo del proceso por medio de rodillos y cadenas.

La secuencia del proceso de limpieza y decapado previo a la galvanización incluye un tanque con químico desengrasante, un tanque de enjuague con agua fría, dos tanques con ácido clorhídrico y un tanque con agua caliente. Seguido de este lineamiento se encuentra la bóveda del horno de calentamiento. Arriba del horno se encuentran los tanques que contienen el flux y el zinc fundido. Después de la salida del tanque de zinc se encuentra un tanque con agua fría, un tanque con ácido crómico y una cama de enfriamiento. Para sumergir la lámina en los tanques de la línea y completar el proceso se utilizan guías y rodillos en constante movimiento accionados con energía eléctrica.

Los tanques que contienen agua o soluciones químicas que deben trabajar a temperaturas elevadas utilizan tubería en forma de serpentín que se encuentra en el fondo de ellos por donde circula vapor de caldera. Los tanques de flux y zinc se calientan por medio de un horno de combustible. En el área donde se encuentra el flux y el zinc fundido está colocado un extractor de humos conectado a una chimenea.

2.1.3 Sección de corrugación de lámina

Para formar canales en la lámina galvanizada, los fardos terminados son transportados por medio de un puente-grúa hacia la cama de la máquina corrugadora, en donde se hacen pasar manualmente las láminas a través de rodillos dentados que dan forma a los canales de la lámina.

2.2 Descripción del proceso de galvanización de lámina

2.2.1 Materia prima

La materia prima utilizada en el proceso de galvanización es lámina de acero laminada en frío bajo las normas JIS-G3141. Los rollos de lámina son importados y vienen con especificaciones de 2½ a 5 toneladas de peso y ancho de 914 a 920 milímetros (36 pulgadas).

La materia prima utilizada para fabricar lámina galvanizada dura acanalada es lámina laminada en frío, dura y de acabado rústico. Para fabricar lámina lisa suave se utiliza lámina laminada en frío con tratamiento térmico de recocido para darle mayor ductilidad y también de acabado rústico.

Los principales países proveedores de materia prima son Venezuela, Japón, El Salvador y Corea.

2.2.2 Insumos

Los insumos utilizados para el proceso de galvanización son los siguientes:

- a. Desengrasante tipo alcalino
- b. Ácido clorhídrico con una concentración de 36 por ciento
- c. Cloruro de amonio CNH_4Cl (99.5 por ciento de pureza)
- d. Acondicionador Zaclon 2N (flux)
- e. Ácido crómico
- f. Lingotes de zinc importados (99.995 por ciento de pureza) de 26 kilos
- g. Plomo
- h. Combustible búnker C

2.2.3 Proceso de galvanización de lámina de acero

El proceso de galvanización comienza con una limpieza química para el acondicionamiento de la lámina. Inicialmente, la lámina es introducida en un baño de desengrase tipo alcalino a una temperatura entre 80°C y 90°C, con una concentración de 2 a 4 onz/gl y un Ph de 12. Las soluciones alcalinas en caliente sirven para eliminar los aceites y lubricantes utilizados en procesos de laminación y que se encuentran en la superficie de la materia prima. Después del baño de desengrase, la lámina pasa por un enjuague con agua a temperatura ambiente para limpiarla de la solución desengrasante y prepararla para su acondicionamiento.

El acondicionamiento de la lámina comienza con un proceso llamado decapado. Mediante este proceso se elimina el óxido de recocido y otras impurezas de la lámina. Para realizar el decapado, se introduce la lámina continuamente en dos tanques que contienen ácido clorhídrico a temperatura ambiente y con una concentración de entre 12 y 15 por ciento. La concentración de hierro desprendido que permanece dentro de los tanques no debe exceder de 50 g/l, de lo contrario, debe renovarse la solución en los tanques.

Después del decapado, la lámina pasa por un baño con agua, el cual debe mantenerse a una temperatura de 70°C, esto con el objetivo de remover el ácido clorhídrico y preparar la temperatura de la lámina para ser galvanizada.

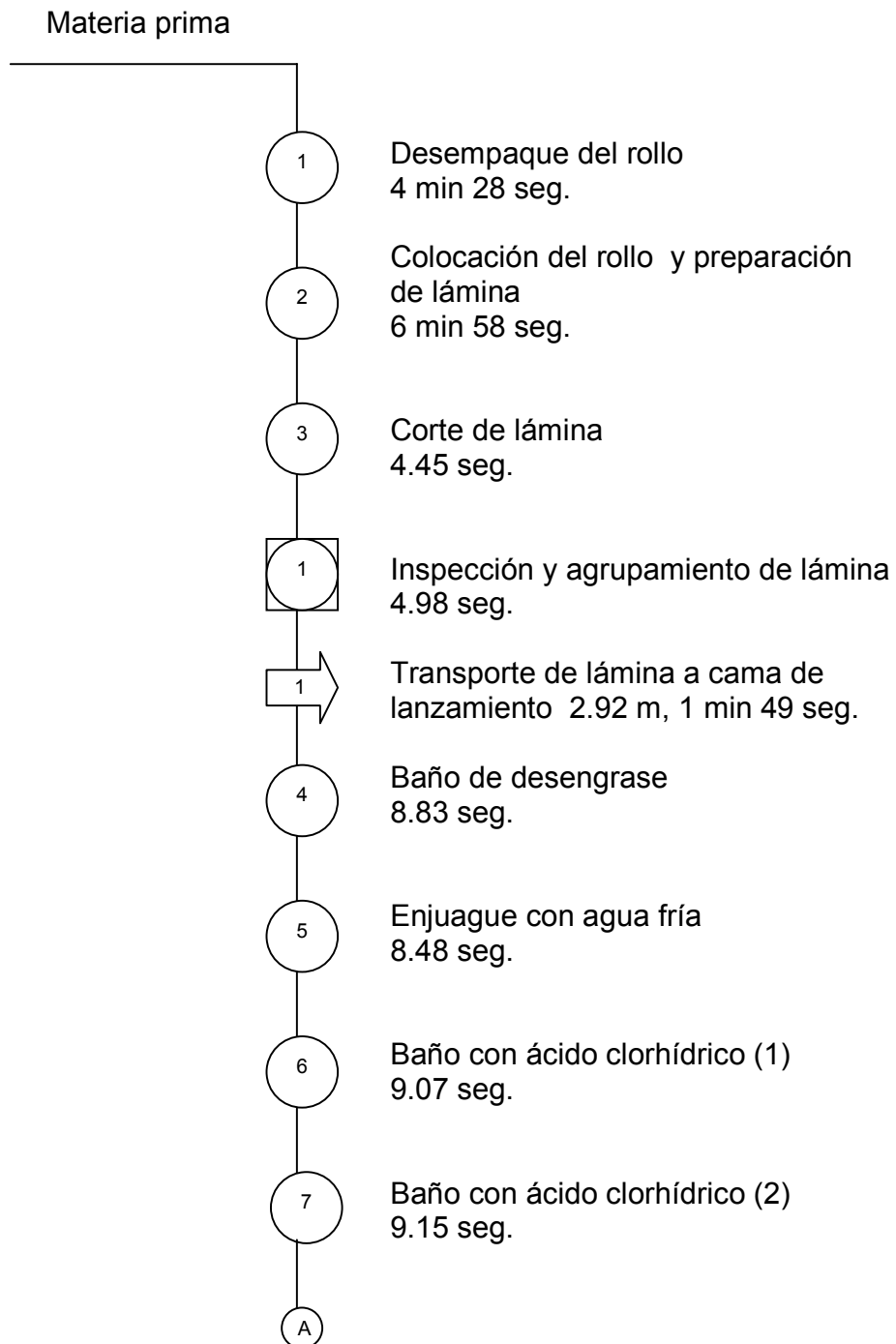
La galvanización de la lámina se realiza en dos tanques que se encuentran sobre un horno con una temperatura de 460°C. Primero, la lámina pasa por un baño de flux que contiene acondicionador Zaclon, que sirve para darle propiedades de adherencia a la lámina. La lámina entra al baño de flux y por debajo del tanque entra y sale de un baño de zinc. Esto se debe a que el tanque de flux y el tanque de zinc fundido se encuentran unidos y debajo de ellos se encuentran guías por donde pasa la lámina de uno a otro. Para evitar que el flux se mezcle con el zinc, se utiliza una barrera de plomo que debe ser renovada periódicamente. Durante esta etapa, se aplica cloruro de amonio en polvo sobre los rodillos de los tanques para mejorar la adherencia del zinc y darle una mejor apariencia.

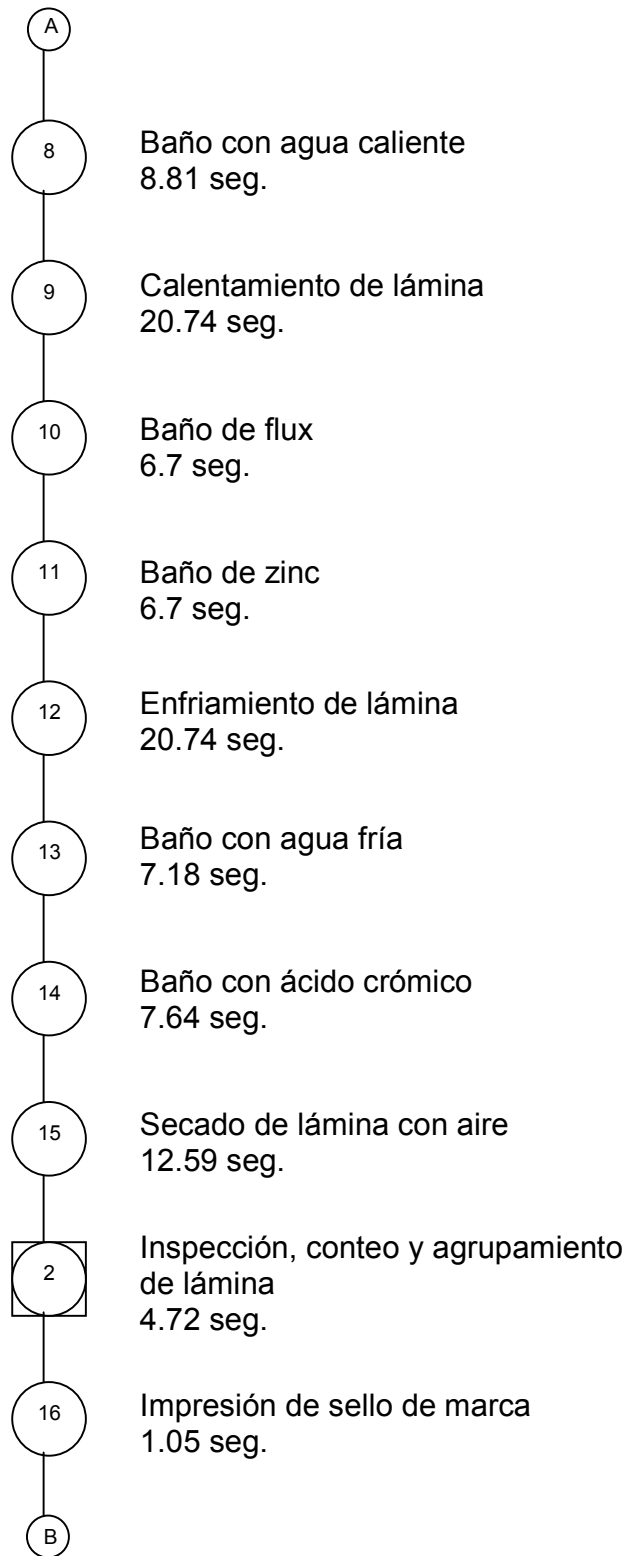
Inmediatamente después del baño de zinc, la lámina pasa por un baño de agua a temperatura ambiente que ayuda a mejorar la adherencia del zinc y a disminuir su temperatura. Luego pasa por un baño de ácido crómico con una concentración de 1 a 1.5 g/l, el cual funciona como sellador del galvanizado y ayuda a darle brillo a la lámina. Finalmente las láminas son secadas con aire rápidamente y transportadas hacia una cama de enfriamiento donde son agrupadas en fardos.

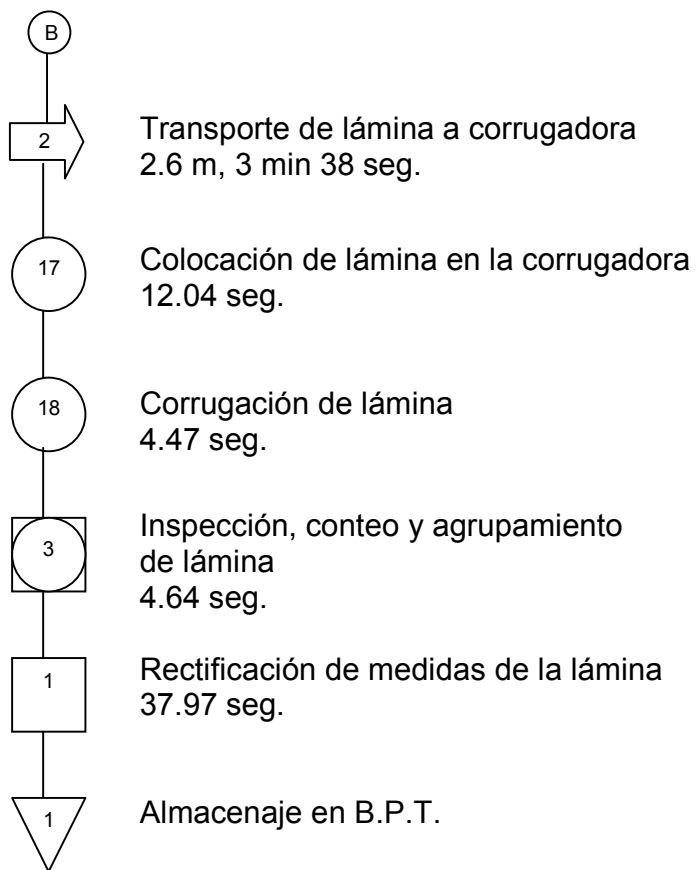
Si la producción es de lámina acanalada, los fardos se transportan hacia la corrugadora, en donde las láminas se ingresan manualmente para formar los canales. Los canales que se forman deben ser paralelos longitudinalmente y tener una distancia de 27 pulgadas de centro a centro entre los canales superiores que se encuentran en las orillas.

2.2.4 Diagrama de flujo del proceso

Galvanización de lámina por inmersión en caliente y corrugación







Resumen

| Actividad | Cantidad | Tiempo (min) | Distancia (m) |
|--------------|-----------|--------------|---------------|
| ○ | 18 | 13.89 | - |
| □ | 1 | 0.63 | - |
| ◻ | 3 | 0.24 | - |
| ➡ | 2 | 5.45 | 5.52 |
| ▽ | 1 | - | - |
| Total | 25 | 20.21 | 5.52 |

2.3 Descripción del producto terminado

El producto terminado tiene dos clasificaciones: lámina acanalada y lámina lisa. Estas clasificaciones a su vez se dividen en calibres, dependiendo del espesor de la lámina.

2.3.1 Lámina galvanizada acanalada

La lámina galvanizada acanalada es utilizada principalmente para el recubrimiento de techos por su durabilidad y resistencia al medio ambiente. También pueden ser utilizadas verticalmente para cubrir espacios vacíos en bodegas, galeras u otras construcciones.

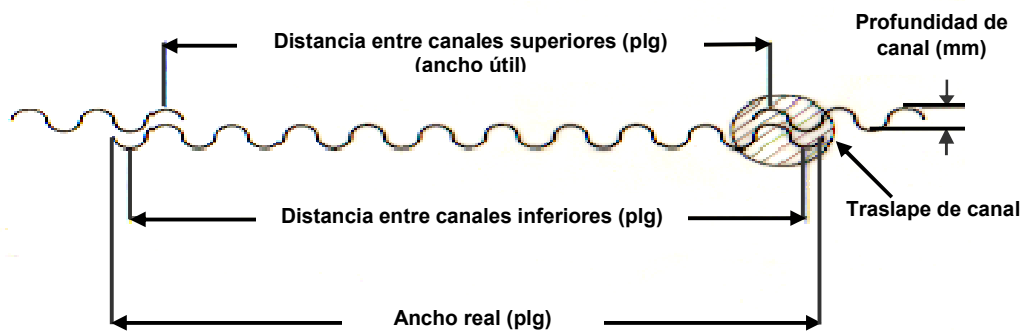
La lámina galvanizada se produce en diferentes calibres y medidas que el mismo mercado ha definido. El producto también puede clasificarse como lámina legítima o milimétrica, dependiendo del calibre y espesor. Las especificaciones de los productos se describen en la tabla siguiente:

Tabla I. **Especificaciones de lámina galvanizada acanalada (calibres)**

| Nombre comercial | Espesor (mm) |
|-------------------------|---------------------|
| P-400 (legítima) | 0.224 |
| 28 milimétrica | 0.264 |
| P-600 (legítima) | 0.334 |
| Cal 26 (legítima) | 0.404 |

Las longitudes comerciales en las que se presenta la lámina acanalada son de 6, 7, 8, 9, 10 y 12 pies. El ancho real de la lámina es de 32 pulgadas aproximadamente y el ancho útil es de 27 pulgadas. La profundidad de canales es de 16.6 milímetros aproximadamente.

Figura 2. **Medidas de canales de lámina**



2.3.2 Lámina galvanizada lisa

La lámina galvanizada lisa, por sus propiedades mecánicas, se utiliza en trabajos de hojalatería o herrería. Ejemplos de productos que se elaboran con lámina lisa son los extractores de aire, chimeneas, canales, ollas y otros recipientes. Las especificaciones de los productos se describen en la tabla siguiente:

Tabla II. **Especificaciones de lámina galvanizada lisa (calibres)**

| Nombre comercial | Espesor (mm) |
|-------------------|--------------|
| 28 milimétrica | 0.273 |
| Cal 28 (legítima) | 0.343 |
| Cal 26 (legítima) | 0.410 |

La longitud comercial en la que se presenta la lámina lisa es de 8 pies. El ancho útil de la lámina es de 36 pulgadas.

2.4 Control de calidad

Los controles de calidad que se llevan en planta incluyen la materia prima, las variables del proceso y el producto terminado. Para llevar a cabo estas tareas, en los turnos de trabajo 1 y 2 (diurno y nocturno), se cuenta con dos inspectores de calidad por turno, uno encargado de la materia prima y otro encargado del proceso y producto terminado.

2.4.1 Control de calidad de materia prima

El control de calidad de materia prima se lleva a cabo previo a ingresar la lámina a la línea de galvanizado, iniciando con el control en el área de corte de lámina en donde se toman muestras cortadas para verificar su calidad.

Las variables de materia prima que se controlan son:

- a. Longitud: es la distancia longitudinal medida en pies en ambos lados de la lámina cortada, según especificación.
- b. Espesor: espesor de la lámina medida en milímetros.
- c. Ancho: distancia transversal de la lámina cortada, medida en pulgadas en ambos extremos.
- d. Peso por pie lineal de materia prima: peso medido en gramos por pie lineal.

2.4.2 Control de calidad de proceso

El control de calidad de proceso se divide en dos partes:

2.4.2.1 Análisis de concentración en las soluciones químicas, que determinan la calidad de preparación de la lámina pre-galvanización y la terminación post-galvanización

- a. Desengrase: solución alcalina, debe mantener una concentración de 2 a 4 onz/gl.
- b. Ácido clorhídrico: debe mantener una concentración de 12 a 15 por ciento y una concentración de hierro en el tanque no mayor de 50 g/l.
- c. Ácido crómico: debe mantener una concentración de 1 a 1.5 g/l.

2.4.2.2 Medidas de presión y temperaturas que determinan la calidad del trabajo de los tanques en el proceso

- a. Desengrase: la solución desengrasante debe trabajar a una temperatura entre 80°C y 90°C.
- b. Enjuague con agua caliente: debe trabajar a una temperatura de 70°C.
- c. Temperatura superficial del baño de zinc: es la medida de la temperatura del zinc fundido, la cual debe estar cercana a la temperatura especificada de operación del horno, la cual es de 460°C.
- d. Temperatura del tanque de enfriamiento: se mide para verificar que el agua se mantenga a una temperatura ambiente para enfriar la lámina procedente del baño de zinc.

Las lecturas de presión en los tanques son tomadas de los manómetros de la tubería por donde circula el vapor de caldera. No se tienen medidas de presión específicas para cada tanque.

2.4.3 Control de calidad de producto terminado

El control de calidad de lámina galvanizada, previo al proceso de corrugación, consiste en realizar pruebas de adherencia de zinc por medio de métodos de prueba de impacto y engargolado. La prueba de impacto tiene otro objetivo, el cual es verificar la resistencia a la ruptura de la lámina. La prueba de engargolado consiste en doblar una muestra redonda de lámina de aproximadamente 6 cm de diámetro.

El control de calidad de producto terminado, posterior al proceso de corrugación, se divide en dos partes:

2.4.3.1 Medidas del producto terminado que definen su calidad

- a. Ancho: se mide el ancho real y útil del producto terminado en pulgadas (ver figura 2). Cuando se produce lámina lisa el ancho real es igual al ancho útil.
- b. Profundidad de canal: se mide la profundidad promedio de los canales en milímetros con la ayuda del profundímetro (ver figura 2).
- c. Peso por pie lineal galvanizado: peso medido en gramos por pie lineal de lámina galvanizado tomado de la muestra de materia prima ya galvanizada.
- d. Peso de recubrimiento de zinc: esta medida se toma a partir de la diferencia de pesos de una muestra galvanizada y después decapada. La diferencia se divide dentro del área de la muestra y se multiplica por un factor designado por la norma internacional ASTM A-90, con lo cual se obtiene el peso de recubrimiento de zinc en onzas por pie cuadrado.

2.4.3.2 Inspección visual de la apariencia del producto terminado para su clasificación de calidad

La inspección visual consiste en verificar la calidad de galvanizado en la apariencia del producto, esto quiere decir que esté libre de defectos tales como manchas, dobleces, ondulaciones, canales cruzados, etc.

3. REGISTROS DE CALIDAD ÚTILES PARA LA APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS

3.1 Registros de calidad en planta

Los registros de calidad que se llevan diariamente en planta por los inspectores de calidad sobre el control de materia prima, proceso y producto terminado están establecidos con procedimientos de control, formatos para cada uno de los controles y reportes diarios de calidad.

3.1.1 Procedimientos de control de calidad

3.1.1.1 Materia prima

Se ha establecido que en intervalos de 5 a 10 minutos se tomen muestras de materia prima (lámina cortada) en el área de corte. A estas muestras se les toman las medidas de ancho, longitud y rectitud del corte. Si alguna de estas medidas se encuentra fuera de las especificaciones, se le notifica al operario de la cizalla, quien debe hacer los ajustes necesarios en la máquina para corregir el problema. Si durante los intervalos, el proceso de corte no presenta problemas, se reduce el número de mediciones. Si el ancho de la materia prima se encuentra fuera de las especificaciones se anota la observación en el formato de control y se registra en los archivos de calidad de materia prima del proveedor, ya que este defecto no puede corregirse.

En la cama de lanzamiento se ha establecido que en intervalos de una hora debe tomarse una muestra de lámina y cortar un pie lineal para tomar las medidas de peso por pie lineal y espesor de materia prima.

La muestra tomada se identifica con un corte en una de las orillas para volver a analizarla después de haber pasado por el proceso de galvanización.

También se lleva el control de rollos ingresados al proceso, el cual incluye registros de identificación del rollo, fecha de corte, fecha de galvanización y cantidad de láminas ingresadas al proceso.

3.1.1.2 Proceso

Al igual que el control de calidad de materia prima, se ha establecido que en intervalos de una hora que concuerde con la hora de toma de muestra de materia prima, se tomen las mediciones de temperaturas y presiones en los tanques de la línea de galvanización para registrar sus condiciones de operación. Para llevar a cabo dichos controles, se utiliza un medidor láser de temperatura y se toma la lectura de los manómetros en la tubería de vapor de caldera.

El procedimiento de análisis de concentración en los tanques de desengrase, ácido clorhídrico y ácido crómico se lleva a cabo tres veces al día. A las 8:00, a las 12:00 y a las 16:00 horas, se toman muestras de las soluciones en tubos de ensayo, que luego son analizadas en el laboratorio físico-químico de control de calidad, donde se determina el grado de concentración al que se encuentran trabajando los tanques. Los resultados de los análisis se transmiten a los inspectores de calidad de la planta y si las concentraciones se encuentran fuera de los rangos especificados, los inspectores son los encargados de recargar el químico en los tanques por medio de la preparación y activación de dosificadores electrónicos.

3.1.1.3 Producto terminado

El control de calidad de producto terminado se realiza en dos etapas. La primera se lleva a cabo después del proceso de galvanización y consiste en tomar una muestra de lámina galvanizada, previamente identificada, de la cama de enfriamiento, de la cual se cortan dos muestras de un pie lineal cada una. Las dos muestras se pesan y se calcula un promedio del peso por pie lineal galvanizado en gramos por pie lineal. De estas muestras, se cortan tres probetas redondas de 6 cm de diámetro, a las cuales se les hacen pruebas de adherencia de zinc e impacto.

Otra probeta de igual área es enviada al laboratorio físico-químico de control de calidad para realizar la prueba de decapado y calcular el peso de recubrimiento de zinc. Esta prueba se realiza, primero, tomando el peso de la probeta galvanizada, y luego sometiéndola a un decapado con ácido clorhídrico para obtener el peso después de eliminar la capa de zinc. Mediante la fórmula para el cálculo de peso de recubrimiento de zinc para lámina galvanizada de la norma ASTM A-90 se obtiene el dato por hora, el cual es anotado en una pizarra colocada en la planta para que los operarios de producción estén informados de los resultados del control de galvanizado.

La segunda etapa se lleva a cabo en la sección de corrugación en donde se inspecciona que la lámina acanalada cumpla con las especificaciones requeridas. En intervalos de una hora se mide la distancia entre los canales de las orillas, superiores e inferiores, del centro de uno al otro y la profundidad promedio de los canales (ver figura 2). Con esto se registra que el ancho real y útil de la lámina y la profundidad de los canales se encuentren dentro de las especificaciones del producto; además, visualmente se inspecciona que los canales se encuentren rectos longitudinalmente.

Cuando no se cumple con las especificaciones, se notifica a los operarios de la corrugadora para que realicen los ajustes necesarios para corregir el problema.

3.1.2 Formatos de control de calidad

Para llevar a cabo el registro diario de control de calidad se utilizan formatos designados para cada uno de los controles que se llevan en planta. Cada uno se identifica con fecha de producción, turno, número de línea, producto, calibre, longitud y nombre de inspector de calidad. Los formatos se dividen en las categorías siguientes:

3.1.2.1 Materia prima

Los formatos de control de calidad de materia prima son los siguientes:

- a. Control de espesor de materia prima: se registra el número de rollo, proveedor, calibre, hora de muestreo, espesor de materia prima, ancho de materia prima y longitud de corte (según orden de producción).
- b. Control de pesos por pie lineal de materia prima: se registra el número de rollo, hora de muestreo y el peso por pie lineal de materia prima.
- c. Control de materia prima: se registra la fecha y hora de corte de materia prima, hora de ingreso al proceso, cantidad de láminas ingresadas, número de rollo, calibre y proveedor.

3.1.2.2 Proceso

Los formatos de control de proceso son los siguientes:

- a. Reporte de presiones y temperaturas del proceso: se registra la temperatura de lámina antes de ingresar al baño de zinc, temperatura superficial del baño de zinc, temperatura del tanque de agua tibia, temperatura del tanque de enfriamiento, temperatura del desengrase, presión en el tanque de desengrase, temperatura del ácido crómico y presión del tanque de ácido crómico por hora del turno.
- b. Control de paros: se registran las horas de inicio y fin de paros en el proceso y las causas que los motivaron.

3.1.2.3 Producto terminado

Los formatos de control de calidad de producto terminado son los siguientes:

- a. Reporte de calidad: se registra la hora de muestreo, número de rollo, longitud del producto, distancia entre canales, ancho del producto, profundidad de canal, espesor de muestra galvanizada, resultados de pasa o no pasa las pruebas de adherencia y ruptura.
- b. Control de pesos por pie lineal galvanizado: se registra el número de rollo, hora de muestreo, el peso de las dos muestras y el peso promedio por pie lineal galvanizado.
- c. Reporte de producción: se registra el número de rollo, proveedor, cantidad de láminas de primera, cantidad de láminas defectuosas, cantidad de láminas de segunda, cantidad de láminas de tercera y los detalles de los defectos de producto terminado anotados al dorso de la hoja.

3.1.3 Reportes diarios de control de calidad

Los reportes diarios de control de calidad incluyen los formatos con los registros de control de materia prima, proceso y producto terminado por turno, presentados con una carátula principal donde se imprime el resumen de los registros diarios. La información general incluida en la carátula es la fecha de producción, turno, producto, longitud, producción total, ancho promedio, longitud promedio, profundidad de canal promedio y porcentaje de muestras que pasaron las pruebas de adherencia de zinc e impacto. En una tabla se presenta la información principal que incluye la temperatura de operación del baño de zinc en grados centígrados y el peso de recubrimiento de zinc en onz/pie² por hora. También se incluyen los resultados de los análisis de concentración en los tanques de desengrase, ácido clorhídrico y ácido crómico, así como el cálculo de tiempos muertos y otras observaciones.

La fuente de la información necesaria para la aplicación de herramientas estadísticas son los reportes diarios de calidad que se describen en los incisos siguientes. Esta información contiene medidas o registros con los cuales puede construirse cada una de las herramientas aplicables al proceso de control de calidad llevado en planta.

3.1.3.1 Promedio de mediciones de temperaturas de operación

La temperatura de operación del baño de zinc se toma cada hora a lo largo de los turnos de trabajo. De esta información se tomará un promedio de temperatura de operación por día para evaluar, en un intervalo de un mes, la relación entre la temperatura del baño de zinc y el recubrimiento de zinc en la lámina, por medio de la construcción de un diagrama de dispersión donde puede visualizarse la relación de una variable con la otra.

3.1.3.2 Promedio de recubrimiento de zinc

Al igual que el reporte de temperaturas de operación del baño de zinc, las mediciones tomadas de recubrimiento de zinc en la lámina cada hora, son de utilidad para realizar un promedio de peso de recubrimiento de zinc por día. Con esto puede hacerse la comparación de los resultados del recubrimiento con el promedio de temperatura de operación del baño de zinc. De esta manera puede construirse un diagrama de dispersión que muestre qué tan dispersas se encuentran las medidas de las dos variables una de la otra y por lo tanto concluir si la temperatura tiene influencia directa en el peso de recubrimiento de zinc.

3.1.3.3 Concentración de los tanques de limpieza y sellado

El reporte de las concentraciones de los tanques de desengrase, ácido clorhídrico y ácido crómico son indicadores de la preparación y terminación de la lámina en el proceso. Con esta información se realiza un promedio diario de concentraciones para evaluar el efecto de las soluciones químicas en la limpieza y sellado de la lámina. Dicho efecto se visualiza en el producto terminado cuando éste presenta manchas por exceso de químico o bajas temperaturas en los tanques.

Debido a que estas medidas se toman únicamente en el día, la evaluación puede hacerse únicamente con los registros de calidad del turno diurno y los resultados de la apariencia de la lámina galvanizada producida en el mismo.

La información que proporciona este registro puede utilizarse como factor influyente en el análisis del diagrama de Pareto o en el diagrama de causa y efecto.

3.1.3.4 Producción diaria

El reporte de la producción diaria de lámina galvanizada por turno incluye el total de láminas producidas (clasificadas según su calidad) por rollo ingresado al proceso. También el total general de láminas producidas por turno y su equivalente en pies lineales dada la medida de longitud producida. Esta información será de utilidad en la construcción de las cartas de control para el estudio del proceso.

Los detalles de la producción, clasificada según su calidad, se presentan en este reporte, por lo que tal información será de utilidad para la construcción de la hoja de verificación aplicada a la inspección visual de la lámina, el diagrama de Pareto aplicado a la incidencia de defectos en el producto y el diagrama de causa y efecto aplicado al análisis individual de los factores que influyen en los defectos que presenta el producto.

3.2 Clasificación de defectos del producto terminado

En el reporte diario de producción se presentan los detalles de los defectos encontrados en el producto terminado, la cantidad de producto no conforme y la calidad a la cual se le rebaja dependiendo del tipo de defecto.

Los defectos en el acabado del producto terminado se clasifican en dos categorías: de materia prima y por proceso.

3.2.1 Defectos de materia prima

Los defectos de materia prima se refieren a aquellos detectados en la lámina desenrollada. Dependiendo de la intensidad del defecto, éstos pueden no llegar a corregirse durante el proceso de galvanización.

Algunos de los defectos de materia prima encontrados comúnmente son los siguientes:

- a. Dobleces en las esquinas: estos se encuentran en las puntas de los rollos, ya sea al principio o al final.
- b. Dobleces en las orillas: se deben al manejo inadecuado de los rollos de materia prima, ya sea en el lugar de origen, durante el embarque y desembarque o dentro de la fábrica.
- c. Golpes y rupturas en las orillas: se deben principalmente al manejo inadecuado del rollo con maquinaria pesada, ya sea, durante el embarque, transporte o almacenaje.
- d. Manchas de óxido: se deben a los agentes ambientales que afectan la lámina durante el tiempo que permanece almacenada como materia prima o durante el transporte desde su origen hasta su destino final; se presentan en la lámina en forma de picadura.
- e. Ondulación en las orillas: la ondulación continua en las orillas es un defecto incorregible en la materia prima que se hace visible al desenrollar la bobina; esto provoca otro tipo de defectos y problemas en el proceso de corte con cizalla.

- f. Oxidación: la oxidación en la lámina se debe a la exposición de ésta al medio ambiente; se presenta en forma de manchas en el producto terminado que la limpieza química no pudo eliminar.

3.2.2 Defectos por proceso

Los defectos por proceso son aquellos provocados dentro de la planta por operaciones inadecuadas en la sección de corte, durante el proceso de galvanización o en la sección de corrugación.

Algunos de los defectos por proceso encontrados comúnmente son los siguientes:

- a. Canales cruzados: se deben a una mala calibración de la corrugadora, que provoca que los canales no se formen en línea recta con respecto a la sección longitudinal de la lámina.
- b. Dobleces en las puntas: estos ocurren durante la inmersión de la lámina en el tanque de flux o de zinc o en los rodillos de los tanques de limpieza.
- c. Lámina blanca y opaca: se debe a períodos de sobrecalentamiento del horno.
- d. Lámina fuera de escuadra: se origina en el corte de materia prima debido a un mal ajuste de los topes de la cizalla.

- e. Lámina ancha o fuera del rango de distancia entre canales: este problema se le atribuye al espesor de la materia prima cuando es más delgado de lo normal, pero el defecto se produce en el proceso de corrugación, cuando la profundidad de los canales se encuentra por debajo de los rangos de especificación.
- f. Láminas traslapadas: son aquellas que se pegan una encima de otra durante el proceso debido a que los operarios ingresan dos láminas pegadas o seguidas a la línea de galvanización.
- g. Manchas de ácido crómico: se producen en la lámina cuando ésta permanece más tiempo en el tanque de ácido crómico debido a un paro en la línea de galvanización; se presentan en color azul.
- h. Manchas blancas de cloruro de amonio: se producen en la lámina durante el baño de zinc cuando los operarios lanzan cloruro de amonio a los rodillos y éste se impregna en la lámina que está ingresando al mismo tiempo.

3.3 Clasificación del producto terminado

La clasificación del producto terminado se basa en la calidad de su presentación. Dependiendo de los defectos que el producto tenga, éste puede rebajarse en el siguiente orden: producto defectuoso, de segunda calidad o de tercera calidad.

3.3.1 Lámina de primera

Se considera un producto de primera calidad a aquella lámina libre de defectos de materia prima y por proceso.

3.3.2 Lámina defectuosa

Se considera producto defectuoso a aquella lámina que presente alguno de los siguientes defectos:

- a. Defectos de materia prima: ondulación en las orillas.
- b. Defectos por proceso: lámina opaca, distancia entre canales fuera de especificación.

3.3.3 Lámina de segunda

Se considera producto de segunda calidad a aquella lámina que presente alguno de los defectos siguientes:

- a. Defectos de materia prima: golpes y rupturas en las orillas.
- b. Defectos por proceso: dobleces pequeños en las esquinas, manchas de flux, manchas blancas de cloruro de amonio, manchas de ácido crómico, láminas traslapadas, residuos de escoria de los tanques de flux y zinc en la superficie, falta de zinc.

3.3.4 Lámina de tercera

Se considera producto de tercera calidad a aquella lámina que presenta alguno de los defectos siguientes:

- a. Defectos de materia prima: rupturas o agujeros grandes en la lámina, dobleces grandes en las esquinas.

- b. Defectos por proceso: exceso de residuos de flux o escoria en la superficie, canales doblados, canales cruzados.

3.4 Ventajas de aplicar herramientas estadísticas para mejorar la calidad de lámina galvanizada

A través de la aplicación de estas herramientas, se pueden visualizar gráficamente variaciones en la calidad del proceso de producción, analizar los resultados de los estudios del proceso para generar acciones correctivas que lo modifiquen y mejoren, así como para llevar mejor control de las variables y atributos de calidad del producto y del proceso.

3.4.1 Variables del producto

Las herramientas estadísticas pueden aplicarse en el control de variables como temperaturas de operación y recubrimiento de zinc, las cuales son determinantes de la calidad de la lámina galvanizada. Una variable de calidad del producto en la cual pueden aplicarse cartas de control es el peso de recubrimiento de zinc. Esta variable puede controlarse como medida individual o promedio, ya que los límites de especificación no cambian en ninguno de los casos. Las medidas pueden tomarse por hora, por turno o por día.

También puede hacerse una relación entre las variables de temperatura y recubrimiento de zinc por medio de un diagrama de dispersión. Con la ayuda de este diagrama puede analizarse la influencia de la temperatura en los resultados de recubrimiento de zinc, dependiendo de la dispersión de los datos en la gráfica. Los resultados de este diagrama pueden generar acciones de mayor control de la temperatura de operación del horno.

3.4.2 Atributos del producto

Cuando se habla de los atributos de la lámina galvanizada, se habla de la apariencia final del producto. Esta debe tener un recubrimiento uniforme, brillo y estar libre de manchas y deformaciones.

Herramientas estadísticas como la hoja de verificación, el diagrama de Pareto y el diagrama de causa y efecto son de gran utilidad para el control de calidad de lámina galvanizada. Con la ayuda de estas herramientas pueden analizarse los factores que intervienen en los resultados finales en la apariencia del producto terminado. Estos factores son materia prima, mano de obra, procedimientos y maquinaria, mismos que pueden tener cierto grado de influencia en la apariencia final del producto.

Para el análisis de defectos del producto terminado puede utilizarse la hoja de verificación, el diagrama de Pareto y el diagrama de causa y efecto. La hoja de verificación puede ser de utilidad para la inspección del producto terminado y registrar la cantidad de defectos presentes en la producción por rollo o proveedor. Por medio de esta hoja puede llevarse el control de la incidencia de defectos en el producto terminado. Los registros de la hoja de verificación pueden tabularse y graficarse en un diagrama de Pareto, con el cual puede visualizarse la cantidad o porcentaje de incidencia de defectos en el producto y de esta manera concentrarse en la corrección de los más importantes o de mayor incidencia. Para encontrar soluciones a los problemas de calidad, es necesario encontrar su origen. Las causas de un problema de calidad pueden estudiarse por medio del diagrama de causa y efecto. En un diagrama de causa y efecto quedan plasmadas todas las posibles causas de un problema de calidad y la relación entre ellas.

Un diagrama de causa y efecto puede ser una herramienta de gran utilidad para encontrar soluciones que ayuden a corregir los problemas más importantes que describe el diagrama de Pareto.

3.4.3 Control del proceso

En el control de calidad del proceso puede evaluarse la fracción defectuosa con respecto a la producción total. Para realizar dicha evaluación pueden utilizarse las cartas de control para atributos. Éstas permiten graficar la fracción defectuosa diaria y si se encuentra o no dentro de los límites de control. Si la fracción defectuosa se encuentra dentro de los límites de control, se espera que las causas de variación en la gráfica se deban a situaciones comunes en el proceso de producción, las cuales son corregibles a largo plazo. Si la fracción defectuosa se encuentra fuera de los límites de control, quiere decir que en el proceso ocurrieron situaciones debidas a causas especiales que influyeron en el incremento de producto defectuoso en la producción del día.

Los resultados que proporcionen las herramientas de calidad pueden ser de utilidad para hacer una regresión a los eventos ocurridos en los días de producción, para encontrar causas comunes o especiales que dan origen a las variaciones de calidad en el proceso. Con esto pueden obtenerse posteriormente soluciones que den lugar a mejor control mediante el mejoramiento e innovación de los procesos.

4. APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA LA CALIDAD DE LÁMINA GALVANIZADA

De acuerdo con el sistema de control de calidad que se lleva en planta, fueron consideradas idóneas las herramientas estadísticas que se tratan en este capítulo, para ser aplicadas en el control de variables y atributos de calidad de lámina galvanizada. Las herramientas a aplicar son la hoja de verificación, el diagrama de Pareto, el diagrama de causa y efecto, el diagrama de dispersión y las cartas de control.

A continuación se describen los procedimientos de aplicación y resultados de cada una de las herramientas estadísticas utilizadas para el control de calidad de la producción de lámina galvanizada. Para esto, se tomó como referencia la producción de noviembre de 2003, con el objetivo de demostrar la utilidad de dichas herramientas y desarrollar propuestas de aplicaciones rutinarias y procedimientos de mejora.

4.1 Tabulación de datos

Los datos obtenidos provienen de los registros de calidad de la producción de noviembre de 2003 con materia prima de proveedor venezolano. Las temperaturas y recubrimiento de zinc promedio son tomados de los reportes diarios de calidad de la producción total con materia prima de distintos proveedores.

4.1.1 Defectos de materia prima

La tabla II contiene los datos tabulados de los registros diarios de calidad. La fuente son los reportes de producción por turno llevados por los inspectores de producto terminado.

Tabla III. **Cantidad de láminas defectuosas por materia prima**

| Defectos de materia prima | Cantidad de láminas defectuosas |
|----------------------------------|--|
| Oxidación | 278 |
| Golpes y rupturas en las orillas | 203 |
| Dobleces en las orillas | 174 |
| Manchas de óxido | 129 |
| Ondulación en las orillas | 20 |
| Lámina angosta | 7 |
| Total | 811 |

4.1.2 Defectos por proceso

La tabla III contiene los datos tabulados de los registros diarios de calidad. La fuente son los reportes de producción por turno llevados por los inspectores de producto terminado.

Tabla IV. **Cantidad de láminas defectuosas por proceso**

| Defectos por proceso | Cantidad de láminas defectuosas |
|---|--|
| Dobleces en las puntas | 963 |
| Lámina ancha | 660 |
| Láminas traslapadas | 300 |
| Manchas de flux | 169 |
| Manchas de cloruro de amonio | 117 |
| Manchas de escoria | 79 |
| Manchas blancas por prueba de galvanización | 57 |
| Últimos canales volteados | 26 |
| Pruebas de corrugación | 20 |
| Manchas de ácido crómico | 6 |
| Canales cruzados | 4 |
| Total | 2,401 |

4.1.3 Temperaturas y recubrimiento de zinc

La tabla IV contiene los promedios tabulados de los registros diarios de calidad de los turnos 1 y 2. La fuente son los reportes de calidad presentados por el departamento de Control de Calidad.

Tabla V. Promedio de temperaturas de operación del baño de zinc y peso del recubrimiento de zinc

| Fecha de producción | Temperatura de rodillos de zinc (°C) | Peso de recubrimiento de zinc (onz/pie²) |
|----------------------------|---|--|
| 03-11-03 | 416 | 0.45 |
| 04-11-03 | 428 | 0.42 |
| 05-11-03 | 429 | 0.49 |
| 06-11-03 | 441 | 0.46 |
| 07-11-03 | 440 | 0.42 |
| 10-11-03 | 410 | 0.44 |
| 11-11-03 | 419 | 0.44 |
| 12-11-03 | 401 | 0.43 |
| 13-11-03 | 371 | 0.42 |
| 14-11-03 | 409 | 0.43 |
| 17-11-03 | 416 | 0.49 |
| 18-11-03 | 434 | 0.49 |
| 19-11-03 | 425 | 0.43 |
| 20-11-03 | 420 | 0.45 |
| 21-11-03 | 415 | 0.42 |
| 24-11-03 | 406 | 0.42 |
| 25-11-03 | 406 | 0.45 |
| 26-11-03 | 416 | 0.48 |
| 27-11-03 | 415 | 0.45 |
| 28-11-03 | 413 | 0.49 |

4.1.4 Producción total y producción defectuosa

La tabla V contiene los datos tabulados de los registros diarios de calidad. La fuente son los reportes de producción por turno llevados por los inspectores de producto terminado.

Tabla VI. **Producción total y defectuosa de lámina galvanizada**

| Fecha de producción | Producción (un) | Producción defectuosa (un) |
|----------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| 03-11-03 | 10,781 | 302 |
| 04-11-03 | 8,416 | 170 |
| 05-11-03 | 5,004 | 741 |
| 12-11-03 | 2,444 | 48 |
| 13-11-03 | 13,554 | 295 |
| 14-11-03 | 10,379 | 281 |
| 17-11-03 | 6,294 | 306 |
| 19-11-03 | 4,786 | 136 |
| 20-11-03 | 9,872 | 121 |
| 21-11-03 | 11,076 | 172 |
| 24-11-03 | 10,616 | 212 |
| 25-11-03 | 9,454 | 160 |
| 26-11-03 | 14,541 | 234 |
| 27-11-03 | 1,317 | 19 |
| 28-11-03 | 8,841 | 188 |
| Total | 127,375 | 3,385 |

4.2 Aplicación de herramientas estadísticas idóneas para mejorar la calidad del producto

4.2.1 Hoja de verificación

Para la aplicación de la hoja de verificación se tomaron los registros diarios por turno de la producción total y los detalles de la producción defectuosa colocados al dorso del reporte de producción. Para elaborar la hoja de verificación debe registrarse la fecha de producción, turno, inspector de calidad, el número de rollo de materia prima, proveedor, producto, defectos de materia prima, defectos por proceso y los totales.

Las hojas de verificación propuestas con registros reales de la producción de noviembre de 2003 son las siguientes:

Figura 3. Hoja de verificación de calidad de producto terminado por turno

| Aceros de Guatemala, S.A. Control de Calidad | | | | | | | | | | | |
|--|-----------|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| HOJA DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO Planta de galvanización de lámina | | | | | | | | | | | |
| Fecha: <u>03/11/03</u> Turno: <u>1</u> | | | | | | | | | | | |
| No. de rollo | Proveedor | Producto / Longitud | Láminas defectuosas (mp) | Láminas defectuosas (mp) | Láminas defectuosas (mp) | Láminas defectuosas (mp) | Láminas defectuosas (p) | Láminas defectuosas (p) | Láminas defectuosas (p) | Láminas defectuosas (p) | Defectos |
| A-4070 | Venezuela | 28 mm / 7' | /// | 0 | 0 | 0 | //// // | //// | 0 | 0 | doblecés en las orillas; doblecés en las esquinas, traslapadas. |
| A-4058 | Venezuela | 28 mm / 7' | //// // | 0 | 0 | 0 | //// // | //// / | /// | 0 | doblecés en las orillas; doblecés en las puntas, traslapadas, mancha de amonio, |
| A-4063 | Venezuela | 28 mm / 7' | / | 0 | 0 | 0 | //// // | //// | 0 | 0 | doblecés en las orillas; doblecés en las puntas, traslapadas. |
| A-4071 | Venezuela | 28 mm / 7' | //// // | 0 | 0 | 0 | //// // | //// / | 0 | 0 | doblecés en las orillas; doblecés en las puntas, traslapadas. |
| A-4051 | Venezuela | 28 mm / 7' | //// | /// | //// // | 0 | /// | //// / | /// | /// | doblecés en las orillas, mancha de óxido, doblecés en las esquinas, traslapadas, mancha de flux, mancha de amonio, oreja volteada. |
| A-4069 | Venezuela | 28 mm / 7' | / | 0 | 0 | 0 | /// | / | /// | 0 | rupturas en las orillas; doblecés en las esquinas, mancha de flux, oreja volteada. |
| A-4059 | Venezuela | 28 mm / 7' | //// | //// // | 0 | 0 | //// // | //// / | //// // | /// | rupturas en las orillas, mancha de óxido; doblecés en las esquinas, traslapadas, mancha de flux, mancha de amonio. |
| Total | | | 28 | 11 | 17 | 0 | 97 | 33 | 15 | 4 | |
| Total de materia prima | | | | | | 56 | Total de proceso | | | 149 | |
| Observaciones: _____ | | | | | | | | | | | |
| Inspector de calidad: _____ | | | | | | | | | | | |
| _____ | | | | | | | | | | | |
| _____ | | | | | | | | | | | |
| _____ | | | | | | | | | | | |
| _____ | | | | | | | | | | | |
| _____ | | | | | | | | | | | |

En la hoja de verificación anterior se colocaron cuatro columnas para anotar la cantidad de defectos de materia prima (mp), cuatro columnas para anotar la cantidad de defectos por proceso (p) y una columna para describir los defectos registrados, ya que, según el historial de reportes de calidad, por cada rollo se ha registrado un máximo de cuatro defectos por clasificación. Los defectos de materia prima y de proceso se separan por medio de un punto y coma.

Figura 4. Hoja de verificación de calidad de producto terminado por rollo

| Aceros de Guatemala, S.A. Control de Calidad | | |
|--|-----------------------------|------------------------|
| HOJA DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD DE PRODUCTO TERMINADO Planta de galvanización de lámina | | |
| Fecha: | <u>03/11/2003</u> | Turno: <u>1</u> |
| No. de rollo: | <u>A-4059</u> | Producto: <u>28 mm</u> |
| Proveedor: | <u>Venezuela</u> | Longitud: <u>8'</u> |
| Defectos de materia prima | Conteo | Total |
| Dobleces en las orillas | | |
| Golpes y rupturas en las orillas | //// | 4 |
| Manchas de óxido | ///// III | 8 |
| Ondulación en las orillas | | |
| Oxido | | |
| Otros | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| Total de materia prima | | 12 |
| Defectos por proceso | | |
| Canales cruzados | | |
| Dobleces en las puntas | ///// ///// ///// // | 18 |
| Láminas fuera de escuadra | | |
| Láminas traslapadas | ///// / | 6 |
| Manchas de ácido crómico | | |
| Manchas de amoníaco | // | 2 |
| Manchas de escoria | | |
| Manchas de flux | ///// // | 7 |
| Pruebas de corrugación | | |
| Otros | | |
| Últimos canales volteados | / | 1 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| Total de proceso | | 34 |
| Observaciones: | Inspector de calidad: _____ | |
| _____ | | |
| _____ | | |
| _____ | | |

En esta hoja de verificación se lleva el registro de defectos de la producción de cada rollo por hoja. Para llenar la hoja se listan los defectos de mayor incidencia en el producto, según el historial de los reportes de calidad, y existe la opción de registrar otros defectos después del listado oficial.

4.2.2 Diagrama de Pareto

De acuerdo con los pasos y características descritos en el capítulo 1, para elaborar el diagrama de Pareto se tomaron los datos de las tablas II y III para graficar los defectos de la producción en orden de incidencia y una línea que represente los porcentajes acumulados de los mismos, y con esto determinar los problemas que merecen prioridad de atención.

Tabla VII. Frecuencia y porcentaje de defectos de materia prima

| Defecto | Frecuencia | Frecuencia acumulada | Porcentaje (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|----------------------------------|------------|----------------------|----------------|--------------------------|
| Óxido | 297 | 297 | 34.14 | 34.14 |
| Golpes y rupturas en las orillas | 213 | 510 | 24.48 | 58.62 |
| Dobleces en las orillas | 184 | 694 | 21.15 | 79.77 |
| Manchas de óxido | 139 | 833 | 15.98 | 95.75 |
| Otros | 37 | 870 | 4.25 | 100.00 |
| Total | 870 | | 100.00 | |

El renglón otros, en defectos de materia prima, incluye ondulación en las orillas y lámina angosta.

Tabla VIII. **Frecuencia y porcentaje de defectos por proceso**

| Defecto | Frecuencia | Frecuencia acumulada | Porcentaje (%) | Porcentaje acumulado (%) |
|------------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------------------|
| Dobleces en las puntas | 1,048 | 1,048 | 41.67 | 41.67 |
| Lámina ancha | 665 | 1,713 | 26.44 | 68.11 |
| Láminas traslapadas | 306 | 2,019 | 12.17 | 80.28 |
| Manchas de flux | 175 | 2,194 | 6.96 | 87.24 |
| Manchas de cloruro de amonio | 121 | 2,315 | 4.81 | 92.05 |
| Manchas de escoria | 83 | 2,398 | 3.30 | 95.35 |
| Otros | 117 | 2,515 | 4.65 | 100.00 |
| Total | 2,515 | | 100.00 | |

El renglón otros, en defectos por proceso, incluye manchas blancas por prueba de galvanización, último canal volteado, pruebas de corrugación, manchas de ácido crómico y canales cruzados.

A continuación se presentan los diagramas de Pareto elaborados para los defectos de materia prima y los defectos por proceso, que incluye el diagrama de barras de frecuencia y la curva de porcentaje acumulado de incidencia.

Figura 5. Diagrama de Pareto de defectos de materia prima

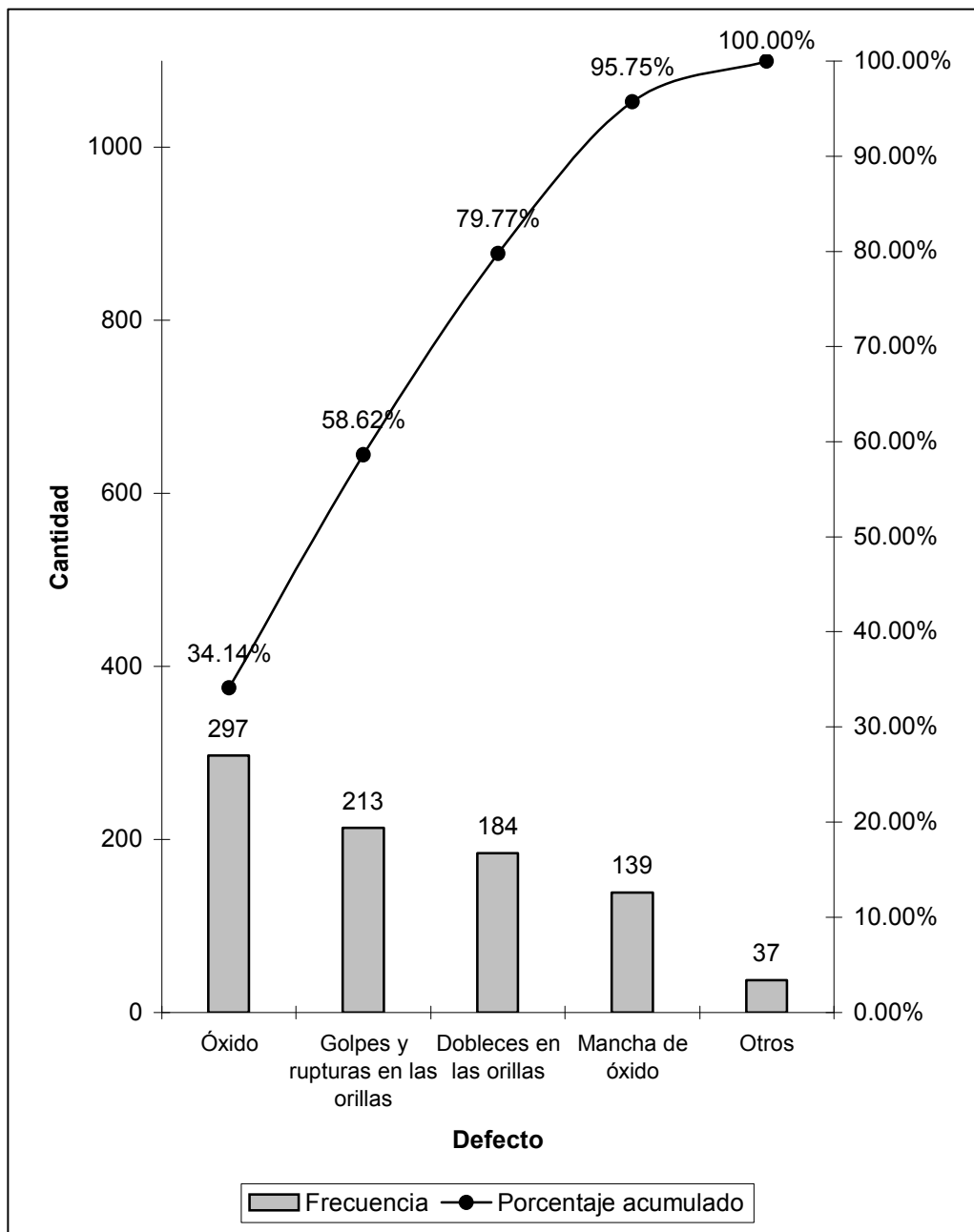
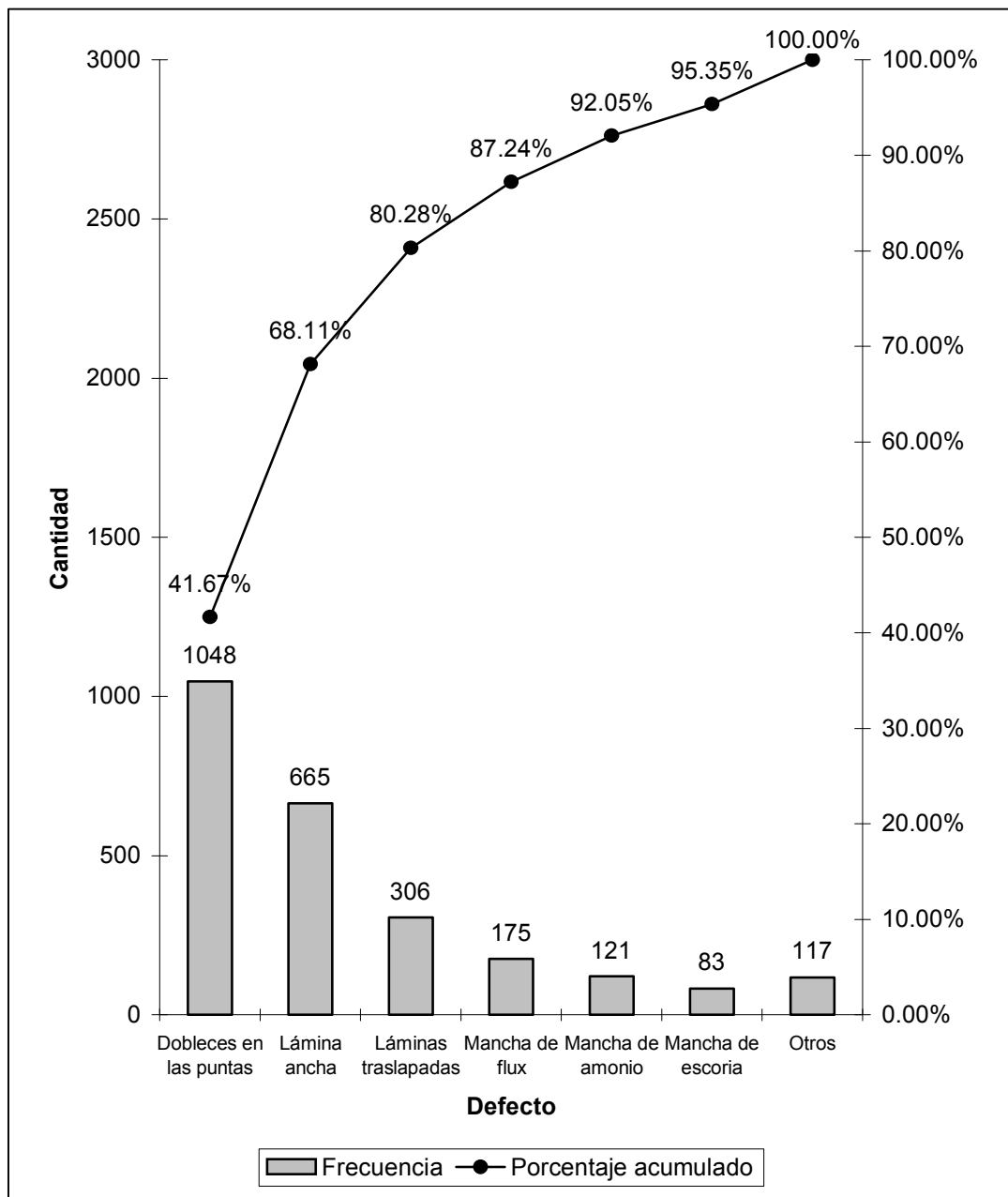


Figura 6. Diagrama de Pareto de defectos por proceso

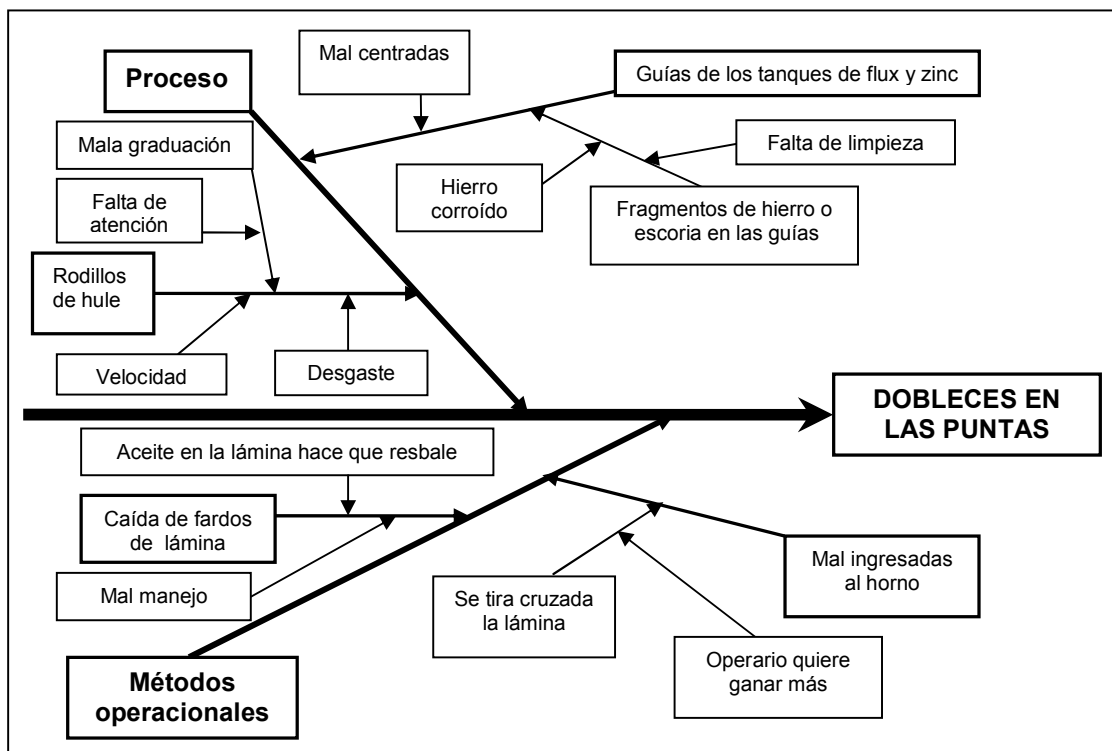


4.2.3 Diagrama de causa y efecto

Para la construcción del diagrama de causa y efecto se utilizó el método de enumeración de causas del defecto de producto terminado de mayor incidencia en el proceso de galvanización, según los resultados del diagrama de Pareto mostrados en la figura 5.

Para encontrar las posibles causas que provocan dobleces en las puntas de la lámina se evaluaron los siguientes factores que intervienen en el proceso: métodos operacionales, mano de obra, maquinaria y equipo.

Figura 7. **Diagrama de causa y efecto de dobleces en las puntas de lámina galvanizada**

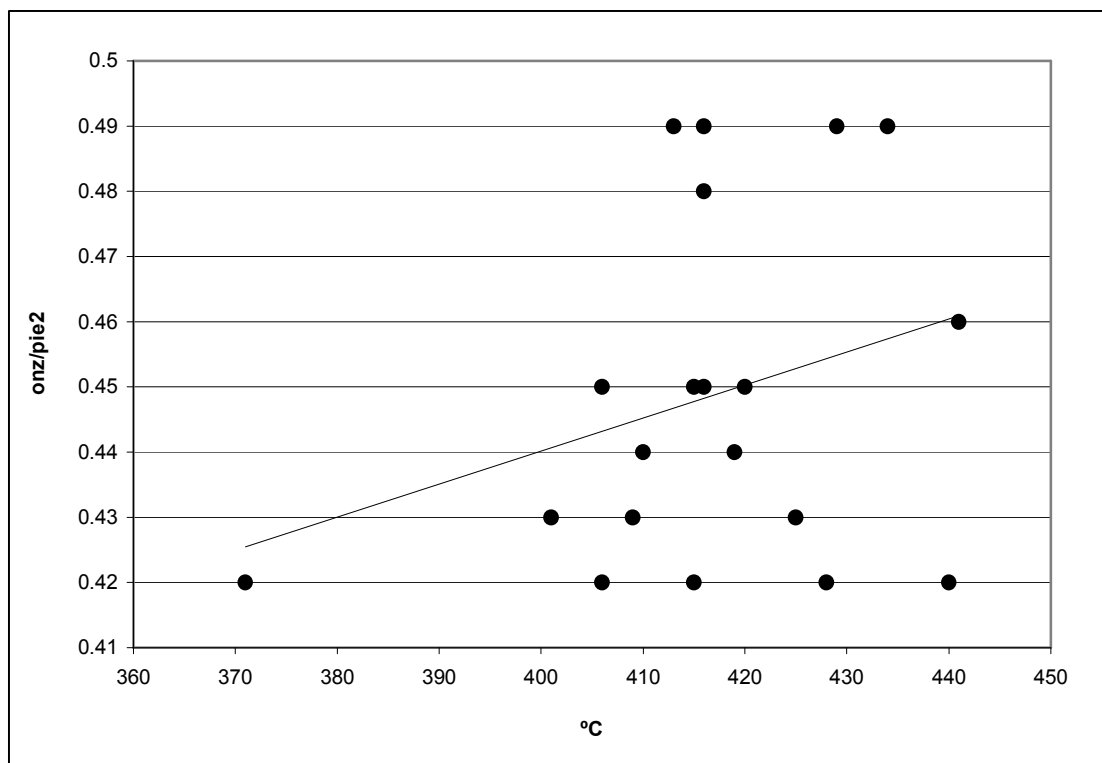


4.2.4 Diagrama de dispersión

De acuerdo con los pasos descritos en el capítulo 1, para la construcción del diagrama de dispersión se tomaron los datos de la tabla IV para el análisis de relación entre la temperatura de operación del baño de zinc y el peso del recubrimiento de zinc.

El objetivo del diagrama es visualizar qué tan dispersos se encuentran los puntos entre sí y determinar si la temperatura del baño de zinc influye directamente en el peso de recubrimiento.

Figura 8. Diagrama de dispersión de datos de temperaturas de operación de baño de zinc y peso de recubrimiento de zinc



El eje horizontal de la gráfica está representado por las temperaturas del baño de zinc y el eje vertical lo representan los pesos de recubrimiento de zinc. Cada punto representa el promedio diario de los datos.

4.2.5 Cartas de control

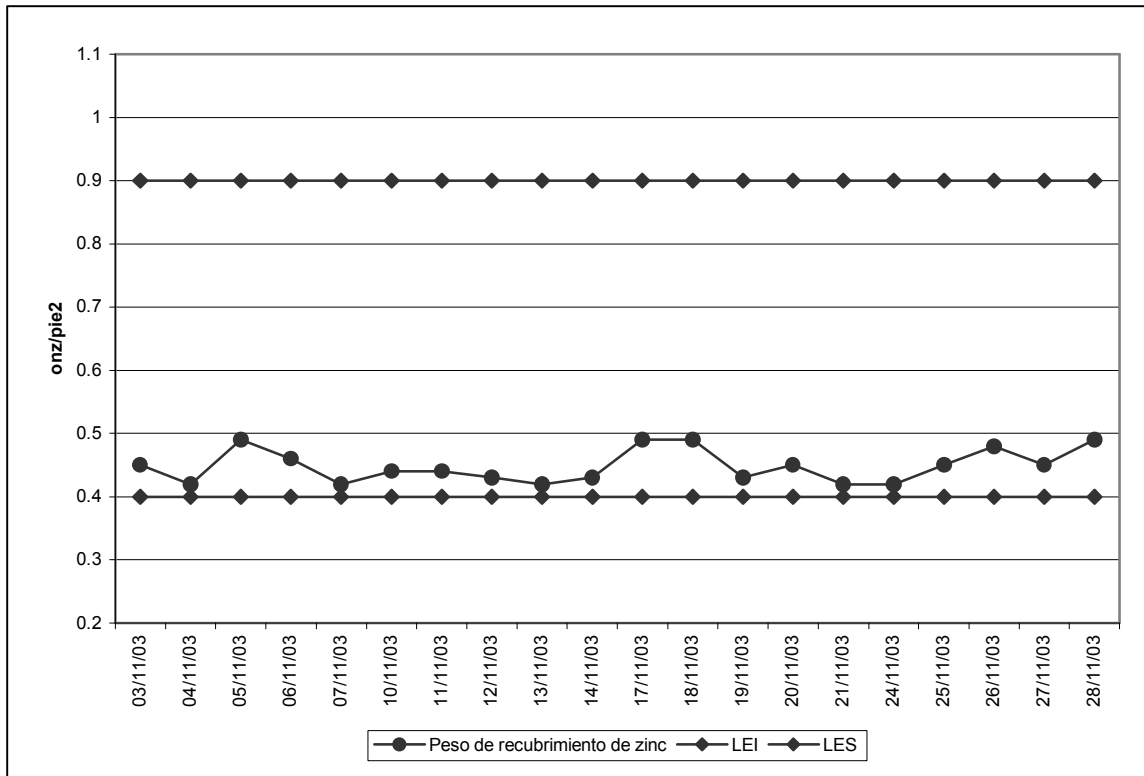
4.2.5.1 Cartas de control para variables

Para la construcción de una carta de control para variables \bar{X} aplicado a la calidad de lámina galvanizada, se tomó la variable de peso de recubrimiento de zinc y los datos de la tabla IV. Los límites de especificación son los establecidos por el departamento de Control de Calidad de Aceros de Guatemala S.A., con base en la norma ASTM A-653.

Tabla IX. Promedio de peso de recubrimiento de zinc y límites de especificación

| Fecha de producción | Peso promedio de recubrimiento de zinc (onz/pie²) | Límite inferior (onz/pie²) | Límite superior (onz/pie²) |
|----------------------------|---|--|--|
| 03-11-03 | 0.45 | 0.40 | 0.90 |
| 04-11-03 | 0.42 | 0.40 | 0.90 |
| 05-11-03 | 0.49 | 0.40 | 0.90 |
| 06-11-03 | 0.46 | 0.40 | 0.90 |
| 07-11-03 | 0.42 | 0.40 | 0.90 |
| 10-11-03 | 0.44 | 0.40 | 0.90 |
| 11-11-03 | 0.44 | 0.40 | 0.90 |
| 12-11-03 | 0.43 | 0.40 | 0.90 |
| 13-11-03 | 0.42 | 0.40 | 0.90 |
| 14-11-03 | 0.43 | 0.40 | 0.90 |
| 17-11-03 | 0.49 | 0.40 | 0.90 |
| 18-11-03 | 0.49 | 0.40 | 0.90 |
| 19-11-03 | 0.43 | 0.40 | 0.90 |
| 20-11-03 | 0.45 | 0.40 | 0.90 |
| 21-11-03 | 0.42 | 0.40 | 0.90 |
| 24-11-03 | 0.42 | 0.40 | 0.90 |
| 25-11-03 | 0.45 | 0.40 | 0.90 |
| 26-11-03 | 0.48 | 0.40 | 0.90 |
| 27-11-03 | 0.45 | 0.40 | 0.90 |
| 28-11-03 | 0.49 | 0.40 | 0.90 |

Figura 9. Carta de control de peso de recubrimiento de zinc



4.2.5.2 Cartas de control para atributos

Para la construcción de la carta de control para atributos aplicado a la calidad de lámina galvanizada se tomaron los datos de la tabla V de la producción total y la producción defectuosa. La carta p se utiliza cuando el tamaño de la muestra es variable, como lo es la producción diaria de lámina galvanizada, por lo que el procedimiento para la construcción de la carta es el siguiente:

Cálculo de la fracción defectuosa diaria y límites de control.

Tabla X. Fracción defectuosa diaria y límites de control

| Fecha de producción | Producción (un) | Producción defectuosa (un) | Fracción defectuosa p | L.C.S | L.C.C. | L.C.I. |
|---------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|
| 03-11-03 | 10,781 | 302 | 0.0280 | 0.0312 | 0.0266 | 0.0219 |
| 04-11-03 | 8,416 | 170 | 0.0202 | 0.0318 | 0.0266 | 0.0213 |
| 05-11-03 | 5,004 | 741 | 0.1481 | 0.0334 | 0.0266 | 0.0198 |
| 12-11-03 | 2,444 | 48 | 0.0196 | 0.0363 | 0.0266 | 0.0168 |
| 13-11-03 | 13,554 | 295 | 0.0218 | 0.0307 | 0.0266 | 0.0224 |
| 14-11-03 | 10,379 | 281 | 0.0271 | 0.0313 | 0.0266 | 0.0218 |
| 17-11-03 | 6,294 | 306 | 0.0486 | 0.0327 | 0.0266 | 0.0205 |
| 19-11-03 | 4,786 | 136 | 0.0284 | 0.0336 | 0.0266 | 0.0196 |
| 20-11-03 | 9,872 | 121 | 0.0123 | 0.0314 | 0.0266 | 0.0217 |
| 21-11-03 | 11,076 | 172 | 0.0155 | 0.0312 | 0.0266 | 0.0220 |
| 24-11-03 | 10,616 | 212 | 0.0200 | 0.0313 | 0.0266 | 0.0219 |
| 25-11-03 | 9,454 | 160 | 0.0169 | 0.0315 | 0.0266 | 0.0216 |
| 26-11-03 | 14,541 | 234 | 0.0161 | 0.0306 | 0.0266 | 0.0226 |
| 27-11-03 | 1,317 | 19 | 0.0144 | 0.0399 | 0.0266 | 0.0133 |
| 28-11-03 | 8,841 | 188 | 0.0213 | 0.0317 | 0.0266 | 0.0214 |
| Total | 127,375 | 3,385 | | | | |

Donde

$$p = \frac{\text{producción defectuosa diaria}}{\text{producción diaria}}$$

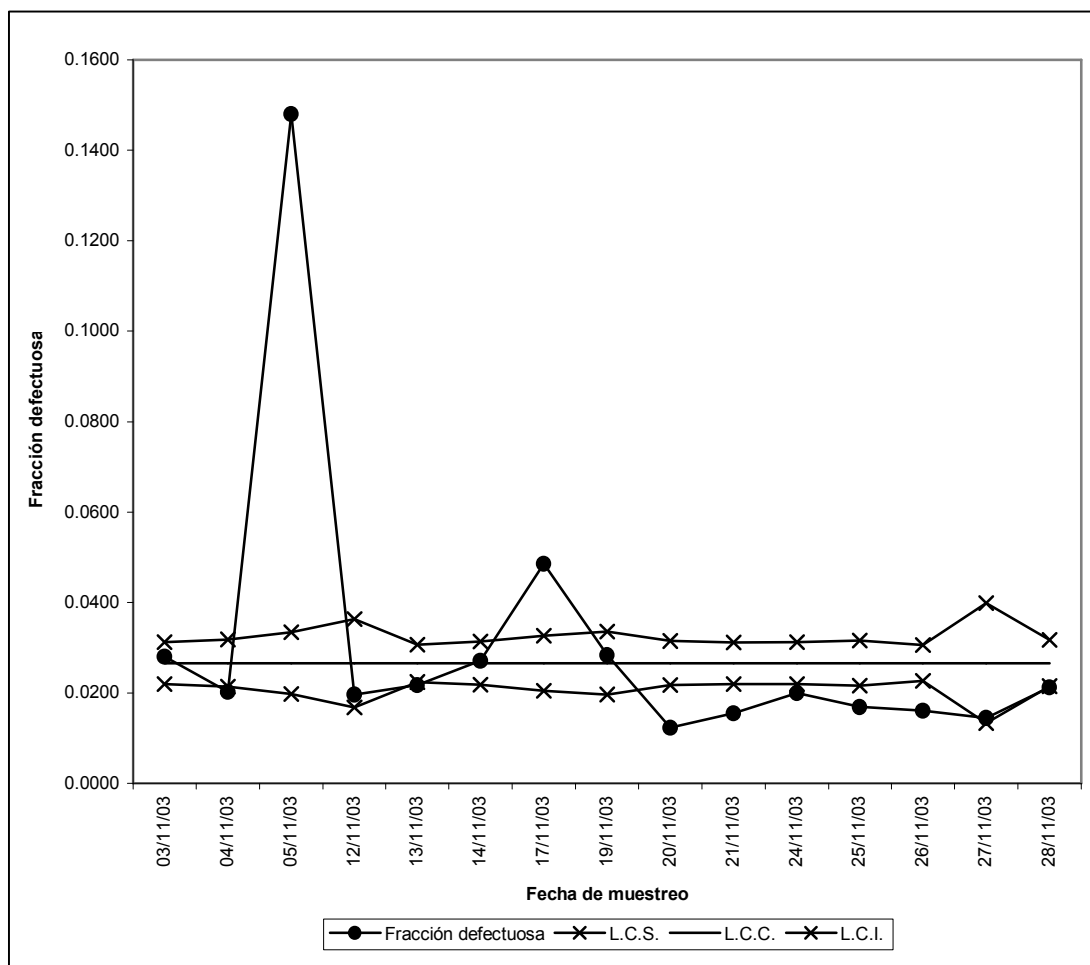
$$\bar{p} = \frac{\text{producción total defectuosa}}{\text{producción total}} = \frac{3,385}{127,375} = 0.0266$$

$$\text{Límite de control superior LCSp} = \bar{p} + \frac{3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad n=\text{producción diaria}$$

$$\text{Línea central LCp} = \bar{p} = 0.0266$$

$$\text{Límite de control inferior } LCI_p = \bar{p} - \frac{3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad n = \text{producción diaria}$$

Figura 10. Carta de control de la fracción defectuosa



4.3 Análisis de resultados

4.3.1 Resultados de la hoja de verificación

Las hojas de verificación de calidad de producto terminado por turno y por rollo resultan de gran utilidad para controlar la calidad de la materia prima. Las hojas propuestas ayudan a facilitar la recolección de los detalles de la producción defectuosa, ya sea por turno o particularmente para cada rollo, de manera que puede organizarse la información, para que pueda ingresarse con facilidad en una base de datos para elaborar los reportes mensuales de calidad del departamento.

La información escrita en las hojas de verificación propuestas facilita la transcripción de los detalles de la producción defectuosa a una hoja de cálculo, en la cual puede resumirse en tablas los datos numéricos con los cuales se trabajan otras herramientas como el diagrama de Pareto y el diagrama de causa y efecto, como se demostró en el inciso 4.2.

Las hojas de verificación propuestas también pueden utilizarse para el control de la materia prima de un proveedor específicamente en determinado período, por ejemplo, cuando se quiere realizar un estudio para presentarlo al proveedor sobre la calidad de su producto. De esta manera puede llevarse un registro particular ordenado de las características de calidad de la materia prima y elaborar un informe que muestre claramente cuáles son los defectos más frecuentes que el proveedor debe corregir.

4.3.2 Resultados del diagrama de Pareto

De los resultados del diagrama de Pareto se resume lo siguiente: del total de defectos de la producción de noviembre de 2003 con materia prima de proveedor venezolano, 26 por ciento corresponde a los defectos de materia prima y 74 por ciento a los defectos por proceso.

El diagrama de Pareto de defectos de materia prima en la figura 5 muestra que los defectos de mayor incidencia en la lámina son el óxido presente en la superficie, golpes y rupturas en las orillas y dobleces en las orillas. Dichos defectos representan 80 por ciento del total de defectos de materia prima, y la intensidad de cada uno, reflejada en el producto terminado, depende de los métodos empleados en el manejo y almacenaje de los rollos durante su desembarque y transporte a la fábrica.

El diagrama de Pareto de defectos por proceso en la figura 6 muestra que los defectos de mayor incidencia en el producto terminado son los dobleces en las puntas, fuera del rango de distancia entre canales y traslape de láminas en el proceso. Dichos defectos representan 80 por ciento del total de defectos por proceso. Según los resultados del diagrama, los dobleces en las puntas de la lámina son el defecto de mayor incidencia en el proceso de galvanización, representando 42 por ciento del total de defectos por proceso y 31 por ciento del total de defectos.

Los tres defectos por proceso mencionados pueden ser analizados individualmente con la ayuda del diagrama de causa y efecto para encontrar las posibles causas que den origen al problema y generar opciones que permitan corregirlos dentro de la fábrica.

Tomando los dobleces en las puntas de la lámina como el defecto con prioridad de atención, la aplicación del diagrama de causa y efecto proporcionó la información necesaria para determinar la principal causa por la cual se da este problema.

4.3.3 Resultados del diagrama de causa y efecto

En la búsqueda de las posibles causas que generan los dobleces en las puntas de la lámina, principal problema de calidad en el producto terminado, fue clasificado el origen de éste en dos categorías: el proceso y los métodos operacionales. A la vez, estas categorías fueron divididas en las subcategorías de “rodillos de hule” y “guías de los tanques de flux y zinc” para el proceso, “caída de los fardos de lámina” y “mal ingreso de la lámina al horno” para los métodos operacionales.

Realizando la investigación de las causas de los dobleces en las puntas de la lámina, se descubrió que este defecto era ocasionado, en gran medida, por los fragmentos de hierro o escoria que topan con la lámina en las guías de los tanques de flux y zinc. La corrosión y desgaste de las guías debido al ambiente en que se encuentran y la falta de limpieza provocan que fragmentos de hierro o incrustaciones de escoria se interpongan en el paso de la lámina a través de las guías y den lugar a que se doblen las puntas de la lámina o a que ésta no llegue a salir de los tanques.

4.3.4 Resultados del diagrama de dispersión

El objetivo de construir un diagrama de dispersión para la temperatura del baño de zinc y el peso de recubrimiento de zinc fue determinar la relación entre las dos variables graficadas en el plano de la figura 8.

Los resultados muestran que los puntos se encuentran bastante dispersos en el plano con respecto a la línea de tendencia central graficada, por lo que puede establecerse, como primera conclusión, el hecho de que en la producción de noviembre de 2003, la temperatura del baño de zinc no tuvo influencia directa en los resultados del recubrimiento de zinc. La gráfica muestra que difícilmente existe una correlación positiva de los puntos, ya que cuando el baño de zinc trabaja a temperaturas de 420°C a 440°C el recorrido de la dispersión de los puntos dentro de este rango es 0.07 onz/pie².

Con estos resultados, puede concluirse que en la producción de noviembre de 2003 hubo otros factores, además de la temperatura del zinc, que influyeron en los resultados del peso del recubrimiento de zinc. El análisis de esta situación puede complementarse con el diagrama de causa y efecto y con el diagrama de Pareto.

4.3.5 Resultados de las cartas de control

4.3.5.1 Carta de control del peso de recubrimiento de zinc

La carta de control del peso de recubrimiento de zinc mostrada en la figura 9 indica que la producción de noviembre de 2003 se encuentra bajo control estadístico con respecto a dicha variable. Siendo el límite inferior 0.40 onz/pie², los promedios de peso de recubrimiento de zinc diarios no bajaron de ese límite durante el mes. Sin embargo, los puntos de la gráfica se encuentran en la zona A cercana al límite inferior de la carta (ver figura 1) lo cual indica que el proceso necesita ser examinado y ajustado para mejorarlo.

Llevar el control de esta variable resulta ser de gran ayuda para el control de calidad del producto terminado, ya que brinda información que puede utilizarse para mejorar los procesos si se examinan las condiciones de trabajo en los días en los que se encuentran los puntos más bajos. De igual forma puede llevarse el control por medio de una carta \bar{X} de otras variables de calidad, como la distancia entre canales y el espesor del producto terminado.

4.3.5.2 Carta de control de la fracción defectuosa de la producción

Los resultados de la carta de control de la producción defectuosa de noviembre de 2003, mostrados en la figura 10, indican que el proceso se encuentra fuera de control. La gráfica muestra dos puntos que reflejan una variación significativa en el proceso que provocó que la fracción defectuosa saliera del límite de control superior. Los puntos fuera de los límites de control superior corresponden a la producción del 5 y 17 de noviembre. Los puntos que se encuentran debajo del límite de control inferior también indican que el proceso se encuentra fuera de control; sin embargo, variaciones en el proceso por causas atribuibles provocan este tipo de comportamiento en fracciones defectuosas menores. Para descubrir las causas que originaron variaciones en el proceso el 5 y 17 de noviembre, se realizó el análisis siguiente.

El punto en la gráfica, correspondiente al 5 de noviembre, muestra la fracción defectuosa (0.1481) que se encuentra muy alejada de los límites de control. Como se describió en el capítulo 1, las variaciones del proceso pueden deberse a causas comunes o causas especiales. Para este caso, fue necesario descubrir la causa que dio lugar a una variación tan grande en el proceso, por lo que se revisaron los reportes de calidad de ese día descubriendo una situación especial.

En el reporte de producción del 5 de noviembre fueron registradas 660 láminas galvanizadas clasificadas como defectuosas por estar fuera del rango de distancia entre canales. Esta situación representa la causa especial que provocó una variación significativa en el proceso, ya que no es frecuente que ocurra una situación de este tipo. Según los reportes de calidad, las 660 láminas defectuosas fueron producidas por mal ajuste de la máquina corrugadora, el cual no pudo corregirse inmediatamente y dio lugar a que resultara gran cantidad de láminas fuera de especificación.

El segundo punto fuera del límite de control superior corresponde a la producción del 17 de noviembre, fecha en la cual hubo mayor incidencia del defecto de dobleces en las puntas de la lámina que en otros días, según el reporte de calidad. Como lo demostró el diagrama de Pareto en la figura 6, el defecto de dobleces en las puntas es el de mayor incidencia en la producción del mes y fue el día 17 la fecha en que tuvo mayor frecuencia con respecto a la producción diaria.

Otros puntos detectados en la gráfica que se encuentran cerca del límite de control superior, corresponden a las producciones del 3, 14 y 19 de noviembre, cuando se registra mayor incidencia del defecto de dobleces en las puntas con respecto a la producción diaria.

La carta de control p describe el comportamiento del proceso productivo durante noviembre de 2003. Es de gran utilidad visualizar la variación del proceso en la gráfica, ya que esta información puede servir para realizar una regresión a los hechos ocurridos en las fechas de producción de mayor variabilidad y descubrir si son el resultado de causas especiales o comunes. La información obtenida en un estudio de este tipo puede ayudar a buscar opciones que modifiquen y mejoren los procesos.

5. RUTA HACIA LA MEJORA CONTINUA

5.1 Modificación de procesos

El estudio y control de los procesos de producción con la ayuda de herramientas estadísticas facilita el análisis de resultados y brinda valiosa información que puede utilizarse en proyectos de modificación y mejora continua.

El capítulo 4 presenta una guía para la aplicación de herramientas estadísticas en el estudio y análisis de los factores que influyen en la calidad de lámina galvanizada. Los resultados obtenidos son la información que debe utilizarse para la modificación de los procesos que mejoren la calidad.

El ejemplo claro de la información que brindan las herramientas es el resultado del análisis de la producción defectuosa, el cual definió los aspectos más relevantes de las variaciones del proceso que deben atenderse y mejorarse para mantener controlada estadísticamente la producción.

5.1.1 Procedimientos

El control estadístico del proceso requiere de la aplicación de herramientas estadísticas para la medición y análisis de variaciones en el mismo. Las herramientas estadísticas se utilizan como parte de los procedimientos de control de calidad, las cuales brindan la información necesaria para la mejora de los procesos.

Los procedimientos de aplicación de herramientas estadísticas descritos en el capítulo 4 para mejorar la calidad de lámina galvanizada comprobaron, según los resultados, que se cuenta con la información necesaria para realizar estudios del proceso para determinar los factores más influyentes en la calidad del producto terminado. Para determinar que el defecto de dobleces en las puntas de la lámina debe ser el primero en corregirse, fue necesario recolectar datos con las hojas de verificación de los defectos de lámina galvanizada para registrar la frecuencia de los mismos y luego tomar esa información, para aplicar el diagrama de Pareto y conocer los problemas con prioridad de atención. El resultado del diagrama de Pareto comprobó que el defecto de dobleces en las puntas de la lámina representa 42 por ciento del total de defectos por proceso, por lo cual merecía prioridad de seguimiento. Con la ayuda del diagrama de causa y efecto pudo determinarse que, partiendo de una lluvia de ideas que fueron reuniendo las posibles causas del problema, los trabones en las guías de los rodillos de los tanques de flux y zinc son la principal causa de los dobleces en las puntas, debido a fragmentos de hierro o escoria que topan con la lámina en el proceso de galvanización.

La carta de control de la fracción defectuosa de la producción mostró variaciones en el proceso que demuestran su estado fuera de control. Siguiendo con el procedimiento de mejora, se realizó un análisis regresivo de los puntos fuera de control, con lo cual se comprobó los resultados del diagrama de Pareto, ya que en los días en donde los puntos se encuentran fuera o muy cerca del límite superior, hubo mayor incidencia del defecto de dobleces en las puntas con respecto a la producción diaria. Por otro lado, este análisis sirvió para detectar la causa especial que produjo un cambio drástico en la gráfica. Este cambio fue producto de un caso poco común, en el cual se registraron 660 láminas galvanizadas defectuosas por incumplir con las especificaciones de distancia entre canales.

Siguiendo el procedimiento anterior de estudio del proceso, puede crearse la ruta hacia la mejora continua dándole seguimiento a cada uno de los problemas que afecten la calidad del producto.

En el análisis de la producción defectuosa de noviembre de 2003 con las hojas de verificación, el diagrama de Pareto, el diagrama de causa y efecto y la carta de control para atributos, el procedimiento de búsqueda de mejora continua se complementa con la modificación de los procesos.

5.1.2 Gráfico corregido de control estadístico del proceso

Tomando el defecto de dobleces en las puntas de lámina como el principal problema de calidad que debe corregirse, se procederá a evaluar el gráfico de control de la fracción defectuosa corregido de los puntos donde hubo mayor incidencia del defecto. En el gráfico corregido también se elimina la producción defectuosa correspondiente al 5 de noviembre.

Tabla XI. Fracción defectuosa corregida y límites de control

| Fecha de producción | Producción (un) | Producción defectuosa (un) | Fracción defectuosa p | L.C.S | L.C.C. | L.C.I. |
|---------------------|-----------------|----------------------------|-------------------------|--------|--------|--------|
| 03-11-03 | 10,781 | 169 | 0.0157 | 0.0216 | 0.0178 | 0.0139 |
| 04-11-03 | 8,416 | 170 | 0.0202 | 0.0221 | 0.0178 | 0.0134 |
| 05-11-03 | 5,004 | 81 | 0.0162 | 0.0234 | 0.0178 | 0.0122 |
| 12-11-03 | 2,444 | 48 | 0.0196 | 0.0258 | 0.0178 | 0.0097 |
| 13-11-03 | 13,554 | 295 | 0.0218 | 0.0212 | 0.0178 | 0.0143 |
| 14-11-03 | 10,379 | 169 | 0.0163 | 0.0216 | 0.0178 | 0.0139 |
| 17-11-03 | 6,294 | 149 | 0.0237 | 0.0227 | 0.0178 | 0.0128 |
| 19-11-03 | 4,786 | 74 | 0.0155 | 0.0235 | 0.0178 | 0.0120 |
| 20-11-03 | 9,872 | 121 | 0.0123 | 0.0217 | 0.0178 | 0.0138 |
| 21-11-03 | 11,076 | 172 | 0.0155 | 0.0215 | 0.0178 | 0.0140 |
| 24-11-03 | 10,616 | 212 | 0.0200 | 0.0216 | 0.0178 | 0.0139 |
| 25-11-03 | 9,454 | 160 | 0.0169 | 0.0218 | 0.0178 | 0.0137 |
| 26-11-03 | 14,541 | 234 | 0.0161 | 0.0210 | 0.0178 | 0.0145 |
| 27-11-03 | 1,317 | 19 | 0.0144 | 0.0287 | 0.0178 | 0.0068 |
| 28-11-03 | 8,841 | 188 | 0.0213 | 0.0220 | 0.0178 | 0.0135 |
| Total | 127,375 | 2,261 | | | | |

Donde

$$p = \frac{\text{producción defectuosa diaria}}{\text{producción diaria}}$$

$$\bar{p} = \frac{\text{producción total defectuosa}}{\text{producción total}} = \frac{2,261}{127,375} = 0.0178$$

$$\text{Límite de control superior } LCSp = \bar{p} + \frac{3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad n = \text{producción diaria}$$

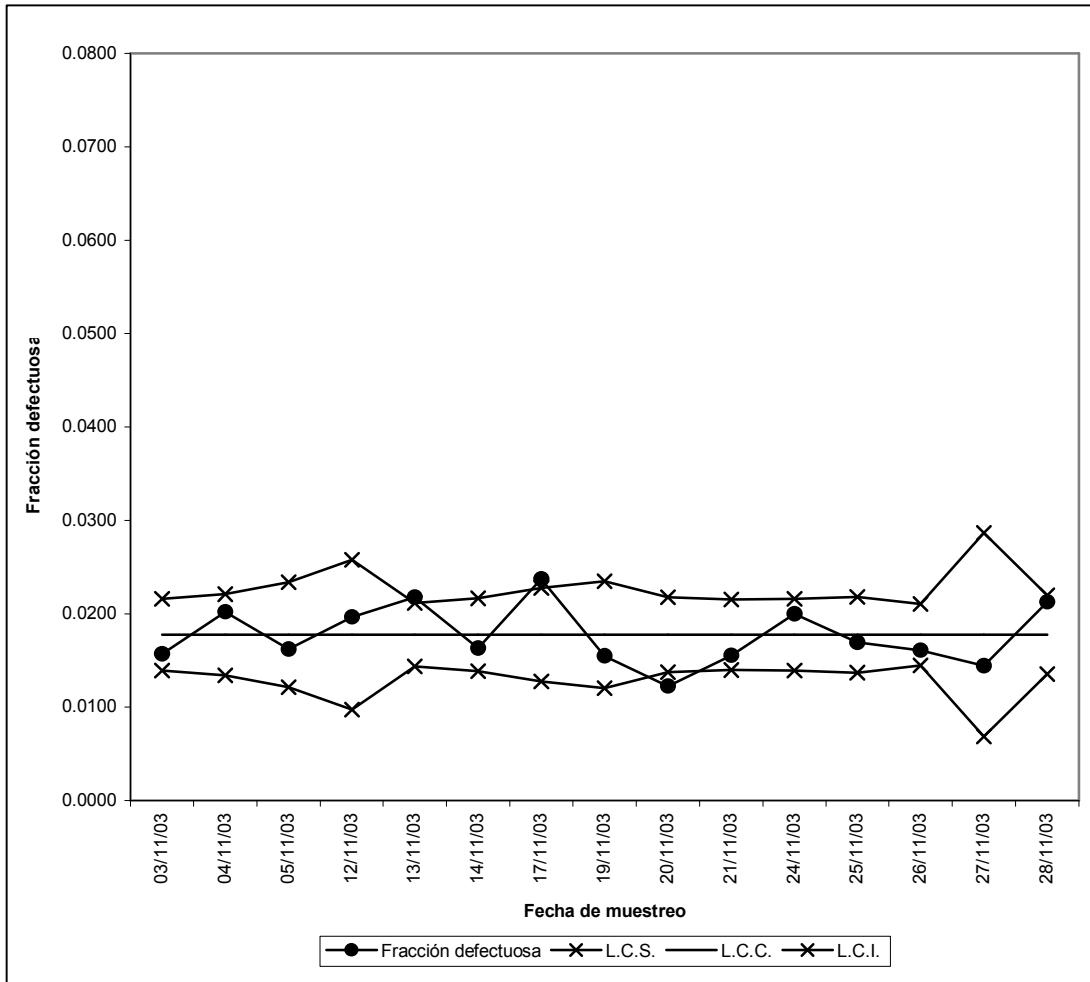
$$\text{Línea central } LCp = \bar{p} = 0.0178$$

$$\text{Límite de control inferior LCI}_p = \bar{p} - \frac{3\sqrt{\bar{p}(1-\bar{p})}}{\sqrt{n}} \quad n=\text{producción diaria}$$

En la tabla X se encuentran los datos corregidos de la fracción defectuosa de los datos originales de la tabla IX, a los cuales les fue restadas el día 3, 133 láminas defectuosas por dobleces en las puntas; el día 4, 660 láminas defectuosas por estar fuera del rango de distancia entre canales; el día 14, 112 láminas defectuosas por dobleces en las puntas; el día 17, 157 láminas defectuosas por dobleces en las puntas; y el día 19, 62 láminas defectuosas por dobleces en las puntas.

El objetivo del análisis es eliminar la fracción defectuosa por una causa especial o por dobleces en las puntas en los días de mayor incidencia, y visualizar el efecto en la carta de control corregida.

Figura 11. Carta de control corregida de la fracción defectuosa



Los resultados del gráfico corregido muestran que, tomando en cuenta la variabilidad de la producción diaria, el proceso puede llegar a encontrarse en control estadístico eliminando causas especiales de variación y disminuyendo la fracción defectuosa debida a dobleces en las puntas de la lámina. También puede observarse que la mayoría de los puntos que se encontraban debajo del límite de control inferior, se encuentran ahora dentro de los límites.

5.2 Evaluaciones periódicas

Luego de conocer los resultados del estudio del proceso de galvanización de lámina presentado en el capítulo 4 y en el inciso 5.1 del capítulo 5, es necesario programar evaluaciones periódicas que formen parte del seguimiento de mejora continua del proceso por medio de la aplicación de las herramientas estadísticas idóneas para mejorar la calidad del producto.

5.2.1 Procedimientos

La planificación de evaluaciones del proceso para mejorar la calidad debe comenzar con la definición del período de producción a evaluar. Según los resultados del estudio del proceso del capítulo 4, es recomendable practicar la evaluación mensualmente, ya que el volumen de producción es grande y es posible determinar en ese período causas especiales y comunes de variación del proceso con respecto a la calidad del producto para su corrección y mejora.

Mensualmente debe prepararse un informe de evaluación del proceso con datos contados, llevando a cabo el procedimiento siguiente:

- a. Definir el estudio de calidad que va a realizarse.
- b. Utilizar la hoja de verificación para registrar la frecuencia de los problemas de calidad diarios.
- c. Definir quiénes serán los encargados de recolectar la información.
- d. Definir el procedimiento de recolección de datos.
- e. Proporcionar el formato de la hoja de verificación.
- f. Tabular los datos obtenidos de la hoja de verificación.
- g. Resumir en total de defectos diarios.
- h. Construir la tabla de frecuencia de defectos de materia prima mensual.

- i. Construir la tabla de frecuencia de defectos por proceso mensual.
- j. Construir la carta de control de la fracción defectuosa con el total de defectos diarios y la producción diaria del mes.
- k. Determinar si el proceso se encuentra dentro o fuera de control estadístico.
- l. Si la gráfica muestra que el proceso se encuentra fuera de control, realizar un análisis regresivo de la producción diaria para encontrar las causas especiales de variación.
- m. Construir el diagrama de Pareto de los datos de las tablas de frecuencia de defectos (materia prima y proceso).
- n. Definir el problema de calidad con prioridad de atención.
- o. Descubrir la principal causa del problema con la construcción del diagrama de causa y efecto.
- p. Verificar si los resultados del diagrama de Pareto concuerdan con el resultado de la carta de control.
- q. Si no concuerdan los resultados, volver a analizar el proceso a partir del siguiente defecto en orden descendente del diagrama de Pareto y/o utilizar el diagrama de causa y efecto.
- r. Redacción de informe de evaluación y resultados.

En el control de las variables que afectan la calidad del producto, también es recomendable la evaluación mensual, siguiendo el procedimiento anterior a partir de la construcción de la carta de control con los datos de los registros diarios de calidad, en donde pueden encontrarse las causas de variación para la construcción del diagrama de Pareto y de causa y efecto.

5.2.2 Actividades de control de calidad

Las actividades de control de calidad para la mejora continua con la ayuda de herramientas estadísticas incluyen las evaluaciones periódicas del proceso, redacción de informe de resultados y presentación a la gerencia.

Las evaluaciones del proceso deben realizarse mensualmente para mantener registros que puedan ser útiles, para realizar estudios de calidad trimestrales, semestrales o anuales utilizando las herramientas estadísticas de tal forma que se abarque un período más largo.

La redacción del informe de evaluación y resultados, es importante para la presentación ordenada del estudio a las personas que toman las decisiones para la modificación de procesos que mejoren la calidad y que se entienda con facilidad el trabajo realizado.

La presentación a la gerencia del informe de evaluación y resultados, debe convocar a las personas involucradas en el proceso y que toman decisiones, para que juntos desarrollen soluciones o propuestas de mejora y tomen las acciones correspondientes de modificación de procesos.

La mejora continua del proceso y la calidad depende del seguimiento que se le dé a cada una de las actividades de control de calidad mencionadas, por lo que, como su nombre lo indica, la práctica de estas actividades debe realizarse continuamente para alcanzar metas que fortalezcan la competitividad de la empresa.

5.3 Guía de selección de herramientas estadísticas

De acuerdo con la investigación realizada en el presente trabajo, la guía siguiente de selección de herramientas estadísticas para mejorar la calidad de lámina galvanizada u otros productos, presenta las herramientas que pueden utilizarse dependiendo de la tarea asignada.

Tabla XII. **Guía de selección de herramientas estadísticas**

| Tarea | Herramientas estadísticas |
|---|--|
| Decidir la prioridad de atención a los problemas de calidad | Hoja de verificación Diagrama de Pareto |
| Describir los problemas de calidad en términos de qué es específicamente, en dónde ocurre, cuándo ocurre y su alcance | Hoja de verificación Diagrama de Pareto |
| Encontrar las posibles causas de un problema | Hoja de verificación Diagrama de causa y efecto |
| Llegar a un acuerdo de las causas básicas y atención del problema | Hoja de verificación Diagrama de Pareto Diagrama de dispersión |
| Determinar el grado de influencia de factores del proceso sobre la calidad del producto terminado | Hoja de verificación Diagrama de dispersión |
| Implementar soluciones y establecer necesidades de procedimientos de monitoreo y gráficas | Diagrama de Pareto Cartas de control |

5.4 Planeación estratégica para mejorar la calidad

La planeación estratégica para mejorar la calidad se fundamenta en lo siguiente:

- a. Un análisis de la realidad del proceso (que ha pasado en él, la situación actual y hacia dónde va).
- b. Conocimiento profundo sobre la teoría de control del proceso y conocimientos sobre la calidad.
- c. Participación plena de todas las personas involucradas en el proceso y que toman decisiones. La responsabilidad de guiar y garantizar el cambio a través de la mejora continua, debe recaer en todos los directivos, no en un departamento o persona.

Un factor influyente que obstaculiza la mejora continua es la resistencia al cambio. La mejora continua implica cambiar permanentemente, por ello se debe partir de bases firmes. A continuación se dan algunos elementos que pueden ayudar a disminuir la resistencia al cambio.

5.4.1 Crear conciencia sobre la necesidad del cambio

Las personas involucradas en el proceso y que toman decisiones, requieren una mentalidad y conciencia sobre la necesidad de iniciar el camino hacia la mejora continua. Para ello, algunos buenos elementos de apoyo consisten en conocer las consecuencias de no hacer nada por cambiar, las ventajas y oportunidades que ofrece la calidad, lo que la empresa está perdiendo por costos de no calidad y por las deficiencias en la administración.

5.4.2 Conocer las estrategias del cambio

Antes de iniciar el cambio se requiere conocer el camino por el que se transitará, que permita visualizar el tipo de obstáculos que se tiene que vencer, las herramientas que serán necesarias para caminar con éxito la ruta hacia la mejora continua.

Por ejemplo, los directivos deben conocer la importancia del trabajo en equipo, de la comunicación y la sencillez, de las herramientas estadísticas como elemento de objetividad, así como de la necesidad de que la calidad sea responsabilidad de todas las áreas de la empresa. Debe considerarse también la importancia de tener clientes satisfechos, de establecer relaciones cliente-proveedor en el interior de la empresa, de la estandarización de procesos y procedimientos, de la innovación y de la solución de fondo de los problemas que obstaculizan la calidad.

5.4.3 Capacitar sobre las herramientas para el cambio

Las herramientas ayudan a percibir la necesidad del cambio, a entenderlo y buscarlo. Por ello, es indispensable que para iniciar el cambio las personas involucradas en el proceso y que toman decisiones conozcan las herramientas estadísticas básicas para el control de calidad. Éstas permiten orientar y evaluar los esfuerzos de mejora, ayudan a descubrir los aspectos vitales, las causas de fondo, introducen la objetividad y el análisis. Una buena aplicación de ellas facilita evaluar si realmente la empresa está caminando hacia el ideal al que se aspira. De esta manera, el conocimiento de las herramientas dará seguridad, y con ello se disminuirá la resistencia y el temor al intentar la mejora continua.

5.4.4 Que todos sean promotores del cambio

La manera de vivir en el cambio permanente y que la gente no tenga temores y recelos, es que ellos mismos promuevan el cambio. Es importante que las personas vayan entendiendo y descubriendo por sí mismas lo que debe cambiarse, los problemas que hay que atacar y las soluciones.

El objetivo de que todas las personas participen en la mejora continua no sólo se debe a que así se puede lograr más, sino, además, a que de esa manera la gente presenta menos temor y resistencia al cambio y logra sentirse más contenta en su trabajo. El mejoramiento continuo implica el cambio para todos. La persona se siente más segura si entiende cuál es el propósito de la mejora continua; si comprende de qué forma su trabajo y su desempeño afectan el funcionamiento de la empresa. Una persona que es partícipe del cambio verá a éste como un reto, no como una imposición.

5.4.5 Tomar las medidas que apoyen el cambio

La mejora continua no se puede dar en una empresa que trabaja por obtener utilidades a corto plazo, que responsabiliza a sus trabajadores por la mala calidad, donde hay luchas entre departamentos, temores y desconfianzas. Por ello, la alta dirección debe tomar las medidas adecuadas que apoyen el alcanzar la mejora continua.

CONCLUSIONES

1. La aplicación de herramientas estadísticas idóneas para el proceso de galvanización de lámina de acero, constituye una base importante para el mejoramiento continuo de la calidad del producto terminado. Las hojas de verificación propuestas, el diagrama de Pareto y el diagrama de causa y efecto pueden utilizarse para el registro y análisis de variables y atributos que afectan la calidad del producto, determinar los problemas de calidad de mayor incidencia e investigar las causas de un problema específico; las cartas de control para variables y atributos pueden utilizarse para la investigación de las causas principales de variación del proceso.
2. El procedimiento de investigación tuvo resultados positivos que comprueban la efectividad del estudio del proceso de galvanización de lámina por medio de las herramientas estadísticas aplicadas. Utilizando las hojas de verificación y el diagrama de Pareto pudo establecerse que el defecto de dobleces en las puntas de la lámina constituye el principal problema de calidad, el cual fue comprobado en el estudio regresivo de los resultados de la carta de control para atributos.
3. El análisis de resultados del presente trabajo describe la efectividad de las herramientas estadísticas al encontrar causas especiales y comunes de variación del proceso, lo cual queda demostrado en la aplicación de la carta de control de la fracción defectuosa, en donde fue descubierta la causa especial que corresponde al punto más alejado de los límites de control, la cual fue un inusual desajuste de operación en el proceso de corrugación.

4. Por medio de la hoja de verificación, el diagrama de Pareto y la carta de control para atributos, fue comprobado que los dobleces en las puntas de la lámina son el principal problema que afecta la calidad del producto, el cual puede disminuir con el mejoramiento del proceso, investigación de materiales y equipo o modificación de los métodos operacionales.
5. La aplicación de herramientas estadísticas brinda información importante que puede utilizarse para modificar y mejorar el proceso de galvanización de lámina, como lo demuestra el diagrama de causa y efecto, en donde las causas del problema pueden ser investigadas para determinar la más influyente, y a partir de esa información, comenzar los procesos de mejora; y el diagrama de dispersión, para determinar los factores más influyentes en el resultado final de recubrimiento de zinc en la lámina.
6. En el resultado final del diagrama de causa y efecto, pudo determinarse que la principal causa que provoca el defecto de dobleces en las puntas de la lámina, es la falta de limpieza de las guías de los rodillos de flux y zinc, y mediante un estudio de la carta de control corregida de la fracción defectuosa con mayor presencia de dicho defecto, al disminuir su frecuencia, es posible trabajar el proceso bajo control estadístico.
7. Los procedimientos que forman parte de la ruta hacia la mejora continua, describen las actividades enfocadas al mejoramiento de la calidad, planificadas estratégicamente para implantar el cambio y disminuir la resistencia, recalcando la importancia de la participación de todo el personal de la organización.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar los procedimientos de aplicación de la hoja de verificación, el diagrama de Pareto y el diagrama de causa y efecto para registrar la cantidad de problemas de calidad del producto, investigar la frecuencia en que inciden, determinar la prioridad de atención de cada uno e investigar acerca de las causas que los originan, siendo esto una guía para el mejoramiento continuo del proceso de galvanización de lámina o de otros procesos.
2. Aplicar las cartas de control para el estudio del proceso y sus variaciones, como se describe en el presente trabajo. Con la ayuda de estas herramientas, estudiar las causas especiales que provocan inestabilidad en el control del proceso de galvanización de lámina, procedentes de la materia prima o del proceso, y así definir los problemas que deben ser atendidos y planificar las actividades que mejoren la calidad a mediano o largo plazo.
3. Redactar informes mensuales de evaluación del proceso de galvanización de lámina, para realizar análisis que abarquen períodos más largos y presentar a la gerencia y al personal operativo los resultados obtenidos para desarrollar en conjunto acciones correctivas que mejoren el proceso.

4. Desarrollar investigaciones acerca de la vida útil y resistencia de materiales, expuestos al ambiente de los tanques de flux y zinc para fabricar las guías, o programar cambios periódicos o mantenimiento preventivo de las mismas, con el fin de disminuir el defecto de dobleces en las puntas de la lámina.
5. Evaluar la relación del peso de recubrimiento de zinc de la lámina con otros factores, como los limpiadores químicos, con la ayuda del diagrama de causa y efecto, el diagrama de Pareto y el diagrama de dispersión, para determinar las variables que más afectan el resultado final.
6. Reunir a directivos y personas involucradas en el proceso de galvanización de lámina para trabajar las herramientas estadísticas como parte del proceso de mejora continua para la solución de problemas.
7. Capacitar al personal involucrado en el proceso de galvanización de lámina sobre las actividades de control de calidad, las herramientas estadísticas y su utilidad para el mejoramiento continuo, complementado con el estudio del impulso de los puntos que tratan sobre planeación estratégica para mejorar la calidad cuando exista resistencia al cambio.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Guía sobre el mejoramiento continuo.** Amanco, S.A. Guatemala. s.e., s.a.
2. Gutiérrez Pulido, Humberto. **Calidad total y productividad.** México: Editorial McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 1997.
3. Gryna M., Frank y J. M. Juran. **Manual de control de calidad, volumen II.** 4ª ed. España: Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España, S.A., 1993.
4. Kume, Hitoshi. **Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la calidad.** Colombia: Grupo editorial Norma, 1997.
5. **Práctica de la galvanización general.** Centro mexicano de información del zinc y plomo, A.C. México. s.e., s.a.
6. **Reportes de calidad.** Departamento de Control de Calidad, Aceros de Guatemala, S.A., s.e., Noviembre, 2003.

APÉNDICE

Tabla XIII. Factores para la construcción de las cartas de control $\bar{X} - R$

| Tamaño de la muestra, n | Carta \bar{X} | Carta R | | Estimación de σ |
|---------------------------|-----------------|-----------|-------|------------------------|
| | A_2 | D_3 | D_4 | d_2 |
| 2 | 1.880 | 0 | 3.267 | 1.128 |
| 3 | 1.023 | 0 | 2.575 | 1.693 |
| 4 | 0.729 | 0 | 2.282 | 2.059 |
| 5 | 0.577 | 0 | 2.115 | 2.326 |
| 6 | 0.483 | 0 | 2.004 | 2.534 |
| 7 | 0.419 | 0.076 | 1.924 | 2.740 |
| 8 | 0.373 | 0.136 | 1.864 | 2.847 |
| 9 | 0.337 | 0.184 | 1.816 | 2.970 |
| 10 | 0.308 | 0.223 | 1.777 | 3.078 |
| 11 | 0.285 | 0.256 | 1.744 | 3.173 |
| 12 | 0.266 | 0.283 | 1.717 | 3.258 |
| 13 | 0.249 | 0.307 | 1.693 | 3.336 |
| 14 | 0.235 | 0.328 | 1.672 | 3.407 |
| 15 | 0.223 | 0.347 | 1.653 | 3.472 |
| 16 | 0.212 | 0.363 | 1.637 | 3.532 |
| 17 | 0.203 | 0.378 | 1.622 | 3.588 |
| 18 | 0.194 | 0.391 | 1.608 | 3.640 |
| 19 | 0.187 | 0.403 | 1.597 | 3.689 |
| 20 | 0.180 | 0.415 | 1.585 | 3.735 |
| 25 | 0.153 | 0.459 | 1.541 | 3.931 |

FUENTE: Gutiérrez Pulido, Humberto, **Calidad Total y Productividad**, pág. 387