

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA SOLUCIONAR  
PROBLEMAS DE CALIDAD EN UNA EMPRESA METALMECANICA**

PABLO ZULUAGA ARCILA

UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

MAESTRÍA EN LOGÍSTICA

COHORTE 1

MEDELLÍN, COLOMBIA

2016

**APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SIX SIGMA PARA SOLUCIONAR  
PROBLEMAS DE CALIDAD EN UNA EMPRESA METALMECANICA**

MAESTRANDO

PABLO ZULUAGA ARCILA

C.C. 98.635.665

ASESOR DE INVESTIGACIÓN

JUAN GUILLERMO CORREA JARAMILLO

UNIVERSIDAD DE MEDELLIN

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS

MAESTRÍA EN LOGÍSTICA

COHORTE 1

MEDELLÍN, COLOMBIA

2016

## CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
INTRODUCCIÓN .....	9
1. FUNDAMENTO TEÓRICO .....	13
1.1 Los Primeros pasos del seis sigma .....	13
1.2 La consolidación de la filosofía .....	14
1.3 Seis sigma en nuestros días .....	15
1.4 Qué es seis sigma? .....	16
1.5 Principios del seis sigma .....	16
1.6 El método Seis sigma .....	18
1.7 Herramientas del seis sigma .....	20
1.8 Capacidad de proceso .....	21
1.9 Aspectos a considerar al implementar seis sigma .....	21
1.10 Proceso de Galvanizado en caliente .....	23
1.10.1 Galvanizado como barrera de protección .....	23
1.10.2 Preparación .....	23
1.10.3 Galvanización .....	24
2. METODOLOGÍA .....	25
2.1 ALCANCE .....	27
3. RESULTADOS .....	28

CONCLUSIONES ..... 60

REFERENCIAS..... 62

**LISTA DE CUADROS**

	Pág.
Cuadro 1. Ponderación del costo .....	29
Cuadro 2. Ponderación del costo .....	29
Cuadro 3. Estimación de la severidad de cada problema en la compañía .....	30
Cuadro 4. Estimación de frecuencia cuantitativa.....	30
Cuadro 5. Estimación de frecuencia cualitativa.....	31
Cuadro 6. Comparativo Severidad Vs Frecuencia .....	31
Cuadro 7. Metodología para medir espesores.....	41
Cuadro 8. Diagrama analítico de galvanizado del producto seleccionado .....	43
Cuadro 9. Diagrama de Análisis Modal de Efectos y Fallas (AMEF).....	54
Cuadro 10. Plan de acción .....	57

**LISTA DE GRÁFICOS**

	Pág.
Gráfico 1. Diagrama de flujo del proceso de galvanización en caliente.....	32
Gráfico 2. Proceso de galvanizado en caliente en la compañía .....	33
Gráfico 3. Operaciones diagrama analítico.....	42
Gráfico 4. Gráfico de control de especificaciones de piezas galvanizadas en caliente .....	48
Gráfico 5. Diagrama de cajas y Bigotes.....	49
Gráfico 6. Diagrama causa – Efecto .....	53
Gráfico 7. Diagrama de Pareto de causas AMEF .....	55

## RESUMEN

En la actualidad muchas compañías enfocan sus esfuerzos en la chequera del cliente generando con esto una cortina de humo al interior de la empresa que hace que se descuiden los costos, se conviva con actividades que no agregan valor y se desconozcan las causas de los principales problemas de calidad que afectan al cliente. Este es el caso de la compañía metalmecánica objeto de esta investigación, la cual venía sobrellevando altos niveles de inventarios, reprocesos, problemas de calidad, falta de corresponsabilidad del personal, y otras situaciones que la estaban dejando vulnerable ante la competencia. Este fue el motivo que inspiró esta investigación en aras de validar una metodología de mejora continua para identificar, analizar, proponer, evaluar y reducir los costos de no calidad y sus implicaciones, de una forma ordenada, rigurosa y disciplinada. Posterior a la implementación del plan de acción los resultados no se hicieron esperar y la compañía mejoró su servicio al cliente sin incurrir en excesos de inventario, al igual que disminuyó sus sobrecostos de producción, los cuales eran generados en gran medida por problemas de calidad. Pero lo más significativo es que asimiló que esta metodología es un proceso continuo que no puede parar y que todo el personal de la empresa debe estar implicado.

**Palabras clave:** Six Sigma, mejora continua, generación de valor, procesos de galvanizado en caliente, control de proceso.

## ABSTRACT

Today many companies focus their efforts on the checkbook customer generating this a smokescreen into the company that makes the costs being neglected, he lives with activities that do not add value and causes major problems are unknown quality affecting customer. This is the case of the metalworking company under investigation, which had been coping with high levels of inventory, rework, quality problems, lack of responsibility of staff, and other situations that were left vulnerable to competition. This was the reason that inspired this research in order to validate a continuous improvement methodology to identify, analyze, propose, evaluate and reduce non-quality costs and their implications, in an orderly, rigorous and disciplined manner. After the implementation of the action plan results they were immediate and the company improved its customer service without incurring excess inventory, as decreased its cost overruns production, which were generated largely by quality problems. But most significant is that assimilated this methodology is an ongoing process that can not stop and that all staff of the company must be involved.

**Key words:** Six Sigma, continuous improvement, value, hot dip galvanizing processes, process control.

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas que afrontan las compañías manufactureras es la calidad de sus procesos y productos, representados en entregar artículos, buenos a la primera, cumpliendo con las especificaciones que han sido determinadas por normas, por el cliente o por un estándar establecido por la empresa misma. Este es sin duda un gran dolor de cabeza para toda la compañía, no solo para los miembros del equipo de manufactura, es en general para todos los miembros de la compañía, ya que afecta la función de logística de entrada y salida, finanzas, costos, mantenimiento, entre otros procesos.

Se estima que una compañía puede perder mucho dinero si no controla sus problemas de calidad, pero peor aún, si no los detecta a tiempo, ya que estos se suelen camuflar y mimetizar en el ambiente debido al inadecuado manejo de los inventarios. A pesar de que los inventarios son en todo momento una carga para las empresas, porque se incurre en muchos costos para sostenerlo, las compañías han optado por mantenerlos con el fin de garantizar un adecuado nivel de servicio a sus clientes, esto representado en una disponibilidad inmediata al momento de solicitarlos. Pero esto no es más que un grave sofisma de distracción, ya que con esto se están colocando unas gafas de cuero que no les permite identificar los problemas de calidad a tiempo y es solamente en momentos donde se fracturan los inventarios que se entra a revisar que fue lo que pasó. Este si es un tema bastante peligroso, porque en nuestras compañías se suele hacer crisis cuando un pedido no está listo para despacho y es allí, cuando afectamos al cliente, donde

se rompen las vestiduras con el ánimo de buscar culpables.... Siendo el verdadero culpable la falta de calidad.

La consecuencia de quiebre de inventarios para cumplimiento de un pedido por lo regular se puede presentar por dos causas: la primera cuando simplemente nos falla el inventario de producto de stock o la segunda, en caso de ser un pedido especial para un cliente, cuando fallan los controles de planificación y de calidad que se han establecido. Pero ambas conducen a lo mismo.... Fallas en la calidad de los procesos, personas o productos. Y es allí donde aparecen amigos como Murphy para ayudarnos a empeorar las cosas.

En la industria la calidad final que se obtiene en un proceso depende de muchos factores: calidad de las materias primas, experiencia de los operarios, estado de las máquinas y herramientas, adecuado manejo de materiales, almacenamiento propicio, etc. Algunos de estos parámetros se conocen de forma exacta, a esto le podemos llamar “variables asignables”, mientras que otros se sabe que siguen una tendencia a los que podemos llamar “variables aleatorias”. En general, estos factores hacen que el proceso sea vulnerable y en cualquier momento se pueda presentar una falla. Pero es precisamente en estos procesos donde la gran mayoría de las empresas medianas y pequeñas no tienen una adecuada metodología de trabajo, la cual comienza internamente por la definición de los procesos, la selección de proveedores, el establecimiento de puntos de control a lo largo de toda la cadena productiva desde la entrada de la materia prima hasta la entrega del producto final cliente (llamadas normas de proceso y normas de inspección y ensayo), y en la parte externa la alineación y colaboración de los proveedores.

Toda metodología de trabajo para identificar, explotar y solucionar problemas debe estar soportada en herramientas gestionables que demuestren con su implementación un avance efectivo; tal es el caso de las herramientas Lean (esbelto) que buscan eliminar o reducir la grasa que se encuentra en los procesos de una compañía y que impide que se cumpla adecuadamente las actividades, trayendo como consecuencia pérdida de dinero e insatisfacción en los clientes.

Conociendo el contexto de las compañías manufactureras y mirando los resultados generados por los problemas de calidad antes mencionados, el enfoque de este artículo de grado es en la aplicación de herramientas Lean para solucionar problemas de calidad en una compañía Metalmecánica, buscando con esto alcanzar objetivos como los de identificar los problemas más representativos de la empresa y cuantificarlos en valores para conocer la magnitud de lo que se puede mejorar; también se pretende analizar, mediante herramientas estadísticas y de lean, el impacto de los problemas con el ánimo de ejecutar planes de acción que conlleven a solucionarlos o por lo menos atenuarlos; y como objetivo final, está el de establecer una metodología de trabajo, que por sus excelentes resultados, pueda ser replicable en otras compañías manufactureras y de servicio como guía para solucionar o moderar sus problemas de calidad.

Es por lo anterior que al final de esta investigación el lector podrá darse cuenta que el análisis del problema juega un papel fundamental en el planteamiento de las herramientas de tratamiento y posteriormente en el establecimiento de las tareas para mitigarlo, porque a lo largo del ejercicio se utilizará la estadística como herramienta de análisis para que nos proporcione una idea de la variabilidad de los productos a través de los procesos; parte fundamental para que

después de aplicar el plan de acción se valide de igual manera la disminución o erradicación de dicha variabilidad.

## 1. FUNDAMENTO TEÓRICO

La filosofía Seis Sigma es una estrategia de mejora continua que busca identificar las causas de los errores, defectos y retrasos en los diferentes procesos del negocio, enfocándose en los aspectos que son críticos para el cliente (Gutiérrez & R., 2004). La filosofía Seis Sigma está basada en métodos estadísticos rigurosos que emplean herramientas de calidad y análisis matemáticos, ya sea para diseñar productos y procesos o para mejorar los ya existentes. Esta filosofía requiere que se optimicen las salidas del proceso mediante un enfoque en las entradas y procesos involucrados. Pero antes de hablar detalladamente que es la filosofía seis sigma, miremos sus orígenes.

### 1.1 Los Primeros pasos del seis sigma

La filosofía surge en los años '80 como una estrategia de negocios y de mejoramiento de la calidad. Da sus primeros pasos en Motorola cuando el ingeniero Mikel Harry comienza a influenciar a la organización para que estudie la variación en los procesos como una manera de mejorar los mismos. Estas variaciones son lo que estadísticamente se conoce como desviación estándar. Tal iniciativa dio origen a un esfuerzo centrado en mejorar la calidad poniendo como objetivo a alcanzar un nivel de 6 Sigma (representativo de 3,4 dpm). Lawrence Bossidy, CEO de Allied Signal, al tomar conocimiento de ésta nueva metodología la toma para sí implementándola en la corporación, logrando con ello importantes incrementos en la rentabilidad de la misma.

Tras dos años de implantación de la metodología Seis Sigma, Motorola recibió el Premio Nacional de Calidad Malcolm Baldrige (MBNQA). A los diez años de aplicación, Seis Sigma había pasado de ser una metodología de mejora en el área de fabricación, a ser una cultura presente en todos los ámbitos y a todos los niveles de la organización. Entre otros logros espectaculares, cabe destacar que en este periodo, el ahorro acumulado proporcionado por la iniciativa Seis Sigma ascendió a catorce mil millones de dólares USA.

Posteriormente Jack Welch, CEO de General Electric, pone como objetivo transformar a GE en una “organización Seis Sigma”, tomando bajo su firme liderazgo las acciones pertinentes a los efectos de alcanzar el objetivo fijado. (Jeri, 2009)

## **1.2 La consolidación de la filosofía**

A mediados de los años noventa, Jack Welch, entonces CEO de General Electric, impresionado por los resultados de Seis Sigma, decide adoptarla como filosofía de gestión, como cultura empresarial y como metodología operativa en su organización, realizando un despliegue de medios sin precedentes. A finales de los noventa, los analistas de Wall Street, valoraban en cinco mil millones de dólares USA el aumento de beneficio proporcionado por la implantación de Seis Sigma. Actualmente, los indicadores financieros de GE siguen mejorando ejercicio tras ejercicio de manera espectacular.

Paralelamente, la filosofía Seis Sigma se fue implantando en innumerables empresas de todos los sectores y de todos los tamaños, reportando resultados espectaculares en ahorro de costes, crecimiento de ventas, aumento del beneficio, reducción del tiempo de diseño, aumento

de productividad, fidelización de clientes, mejora de procesos logísticos y en general en cualquier proceso en el que se haya implantado (Jeri, 2009).

### **1.3 Seis sigma en nuestros días**

Con el cambio de milenio, la cultura Seis Sigma cruzó de manera decidida el Atlántico, y empezó a calar hondo en las empresas del Viejo Continente, de la mano de las filiales de las grandes multinacionales norteamericanas. Hoy en día, Seis Sigma está considerada como una herramienta de gestión generalmente aceptada en países como Reino Unido, Francia y España, al haber demostrado su validez y su potencial en sectores como automoción, servicios financieros, alta tecnología, manufactura, químico, aeronáutico, tecnologías de la información, software, banca, administraciones públicas, hospitales, todo esto independientemente del tamaño y del volumen de negocio.

Seis Sigma se ha convertido en una contrastada metodología e iniciativa estratégica que las empresas están utilizando para alcanzar elevados beneficios. Empresas como Motorola, General Electric, Honeywell y Polaroid están materializando elevadas ganancias económicas gracias a la implementación de Seis Sigma. Para muchos es como un mito, algún exclusivo sistema de gestión o programa adecuado únicamente para grandes empresas. Entender que es Seis sigma es el primer paso para que un directivo logre acometer su implantación con éxito.

Desde el comienzo de la revolución de la Calidad, el Doctor Deming resaltó la necesidad de la gestión del liderazgo en la transformación de las organizaciones, el enfoque Seis Sigma trata de satisfacer esta necesidad (Jeri, 2009).

## 1.4 Qué es seis sigma?

El termino Seis sigma hace referencia al objetivo de reducir los defectos hasta “casi cero”. Sigma es la letra griega que los estadísticos utilizan para representar la desviación estándar de una población. Sigma, o la desviación estándar, le dice cuanta variabilidad hay en un grupo de elementos (la población). Cuanta más variación haya, mayor será la desviación estándar. Se puede comprar tres camisas con la misma longitud de manga y descubrir posteriormente que ninguna de las tres tiene exactamente la longitud que figura en la etiqueta: dos son más cortas de lo debido y la otra dos centímetros más larga; una desviación estándar considerable. En términos estadísticos, por tanto, el propósito de Seis Sigma es reducir la variación para conseguir desviaciones estándar muy pequeñas, de manera que prácticamente la totalidad de sus productos o servicios cumplan, o excedan, las expectativas de los clientes. La meta de 6 Sigma es llegar a un máximo de 3,4 defectos por millón de eventos u oportunidades (DPMO), entendiéndose como defecto cualquier evento en que un producto o servicio no logra cumplir los requisitos del cliente (Peter S. Pande, 2004).

## 1.5 Principios del seis sigma

Los principios que se enunciarán a continuación son los que rigen la metodología Seis Sigma y sobre los cuales enmarca su enfoque, estos fueron tomados de la lectura de Mauricio León Lefcovich (Lefcovich, 2015).

- Principio 1: enfoque genuino en el cliente. Lo cual implica que el enfoque en el cliente es la prioridad principal.

- Principio 2: dirección basada en datos y hechos. La clave está en el relevamiento sistemático de datos estadísticos, procediendo luego a su análisis e interpretación.

- Principio 3: los procesos están donde está la acción. Concentrar las energías y métodos de análisis en los procesos implica mejorar estos con el fin de aumentar la satisfacción a los clientes internos y externos, con la mayor eficiencia en el uso de los recursos y con la mayor velocidad.

- Principio 4: dirección proactiva. Ser proactivo implica actuar con antelación a los sucesos en lugar de reaccionar ante ellos. Partiendo del conocimiento profundo del sistema y aplicando sobre éste un pensamiento y actitud creativa, se logra mediante el análisis inverso a descubrir que puede salir mal, y en consecuencia adoptar las medidas y acciones preventivas destinadas a evitar la ocurrencia de fallos y errores.

- Principio 5: colaboración sin barreras. Destruir y eliminar las barreras que dan lugar a los silos organizacionales, los cuales impiden el trabajo en equipo de la organización como un todo, haciendo difícil el logro de las mejoras en los procesos y en consecuencia el incremento en los niveles de calidad.

- Principio 6: buscar la perfección y tolerar los fallos. Las empresas no podrán alcanzar el nivel Seis Sigma sin generar nuevas e innovadoras ideas. Para que la gente quiera probar nuevas ideas, conceptos, sistemas y metodologías de trabajo es menester que sepan con total claridad que los posibles fallos han de ser tolerados, de lo contrario nadie se arriesgará a producir ideas destinadas a la mejora de los procesos.

- Principio 7: cambio cultural destinado a implantar el empowerment. En lugar de trabajar los empleados para satisfacer a sus superiores, son estos últimos los que deben apoyar a sus

empleados a los efectos de lograr la mayor satisfacción para los clientes. Es lo que se llama la inversión de la pirámide organizacional. Los directivos deben apoyar y servir de sustento a las acciones emprendidas por los empleados y obreros diariamente. Es menester que los empleados pierdan el miedo a informar de los fallos y errores (lo que se ha dado en llamar “matar al mensajero”), debe generarse una profunda y mutua confianza, tanto a nivel vertical como horizontal (terminar con el nosotros y ellos). No se puede medir e informar sin una plena confianza que tales mediciones e informaciones serán utilizadas con el objetivo de prestar un mejor servicio al cliente de la forma más eficiente, logrando de tal forma una ventaja competitiva sustentable para la empresa.

- Principio 8: motivar e incentivar grupalmente la generación de ideas y su posterior puesta en práctica para mejorar los rendimientos y performance de la organización.

## **1.6 El método Seis sigma**

El método Seis Sigma, es también conocido como DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Implantar y Consolidar), y según el sitio Web [sixsigmaisp.weebly.com](http://sixsigmaisp.weebly.com) consiste en la aplicación, proyecto a proyecto, de un proceso estructurado en cinco fases.

En la fase de definición se identifican los posibles proyectos Seis Sigma, que deben ser evaluados por la dirección para evitar la infrautilización de recursos. Una vez seleccionado el proyecto se prepara su misión y se selecciona el equipo más adecuado para el proyecto, asignándole la prioridad necesaria.

La fase de medición consiste en la caracterización del proceso identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto (o variables del resultado) y los parámetros (variables de entrada) que afectan al funcionamiento del proceso y a las características o variables clave. A partir de esta caracterización se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso.

En la tercera fase, análisis, el equipo analiza los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas pertinentes. De esta forma el equipo confirma los determinantes del proceso, es decir las variables clave de entrada o "pocos vitales" que afectan a las variables de respuesta del proceso.

En la fase de mejora el equipo trata de determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese) para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso.

La última fase, control, consiste en diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que lo conseguido mediante el proyecto Seis Sigma se mantenga una vez que se hayan implantado los cambios. Cuando se han logrado los objetivos y la misión se dé por finalizada, el equipo informa a la dirección y se disuelve (Villarreal, 2013).

## 1.7 Herramientas del seis sigma

Por un lado se tienen las herramientas destinadas a la generación de ideas y organización de la información. Entre ellas se pueden mencionar: la tormenta de ideas, diagrama de afinidad, estructura en árbol, mapa de proceso a primer nivel, diagrama de flujo de proceso y diagramas de causa-efecto (espina de pez).

En cuanto a las herramientas para la obtención de datos se tienen: el muestreo estadístico, VDC (métodos para obtener la voz del cliente), hojas y gráficos de control, análisis del sistema de medida.

Si de herramientas para el análisis del proceso y de los datos se trata, se pueden mencionar entre las más utilizadas: el análisis del flujo del proceso, análisis del valor añadido, diagrama y gráficos, diagrama de Pareto, histogramas, gráfico de tendencias y diagrama de dispersión.

Luego se tienen las herramientas para el análisis estadístico, y las herramientas para la implementación y gestión de los procesos. Entre éstas últimas herramientas se encuentran: los Métodos de Gestión de Proyectos, el Análisis de Problemas Potenciales, el Análisis del Modo de Fallo y sus Efectos (AMEF), Análisis de los grupos afectados, Diagramas de Campo de Fuerzas, Documentación del proceso, Cuadro de Mando Integral e indicadores del proceso (Lefcovich, 2015).

## **1.8 Capacidad de proceso**

Frecuentemente la capacidad de un proceso de fabricación se interpreta como la aptitud para producir consistentemente artículos de acuerdo con especificaciones previamente definidas. También es usual que se interprete como la aptitud del proceso, máquina o persona para cumplir con unos límites de tolerancia establecidos. El análisis de la capacidad de un proceso se realiza para determinar si este es capaz o no de producir artículos cumpliendo especificaciones en un ciento por ciento.

El análisis de capacidad es un proceso de dos etapas que implica:

1. Traer un proceso en un estado de control estadístico para un razonable período de tiempo.
2. Comparar el rendimiento del proceso a largo plazo para los requisitos de gestión o de ingeniería.

El análisis de capacidad de proceso se puede hacer ya sea con datos de atributos o datos con datos de variables si y sólo si el proceso está bajo control estadístico, y ha sido durante un período de tiempo razonable (PYZDEK, 2014).

## **1.9 Aspectos a considerar al implementar seis sigma**

Para iniciar las actividades en un proyecto Seis Sigma se deben de considerar las características siguientes: el proyecto debe ser ligado a las prioridades del negocio y relacionado con algún parámetro importante para el cliente, debe ser entendible y alcanzable para la

organización, contar con el apoyo de la administración y la alta gerencia, y tener un impacto financiero y el establecimiento de la métrica que puedan ser utilizadas para fijar metas al proyecto (Vázquez, 2008).

Específicamente para garantizar viabilidad en un proyecto Seis Sigma se requiere un análisis desde tres puntos de vista: técnico, financiero, y económico. El primero se ocupa del riesgo de imaginar una solución factible; el segundo considera la disponibilidad de recursos financieros necesarios para invertir en el proyecto; y el tercer se ocupa del análisis de costos y beneficios del proyecto.

Por otra parte, la selección del proyecto Seis Sigma también considera tres requerimientos importantes, a saber: enfoque en el cliente, énfasis de la toma de decisión sustentada necesariamente en datos cuantitativos, y evaluación de los potenciales ahorros en dinero que arroje el proyecto (Mast, 2003).

En un proceso industrial interactúan materiales, maquinas, mano de obra, mediciones, medio ambiente y métodos; estos elementos influyen en la variabilidad y calidad de la salida de un proceso, esta variabilidad se traduce en operaciones y productos fuera de especificación; por ello, es importante controlar estas variables. El alcanzar una calidad Seis Sigma significa que la variabilidad del proceso está controlada (Gutiérrez & R., 2004).

## **1.10 Proceso de Galvanizado en caliente**

### **1.10.1 Galvanizado como barrera de protección.**

En el proceso de galvanización se forma una barrera que aísla todas las superficies internas y externas del acero del medio ambiente. Erróneamente, el término galvanizado es utilizado para describir los recubrimientos de zinc en general. La esperanza de vida de un recubrimiento de zinc se relaciona directamente con su grosor: los recubrimientos más gruesos tienen una vida útil más larga. La galvanización por inmersión en caliente ofrece a los productos de hierro o de acero la máxima protección a través de un vínculo entre los intermetálicos del zinc y el acero, dando como resultado una capa más gruesa, sólida y resistente (LATIZA).

### **1.10.2 Preparación.**

La galvanización se produce solo en una superficie limpiada con químicos. Por lo tanto, la mayor parte del trabajo se hace con ese objetivo en mente. Al igual que en la mayoría de los procesos de revestimiento, el secreto para obtener un buen resultado se encuentra en la preparación de la superficie. Es esencial que se encuentre libre de grasa, suciedad y acumulación antes de la galvanización. Estos tipos de contaminación se eliminan a través de una variedad de procesos. La práctica común es quitar la grasa mediante una solución de desengrase alcalina o ácida, en la que el material será sumergido. La pieza se lava en agua fría y por inmersión en ácido clorhídrico a temperatura de ambiente (decapado) para eliminar la oxidación y incrustación de maquinado. Los residuos de soldadura, pintura y grasa pesada no se quitan en esta etapa de limpieza y deben ser removidos antes de que el material sea enviado a la galvanización. Después del paso del enjuague, las piezas deben sumergirse en una solución del compuesto con un flujo

comúnmente de 30% de cloruro de amonio y zinc, de 65°C a 80°C. En la etapa de flujo se eliminaran los últimos rastros de oxido de la superficie para permitir una mejor interacción entre el zinc fundido y el acero (LATIZA).

### **1.10.3 Galvanización**

Cuando una pieza de acero limpia se sumerge en zinc fundido (que suele ser a 450o C), una serie de capas intermetálicas se forma por una reacción metalúrgica entre el hierro y el zinc. La velocidad de reacción entre el acero y el zinc es generalmente parabólica en el tiempo y, por lo tanto, la velocidad inicial de reacción es muy rápida y se puede observar una considerable agitación en el banco de zinc. El grosor principal de la capa se forma durante este periodo. Posteriormente, la reacción se hace más lenta y el espesor del recubrimiento no se incrementa significativamente, aunque la pieza se quede en el tanque durante un periodo de tiempo más largo. La duración típica de la inmersión es de unos cuatro o cinco minutos, pero puede ser más larga para las piezas pesadas que tienen alta inercia térmica o cuando el zinc penetra los espacios interiores. En la extracción de la pieza del banco de galvanización, se forma una capa compuesta prácticamente de zinc puro debido a la fricción del banco. Después del enfriamiento, podemos ver el aspecto brillante asociado con los productos galvanizados. El tratamiento pos galvanizado puede incluir el enfriamiento en agua o aire. Las condiciones en la planta de galvanizado como la temperatura, humedad y calidad del aire no afectan la calidad del recubrimiento galvanizado aunque sí son extremadamente importantes para la calidad de la pintura (LATIZA).

## 2. METODOLOGÍA

El desarrollo de esta investigación comenzó con la documentación de los problemas más representativos de la compañía metalmecánica y para lograr este objetivo se realizó una reunión interdisciplinaria con todos los principales implicados en los problemas de calidad de la empresa, su énfasis fue determinar los problemas de calidad más costosos para la misma, en la reunión se logró estratificar los problemas ponderando las veces que se repite (frecuencia) y la afectación que tiene (severidad), el cruce de estas dos variables permitió determinar el impacto de cada problema, para luego priorizar la concentración de los esfuerzos y proceder a atacarlo.

Una vez definido lo anterior se inició con el levantamiento de la información del problema seleccionado, que en nuestro caso de estudio fue la variabilidad del proceso de galvanizado en caliente reflejada en el sobreespesor de las piezas procesadas. En esta parte el aspecto más importante para logro de los objetivos fue la observación del proceso, muchos de los planes de acción y la gran mayoría de las conclusiones y recomendaciones surgieron de observar muy bien los procesos, esto sin dejar de lado que para observar bien tocó documentarse bien. En general la metodología de observación no fue una actividad sencilla, ya que en la mayoría de los casos me fui encontrando con personas que se intimidaban al ver que estaban siendo medidas o simplemente observadas. En el desarrollo de esta investigación nos encontramos con personas que preguntaban todo el tiempo el objeto de la observación y se intrigaban con los datos que se estaban levantando y registrando en los gráficos de control (los cuales se utilizaron para definir la variabilidad del proceso). Superando este impase y siendo rigurosos con la metodología, la

información recopilada fue tratada estadísticamente para inferir las posibles causas asignables que estaban generando el problema objeto del estudio; en esta parte de la investigación caso me apoye en herramientas de análisis de datos como el software R, en los análisis de capacidad del proceso, en los diagramas de cajas y bigotes y en la determinación de los datos estadísticos principales (Media, mediana, desviación, varianza, rango, entre otros). Una vez constatada la variación del proceso, se realizó el análisis de las causas con herramientas contundentes como el diagrama de Ishikawa, el cual fue construido con la colaboración de los trabajadores que intervienen en el proceso y para esto se utilizó la técnica de la entrevista.

Mediante la entrevista a los colaboradores también se logró acceder al análisis profundo de las causas, por medio de la construcción de la matriz de efectos y fallas (AMEF), determinando el número de probabilidad del riesgo de cada causa y de esta manera procediendo con el tratamiento de la misma de acuerdo al nivel de prioridad resultante. Esta parte final quedó plasmada en la investigación en el plan de acción que se propuso para tener un proceso controlado y la cual posteriormente se ejecutó dando resultados altamente satisfactorios.

Un estudio con alto nivel de detalle no es posible de desarrollar adecuadamente sin la participación y colaboración de los empleados, jefes y directores de la compañía ya que por medio de entrevistas y gracias a la participación de ellos fue que se logró realizar el diagnóstico donde se llegó al problema principal y por medio de ellos se ejecutó el plan de acción luego de la divulgación de los resultados evidenciados en la investigación.

## 2.1 ALCANCE

Una empresa de transformación metalmecánica tiene tantas oportunidades de mejora como tantos procesos tenga, pero para el objeto de este estudio se determinó que el autor se iba a enfocar en el problema principal de la compañía.

Variabilidad en el proceso de galvanizado en caliente expresada en el sobreespesor de los productos. Si bien es cierto que existen otros problemas significativos que también pueden ser objeto de estudio, el seleccionado representa el 55% de los sobrecostos de producción, expresados en términos de dinero.

En lo referente al contenido de la investigación, el alcance va desde el diagnóstico de los problemas de calidad más representativos de la compañía metalmecánica hasta la ejecución del plan de acción y posterior evaluación de resultados.

### 3. RESULTADOS

Al momento de plantearle a la compañía metalmecánica, en la que se iba a ejecutar el trabajo de campo, la importancia que tenía escoger el problema más representativo para sus costos internos y sobre todo para sus clientes, se encontró el primer obstáculo, ya que ésta no tenía claro cual era el problema que más estaba aquejando a la compañía, por lo que se decidió realizar una reunión interdisciplinaria con los responsables de los procesos de manufactura, ventas, logística, costos, calidad y mantenimiento. Los resultados de la reunión fueron satisfactorios, porque a falta de un problema, se tenían cinco (5); por lo que se optó por realizar una priorización de los problemas de acuerdo a dos variables que afectaban tanto a la empresa como al cliente. Las dos variables fueron la severidad, representada como el impacto que tiene el problema en los costos de la compañía y en la satisfacción del cliente y la frecuencia expresada como las veces que se repite el problema en un período de tiempo.

Los problemas encontrados en la reunión fueron los siguientes:

- 1- Sobreepesor de la capa de pintura electrostática en las piezas pintadas.
- 2- Sobreepesor de las piezas galvanizadas en caliente.
- 3- Diferencia en la longitud de los productos rollformados.
- 4- Diferencia en la longitud de los productos cortados en la sierra circular.
- 5- Problemas con las piezas cortadas en el tren de corte y troquelado.

Para definir el impacto se realizó un cuadro donde se representó cada problema, su costo mensual y su afectación al cliente, estimada por el número de quejas y reclamos que se habían recibido en el último año; los resultados fueron los siguientes:

La ponderación del costo fue expresada en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Ponderación del costo

<b>COSTO MENSUAL</b>	
<b>Alto</b>	> 5000 dólares
<b>Medio</b>	Entre 1000 dólares y 5000 dólares
<b>Bajo</b>	< 1000 dólares

Fuente: el autor

La ponderación de la satisfacción del cliente fue expresada e el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Ponderación del costo

<b>QUEJAS Y RECLAMOS</b>	
<b>ALTO</b>	> 12 quejas o reclamos año
<b>MEDIO</b>	Entre 6 y 12 quejas o reclamos año
<b>BAJO</b>	< 6 quejas o reclamos año

Fuente: el autor

Y la correlación de las dos variables está expresada en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Estimación de la severidad de cada problema en la compañía

<b>PROBLEMA</b>	<b>COSTO MENSUAL</b>	<b>QUEJAS Y RECLAMOS</b>	<b>CORRELACIÓN DE SEVERIDAD</b>
Sobreespesor de pintura	Alto	Medio	Medio
Sobreespesor de galvanizado	Alto	Alto	Alto
Longitud productos rollformados	Bajo	Medio	Bajo
Longitud productos cortados sierra circular	Bajo	Bajo	Bajo
Problemas piezas cortadas y troqueladas	Alto	Bajo	Medio

Fuente: El autor

Para definir la frecuencia se tomaron los datos de porcentajes de cumplimiento de especificaciones de las variables de espesor y longitud en los productos más representativos y los resultados en términos cuantitativos y cualitativos fueron los siguientes:

Cuadro 4. Estimación de frecuencia cuantitativa

<b>FRECUENCIA</b>	
<b>ALTO</b>	> 3% unidades defectuosas
<b>MEDIO</b>	Entre 1% y 3% unidades defectuosas
<b>BAJO</b>	< 1% unidades defectuosas

Fuente: El autor

Cuadro 5. Estimación de frecuencia cualitativa

<b>PROBLEMA</b>	<b>FRECUENCIA</b>
Sobreespesor de pintura	Alto
Sobreespesor de galvanizado	Alto
Longitud productos rollformados	medio
Longitud productos cortados sierra circular	Bajo
Problemas piezas cortadas y troqueladas	Alto

Fuente: El autor

Para establecer cual era el problema que más estaba impactando la compañía, se compararon los cuadros de estimación de severidad (Resultado de la correlación) y de estimación de frecuencia cualitativa, los resultados se expresaron en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Comparativo Severidad Vs Frecuencia

<b>PROBLEMA</b>	<b>CORRELACIÓN DE SEVERIDAD</b>	<b>FRECUENCIA</b>
Sobreespesor de pintura	Medio	Alto
Sobreespesor de galvanizado	Alto	Alto
Longitud productos rollformados	Bajo	medio
Longitud productos cortados sierra circular	Bajo	Bajo
Problemas piezas cortadas y troqueladas	Medio	Alto

Fuente: El autor

La conclusión de la reunión fue completamente evidente y se determinó que el objeto de la investigación sería el sobreespesor de zinc del proceso de galvanizado en caliente. También se

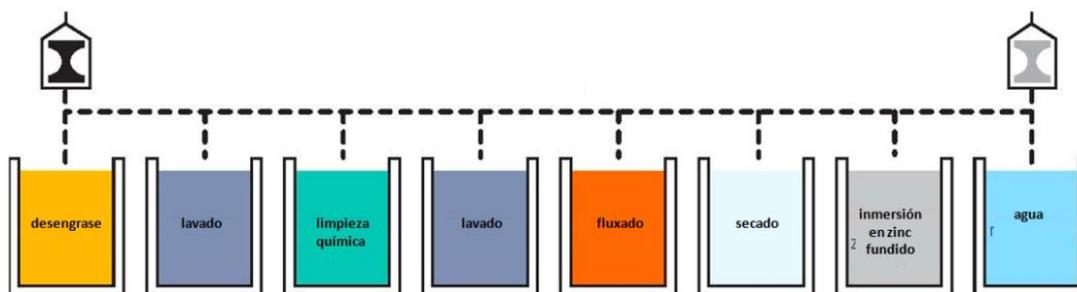
definió que el estudio se realizara con el producto más representativo y que más sobrecostos le generaba al proceso.

Una vez definido el objeto de la investigación, es importante aclarar como es el proceso y el control que se le realizan a todas las variables que en el intervienen, ya que no tenerlos dentro de control, puede significar una causa asignable que sesga inmediatamente el estudio.

El galvanizado por inmersión en caliente es un recubrimiento sobre el acero unido metalúrgicamente aplicado mediante la inmersión de las piezas y estructuras en un baño de zinc fundido a 450°C. Su principal aplicación es la protección contra la corrosión del hierro y acero (Recubrimientos).

Los recubrimientos galvanizados no solamente proporcionan una excelente protección frente a la corrosión a las piezas de acero, sino que también aportan mayor resistencia a la abrasión, rozaduras y ralladuras que se producen durante el transporte y montaje de los materiales, con lo cual, normalmente, éstas ganan en resistencia y robustez (Recubrimientos).

Gráfico 1. Diagrama de flujo del proceso de galvanización en caliente



Fuente: Asociación Latinoamericana de Zinc - Latiza

Grafico 2. Proceso de galvanizado en caliente en la compañía



Fuente: El autor

### **Control de los tranques de tratamiento:**

El control de tanques se realiza en toda compañía que posee el proceso de galvanizado en caliente y con esta actividad lo que se pretende es darle confiabilidad al proceso y evitar la variabilidad de cada inmersión, representada en el espesor y en la calidad de la pieza galvanizada.

**NOTA:** el nombre de los insumos que se utilizan, el porcentaje de concentración y según el caso, los rangos son datos exclusivos de la empresa y por ende no se pueden revelar en éste trabajo.

### **DESENGRASE ÁCIDO**

Variables a controlar:

- **PH**
- **Rango de acidez:** un mínimo de 1,5 hasta un máximo 2,2.
- **Periodicidad de validación:** diario.
- **Responsable:** operario de ácidos.
- **Acciones:** si  $> 2.2$ : recargar; Si  $<$  a la medición anterior sin haber recargado: revisar posible contaminación con ácido.

- **Grasa superficial**

- El tanque de desengrase deberá en todo momento estar libre de aceites y grasas. Al momento que se evidencien grasas o aceites, quiere decir que el PH está elevado o el desengrasante se contaminó con ácido clorhídrico.

- **Periodicidad de validación:** diario a primera hora.

- **Tipo de inspección:** visual.

- **Responsable:** operario.

- **Acciones:** en caso de presentar grasas en la superficie, removerlas de manera manual.

## **DECAPADO**

Variables a controlar:

- **Acidez libre**

- Rango: mayor 40 gr/L en periodo de uso.

- Periodicidad de validación: semanal.

- Responsable: operario.

- Acciones: cuando sea necesario cambiar el ácido, usar otro tanque para pelar el material mientras se hace el cambio.

- **Contenido de hierro (Fe)**
  - **Rango:** menor a 120 Gr/litro.
  - **Periodicidad de validación:** semanal.
  - **Responsable:** operario.
  
- **Grasa superficial**
  - El tanque de decapado deberá en todo momento estar libre de aceites y grasas.
  - **Periodicidad de validación:** diario a primera hora.
  - **Tipo de inspección:** visual.
  - **Responsable:** operario.
  - **Acciones:** en caso de presentar grasas en la superficie, removerlas de manera manual.

## **FUNDENTE**

Variables a controlar:

- **Densidad**
  - **Rango:** un mínimo de 16 a un máximo de 28 grados Be.
  - **Periodicidad de validación:** diario.
  - **Herramienta de medición:** densímetro.

- **Responsable:** operario.
  
- **Acciones:** si  $< 16$  °Be: Recargar con fundente hasta llevar a especificaciones.
  
- **Contenido de hierro**
  
- **Rango:** inferior a 1 Gr/litro.
  
- **Periodicidad de validación:** semanal.
  
- **Responsable:** operario.
  
- **Grasa superficial**
  
- El tanque de fundente deberá en todo momento estar libre de aceites y grasas.
  
- **Periodicidad de validación:** diario a primera hora.
  
- **Tipo de inspección:** visual.
  
- **Responsable:** operario.
  
- **Acciones:** en caso de presentar grasas en la superficie, removerlas de manera manual.

## **ENJUAGUE**

Variables a controlar:

- **Grasa superficial**
  
- el tanque de enjuague deberá en todo momento estar libre de aceites y grasas.

- **Periodicidad de validación:** diario a primera hora.
- **Tipo de inspección:** visual.
- **Responsable:** operario.
- **Acciones:** en caso de presentar grasas en la superficie, removerlas de manera manual.

### **CÁMARA DE SECADO**

Variables a controlar:

- **Temperatura**

- **Rango:** mínimo 90 a un máximo de 100 grados centígrados.
- **Periodicidad de validación:** cada 8 horas.
- **Responsable:** operario líder.
- **Acciones:** en caso de que la cámara de secado se salga del rango de temperatura ideal,

se deberá ajustar hasta llevar a especificaciones.

### **CUBA DE ZINC**

Variables a controlar:

- **Temperatura**

- **Rango:** mínimo 440 grados centígrados para los calibres más delgados y un máximo de 460 grados centígrados para referencias de mayor espesor.

- **Periodicidad de validación:** cada hora.
  - **Instrumento de medición:** tablero de control.
  - **Responsable:** operario líder.
  - **Acciones:** en caso de salirse del rango, ajustar temperatura hasta llevar a especificaciones.
- **Cenizas**
    - Asegurar ausencia de cenizas en la cuba.
    - **Periodicidad de validación:** en cada inmersión en la cuba.
    - **Herramienta:** pala de barrido.
    - **Responsables:** horneros.
    - **Acciones:** barrer la ceniza que hay en la superficie de la cuba antes de la inmersión y extracción.

Luego de garantizar el control de todos los tanques, lo que viene es la actividad de medición de espesores, que no deja de ser la valoración del resultado del control de tanques y sus variables y de los tiempos de inmersión de las piezas en cada uno de ellos.

La medición de espesores es el resultado final y lo que se haga con estos datos son acciones completamente forenses ya que como dato final te da un cumplimiento o no de las especificaciones. Las especificaciones proporcionan requisitos en relación con la cantidad de

revestimiento aplicado a la parte de acero durante el proceso de galvanizado en caliente. La cantidad de revestimiento puede especificarse por el espesor o peso por área de superficie. Las especificaciones incluyen tablas que proporcionan requisitos específicos para espesor y peso por área de superficie según el tipo de la parte de acero y el espesor de acero medido.

## Metodología para medir espesores

Cuadro 7. Metodología para medir espesores

OBJETIVO																																																							
Establecer una metodología clara de inspección para las familias de productos en el recubrimiento galvanizado de acuerdo con las normas ASTM A123 Y A153.																																																							
RESPONSABLE																																																							
Operario encargado de control de calidad, supervisor, Analista aseguramiento de calidad																																																							
ALCANCE																																																							
Estos métodos aplican para las familias de productos galvanizados por inmersión y centrifugados.																																																							
ACTIVIDAD	RESPONSABLE	DESCRIPCIÓN																																																					
<pre> graph TD     A([Inicio 1]) --&gt; B[Norma ASTM A123]     B --&gt; C([Fin 1])           </pre>	Operario responsable de control calidad/Supervisor, Analista aseguramiento de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">ASTM A 123/A 123 M-12</th> </tr> <tr> <td colspan="6">TABLA 1. Esta especificación cubre los requisitos para el recubrimiento de zinc (galvanizado) por el proceso de inmersión en caliente en productos de hierro y acero a partir de rolado y prensado, formas forjadas, piezas de fundición, chapas, barras, y tiras.</td> </tr> <tr> <th rowspan="2">CATEGORIA DEL MATERIAL</th> <th colspan="5">RANGO DEL GROSOR DEL ACERO, PULGADAS (mm)</th> </tr> <tr> <th>Menor que 1/16 (1,6 mm)</th> <th>1/16 a 1/8 (1,6 a 3,2 mm)</th> <th>1/8 a 3/16 (3,2 a 4,8 mm)</th> <th>Mayor 3/16 a 1/4 (4,8 a 6,4 mm)</th> <th>Mayor o igual a 1/4 (6,4mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Formas estructurales y chapas</td> <td>45µm</td> <td>65 µm</td> <td>75 µm</td> <td>85 µm</td> <td>100 µm</td> </tr> <tr> <td>Tiras y barras</td> <td>45 µm</td> <td>65 µm</td> <td>75 µm</td> <td>85 µm</td> <td>100 µm</td> </tr> <tr> <td>Tubería y tubos</td> <td>45 µm</td> <td>45 µm</td> <td>75 µm</td> <td>75 µm</td> <td>75 µm</td> </tr> <tr> <td>Alambre</td> <td>35 µm</td> <td>50 µm</td> <td>60 µm</td> <td>65 µm</td> <td>80 µm</td> </tr> <tr> <td>Varilla refuerzo</td> <td>-----</td> <td>-----</td> <td>-----</td> <td>-----</td> <td>100 µm</td> </tr> </tbody> </table>	ASTM A 123/A 123 M-12						TABLA 1. Esta especificación cubre los requisitos para el recubrimiento de zinc (galvanizado) por el proceso de inmersión en caliente en productos de hierro y acero a partir de rolado y prensado, formas forjadas, piezas de fundición, chapas, barras, y tiras.						CATEGORIA DEL MATERIAL	RANGO DEL GROSOR DEL ACERO, PULGADAS (mm)					Menor que 1/16 (1,6 mm)	1/16 a 1/8 (1,6 a 3,2 mm)	1/8 a 3/16 (3,2 a 4,8 mm)	Mayor 3/16 a 1/4 (4,8 a 6,4 mm)	Mayor o igual a 1/4 (6,4mm)	Formas estructurales y chapas	45µm	65 µm	75 µm	85 µm	100 µm	Tiras y barras	45 µm	65 µm	75 µm	85 µm	100 µm	Tubería y tubos	45 µm	45 µm	75 µm	75 µm	75 µm	Alambre	35 µm	50 µm	60 µm	65 µm	80 µm	Varilla refuerzo	-----	-----	-----	-----	100 µm
ASTM A 123/A 123 M-12																																																							
TABLA 1. Esta especificación cubre los requisitos para el recubrimiento de zinc (galvanizado) por el proceso de inmersión en caliente en productos de hierro y acero a partir de rolado y prensado, formas forjadas, piezas de fundición, chapas, barras, y tiras.																																																							
CATEGORIA DEL MATERIAL	RANGO DEL GROSOR DEL ACERO, PULGADAS (mm)																																																						
	Menor que 1/16 (1,6 mm)	1/16 a 1/8 (1,6 a 3,2 mm)	1/8 a 3/16 (3,2 a 4,8 mm)	Mayor 3/16 a 1/4 (4,8 a 6,4 mm)	Mayor o igual a 1/4 (6,4mm)																																																		
Formas estructurales y chapas	45µm	65 µm	75 µm	85 µm	100 µm																																																		
Tiras y barras	45 µm	65 µm	75 µm	85 µm	100 µm																																																		
Tubería y tubos	45 µm	45 µm	75 µm	75 µm	75 µm																																																		
Alambre	35 µm	50 µm	60 µm	65 µm	80 µm																																																		
Varilla refuerzo	-----	-----	-----	-----	100 µm																																																		
<pre> graph TD     A([Inicio 2]) --&gt; B[Norma ASTM A153]     B --&gt; C([Fin 2])           </pre>	Operario responsable de control calidad/Supervisor, Analista aseguramiento de calidad	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">ASTM A153/A 153M-09</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">CLASE DE MATERIAL</th> <th colspan="2">ESPESOR DE RECUBRIMIENTOS EN MICRAS</th> </tr> <tr> <th>PROMEDIO DE MUESTRAS INSPECCIONADAS</th> <th>CUALQUIER MUESTRA INDIVIDUAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Clase A. Fundiciones</td> <td>86</td> <td>79</td> </tr> <tr> <td>Clase B. Artículos rolados, prensados y forjados :</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B-1. Espesores por encima de 4,76 mm y con longitud mayor a 381 mm.</td> <td>86</td> <td>79</td> </tr> <tr> <td>B-2. Espesores menores a 4,76 mm y con longitud mayor a 381 mm.</td> <td>66</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>B-3. Cualquier espesor y longitud menor de 381 mm.</td> <td>56</td> <td>48</td> </tr> <tr> <td>Clase C. Elementos de fijación (Tuercas, tornillos...) por encima de 3/8" (9,52 mm) de diámetro y artículos similares. Arandelas entre 3/16" y 1/4" (4,76 mm y 6,35 mm) en espesor.</td> <td>53</td> <td>43</td> </tr> <tr> <td>Clase D. Elementos de fijación menores que 3/8" (9,52 mm), remaches, clavos y artículos similares. Arandelas por debajo de 3/16" (4,76 mm) en espesor.</td> <td>43</td> <td>36</td> </tr> </tbody> </table>	ASTM A153/A 153M-09			CLASE DE MATERIAL	ESPESOR DE RECUBRIMIENTOS EN MICRAS		PROMEDIO DE MUESTRAS INSPECCIONADAS	CUALQUIER MUESTRA INDIVIDUAL	Clase A. Fundiciones	86	79	Clase B. Artículos rolados, prensados y forjados :			B-1. Espesores por encima de 4,76 mm y con longitud mayor a 381 mm.	86	79	B-2. Espesores menores a 4,76 mm y con longitud mayor a 381 mm.	66	53	B-3. Cualquier espesor y longitud menor de 381 mm.	56	48	Clase C. Elementos de fijación (Tuercas, tornillos...) por encima de 3/8" (9,52 mm) de diámetro y artículos similares. Arandelas entre 3/16" y 1/4" (4,76 mm y 6,35 mm) en espesor.	53	43	Clase D. Elementos de fijación menores que 3/8" (9,52 mm), remaches, clavos y artículos similares. Arandelas por debajo de 3/16" (4,76 mm) en espesor.	43	36																								
ASTM A153/A 153M-09																																																							
CLASE DE MATERIAL	ESPESOR DE RECUBRIMIENTOS EN MICRAS																																																						
	PROMEDIO DE MUESTRAS INSPECCIONADAS	CUALQUIER MUESTRA INDIVIDUAL																																																					
Clase A. Fundiciones	86	79																																																					
Clase B. Artículos rolados, prensados y forjados :																																																							
B-1. Espesores por encima de 4,76 mm y con longitud mayor a 381 mm.	86	79																																																					
B-2. Espesores menores a 4,76 mm y con longitud mayor a 381 mm.	66	53																																																					
B-3. Cualquier espesor y longitud menor de 381 mm.	56	48																																																					
Clase C. Elementos de fijación (Tuercas, tornillos...) por encima de 3/8" (9,52 mm) de diámetro y artículos similares. Arandelas entre 3/16" y 1/4" (4,76 mm y 6,35 mm) en espesor.	53	43																																																					
Clase D. Elementos de fijación menores que 3/8" (9,52 mm), remaches, clavos y artículos similares. Arandelas por debajo de 3/16" (4,76 mm) en espesor.	43	36																																																					
CONDICIONES GENERALES:																																																							
Tener presente los espesores de la laminas y familias de productos para seleccionar espesor de recubrimiento en micras.																																																							
OBSERVACIONES:																																																							
ANEXOS Y FORMATOS:																																																							
<a href="#">CP-for-34 Espesores de Recubrimientos</a>																																																							

Fuente: Compañía metalmecánica objeto del estudio

Definida la metodología de medición de espesores de acuerdo con las normas ASTM A123 y A153 lo que viene es realizar el diagrama analítico del proceso de galvanizado en caliente del producto seleccionado, con esto se pretende validar los tiempos de inmersión de las piezas en los tanques.

### **Diagrama analítico del proceso de Galvanizado.**

El diagrama analítico muestra detalladamente el paso a paso de un producto o productos a lo largo del proceso de galvanizado, ilustrando las cinco actividades fundamentales (Almacenamiento, transporte, inspección, operación y espera). El diagrama analítico que se construyó para el proceso también incluyó información adicional, tal como el tiempo empleado, el número de unidades procesadas y la distancia recorrida por la pieza a lo largo del proceso, así como algunas observaciones importantes de cada actividad.

Las actividades principales de un diagrama analítico se representan de la siguiente manera.

Grafico 3. Operaciones diagrama analítico

<b>SIMBOLO</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
	OPERACIÓN	Indica las principales fases del proceso Agrega, modifica, montaje, etc.
	INSPECCIÓN	Verifica la calidad y cantidad. En general no agrega valor.
	TRANSPORTE	Indica el movimiento de materiales. Traslado de un lugar a otro.
	ESPERA	Indica demora entre dos operaciones o abandono momentaneo.
	ALMACENAMIENTO	Indica depósito de un objeto bajo vigilancia en un almacén
	COMBINADA	Indica varias actividades simultáneas

Fuente: Organización Internacional del Trabajo OIT

Cuadro 8. Diagrama analítico de galvanizado del producto seleccionado

RESUMEN							INFORMACIÓN DEL PROCESO	
	Actual		Propuesto		Diferencia		MÉTODO ACTUAL: <u>X</u>	
	No.	Tiempo	No.	Tiempo	No.	Tiempo	MÉTODO PROPUESTO: <u>  </u>	
	Operaciones	27	71'49				Nombre del proceso	<b>Galvanizado del producto seleccionado.</b>
	Transportes	9	8'66				Hombre: <u>  </u>	Material: <u>X</u>
	Inspecciones	0	0'0				Inicia en:	Ubicar Rack en soportes
	Demoras	6	7'07				Termina en:	Ubicar producto en zona de PT.
	Almacenamiento	1	1'58				Elaborado por:	Pablo Zuluaga Arcila
	<b>TOTAL</b>	<b>43</b>	<b>88'8</b>				Fecha:	10/01/2015
	<b>DISTANCIA</b>	<b>16.7</b>					Unidad de medida:	Metros y minutos.

No.	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD						Distancia	Cantidad	Tiempo	¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	OBSERVACIONES
1	Ubicar rack en su respectivo soporte.	●						1	1'05	X			X	X	Rack es un dispositivo para colgar y transportar productos durante el proceso. Operación realizada por 2 operarios con puente grúa.
2	Ubicar ganchos en rack y colgar producto.	●						16	4'16				X	X	Operación realizada por 2 operarios de forma manual.
3	Espera				●			16	5'49			X			La espera se da cuando el rack de adelante está ocupando el tanque de desengrase, lo que ocurre frecuentemente.
4	Transportar rack a tanque desengrase.		●				1.5	16	1'39			X	X	X	Se transporta cuando terminan de colgar y no hay obstrucción en el desengrase. Operación realizada por 1 operario con puente grúa.
5	Inmersión en tanque de desengrase.	●						16	0'35				X	X	La operación la realiza 1 operario con el puente grúa.
6	Desengrase en tanque.	●						16	9'5	X	X				El desengrase quita la grasa que pueda tener el metal. La operación se hace en el tanque destinado para esto. <b>TIEMPO CON PH DE 2.6</b>
7	Sacar rack de tanque desengrase.	●						16	0'29			X	X	X	La operación la realiza 1 operario con el puente grúa y se hace

No.	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD						Distancia	Cantidad	Tiempo	¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	OBSERVACIONES
															cuando los productos estén libres de grasa.
8	Escurrir desengrasante.							16	0'40		X		X	X	La operación la realiza un operario con el puente grúa, dándole inclinación al producto para que caiga el desengrasante en el tanque.
9	Transportar rack a tanque decapado.						2.2	16	1'51			X	X	X	Se transporta cuando termina de escurrir el desengrasante. Operación realizada por 1 operario con puente grúa.
10	Inmersión en tanque decapado.							16	0'33				X	X	La operación la realiza 1 operario con el puente grúa.
11	Decapado de material.							16	22'4	X	X				El decapado eliminar químicamente la capa de impurezas o pintura de la superficie. La operación se hace en el tanque destinado. <b>TIEMPO CON UN CONT. DE HIERRO: 16.7, ACIDEZ LIBRE 137</b>
12	Sacar rack de tanque decapado.							16	0'31			X	X	X	La operación la realiza 1 operario con el puente grúa y se hace cuando los productos estén libres de cualquier tipo de impurezas.
13	Escurrir ácido decapante.							16	0'29		X		X	X	La operación la realiza un operario con el puente grúa, dándole inclinación al producto para que caiga el ácido en el tanque.
14	Transportar rack a tanque de enjuague.						1.3	16	1'21			X	X	X	Se transporta cuando termina de escurrir el ácido. Operación realizada por 1 operario con puente grúa.
15	Inmersión en tanque de enjuague							16	0'28				X	X	La operación la realiza 1 operario con el puente grúa.
16	Enjuague del material.							16	1'5	X	X				El enjuague busca eliminar el ácido que pudo haber quedado en el material. La operación se hace en el tanque destinado
17	Sacar rack de enjuague.							16	0'39			X	X	X	La operación la realiza 1 operario con el puente grúa y se hace cuando los productos estén libres de residuos de ácido.
18	Escurrir enjuague.							16	0'42		X		X	X	La operación la realiza un operario con el puente grúa, dándole inclinación al producto para que caiga el enjuague en el tanque.
19	Transportar rack a tanque de fluxado.						1.3	16	0'42			X	X	X	Se transporta cuando termina de escurrir el enjuague. Operación realizada por 1 operario con puente grúa.
20	Inmersión en tanque de fluxado.							16	0'34				X	X	La operación la realiza 1 operario con el puente grúa.
21	Fluxado de material.							16	2'12	X	X				El fluxado recubre el material a galvanizar, activando la superficie del acero y facilitar así su reacción con el zinc. <b>HIERRO: 2.5 PH: 3.6 GRADO Be: 17</b>
22	Sacar rack de fluxado.							16	0'26			X	X	X	La operación la realiza 1 operario con el puente grúa y se hace cuando los productos estén recubiertos con fluxante.
23	Escurrir fluxante.							16	0'36		X		X	X	La operación la realiza un operario con el puente grúa, dándole inclinación al producto para que caiga el fluxante en el tanque.



No.	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD						Distancia	Cantidad	Tiempo	¿Qué es?	¿Dónde es?	¿Cuándo?	¿Quién?	¿Cómo?	OBSERVACIONES
40	Descargue, pulido y arrume del producto.	●						16	6'12	X			X	X	El pulido busca eliminar con una lima las rebabas que pueden quedar luego de quitar el exceso de zinc en la cuba. Este proceso lo hacen 3 operarios de forma manual en arrumes de 25 defensas.
41	Pesar arrumes.	●						25	2'46		X	X	X	X	El pesaje se hace cuando el arrume ajusta las 25 unidades, en la báscula de piso ubicada junto al computador de los recibidores. Dicha operación la realiza un operario con el puente grúa.
42	Transportar a la zona de producto terminado.		●				4	25	1'96		X		X	X	Esta zona está ubicada a la salida de la planta de Galvanizado. Dicha operación la realiza 1 operario con el puente grúa.
43	Almacenar producto.					●		25	1'58			X	X	X	EL producto se almacena cuando cumple con las especificaciones necesarias. Operación realizada por 1 operario con puente grúa.

La aplicación del diagrama analítico permitió evidenciar como se encontraban los parámetros en cada uno de los tanques, así como los tiempos de inmersión en cada tanque; ambas variables completamente fundamentales para garantizar un acabado que cumpla especificaciones de las piezas y por ende un espesor ajustado a la norma.

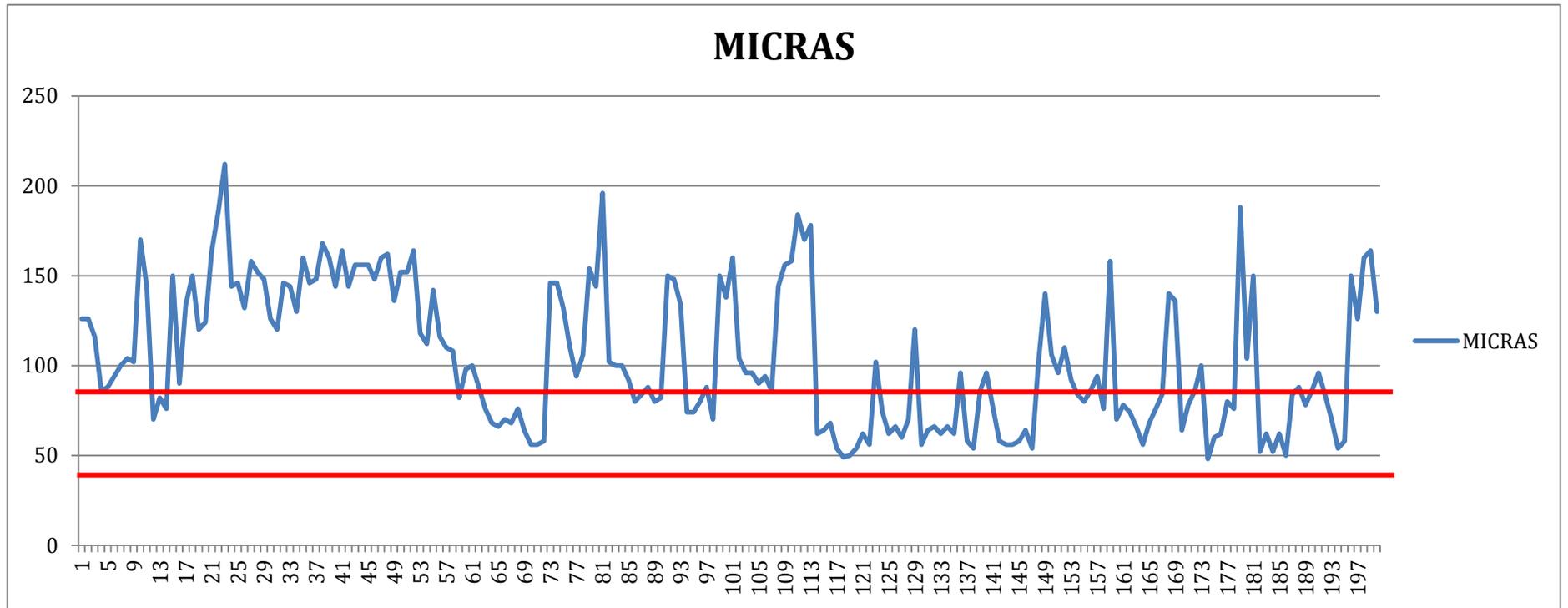
Posterior al conocimiento de la metodología de medición de espesores y al seguimiento de las piezas piloto a lo largo el proceso (actividad que se plasmó en el diagrama analítico), se continúa con la medición de espesores de cada una de las piezas. La medición de espesores se realiza de acuerdo al plan de muestreo determinado por la compañía, para aprobar o rechazar un lote, el método empleado es muestreo Simple con inspección Normal.

La metodología empleada para el levantamiento de la información de los espesores fue la siguiente:

El operario del proceso ubica la pieza que va a medir y realiza varias mediciones, no menos de 5, luego saca un promedio y la consigna en la hoja de datos y en la gráfica de control, cada medición se hace eligiendo la ubicación de donde será tomada la medida para obtener la dispersión más amplia (se aplica en todas las direcciones).

Los resultados de los promedios de cada pieza a lo largo de una corrida de producción están reflejados en el siguiente gráfico de control:

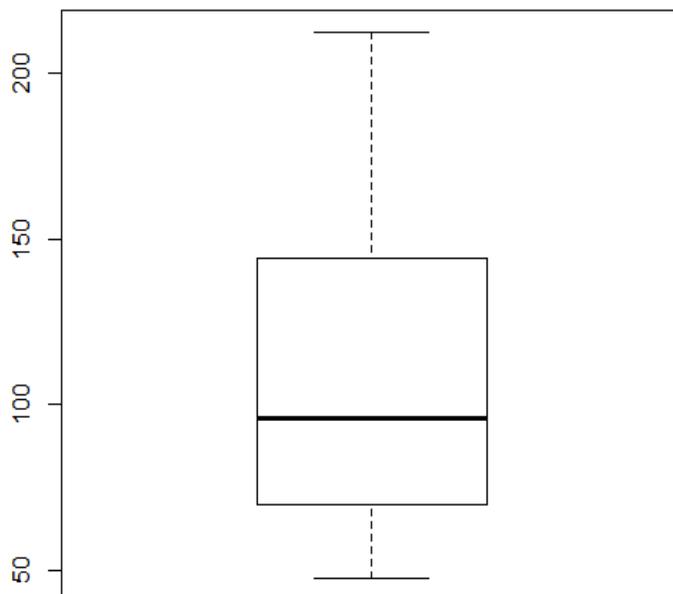
Gráfico 4. Gráfico de control de especificaciones de piezas galvanizadas en caliente



Fuente: El autor

## Cajas y bigotes

Gráfico 5. Diagrama de cajas y Bigotes



Fuente: el autor

El diagrama de cajas y bigotes representa visualmente algunas características importantes como son la dispersión de los datos y la simetría. También se representan la mediana (96 micras) y los valores mínimo (48 micras) y máximo (212 micras) de los datos, sobre un rectángulo alineado verticalmente.

Los resultados evidenciados en el gráfico de control y en el diagrama de cajas y bigotes muestran claramente que todos los datos se encuentran por encima del límite inferior de especificación, por lo tanto el producto no va a presentar problemas inherentes a calidad por deficiencia de zinc; por el contrario, más del 60% de los datos tomados se encuentran por encima

del limite superior de especificación dictaminado por la norma ASTM A123 y ASTM A153, comprobando de esta manera que un alto porcentaje de los productos galvanizados en caliente están presentando sobreespesor y están incumpliendo la norma. Aunque el Sobreespesor podría ser solamente un problema para la compañía, que está incluyéndole mucho más material de recubrimiento a los productos, este defecto afecta seriamente al cliente ya que en muchos de los casos los productos galvanizados en caliente tienen ensambles posteriores y esto se vuelve un problema porque se genera un reproceso al tener que repasar o desbastar las piezas para luego ensamblarlas.

Al colocar en evidencia el problema y al cuantificar la magnitud que tiene sobre el piloto escogido (sobrecosto de \$58.834.000 mensuales), se definió que lo más apropiado para inferir las causas que estaban generando el problema sería utilizando herramientas estadísticas. En consecuencia con lo anterior se muestran los siguientes hallazgos:

<b>MAX</b>	212
<b>MIN</b>	48
<b>PROMEDIO</b>	104.1
<b>DESVIACION</b>	38.92
<b>VALOR NOMINAL</b>	65
<b>LIMITE SUPERIOR</b>	85
<b>LIMITE INFERIOR</b>	45
<b>Cp</b>	0.171291538
<b>Cpu</b>	-0.163583419
<b>Cpl</b>	0.506166495
<b>Cpk</b>	-0.163583419

El cálculo del Cp (índice de capacidad de proceso) define que un proceso es capaz de producir con un mínimo de defectos cuando es mayor a 1 (uno), pero los procesos con un índice menor tienen un alto grado de variabilidad y en consecuencia muchos productos con incumplimiento de especificaciones.

### Nivel sigma:

Se calcula el nivel sigma para saber el número de desviaciones típicas que tiene el proceso de galvanizado en caliente con los 200 datos que tenemos y de esta manera saber si se puede aceptar para que el producto sea conforme. Cuanto más grande sea el nivel sigma, menos productos no conformes tendrá el proceso, y por lo tanto se tendrá menos costos de no calidad.

Yield	DPMO	Sigma
6.6%	934,000	0
8.0%	920,000	0.1
10.0%	900,000	0.2
12.0%	880,000	0.3
14.0%	860,000	0.4
16.0%	840,000	0.5
19.0%	810,000	0.6
22.0%	780,000	0.7
25.0%	750,000	0.8

```

Read 200 items
> hist(micras)
> (1-pnorm(65,104.1,38.92))*1000000
[1] 842461.2
> |

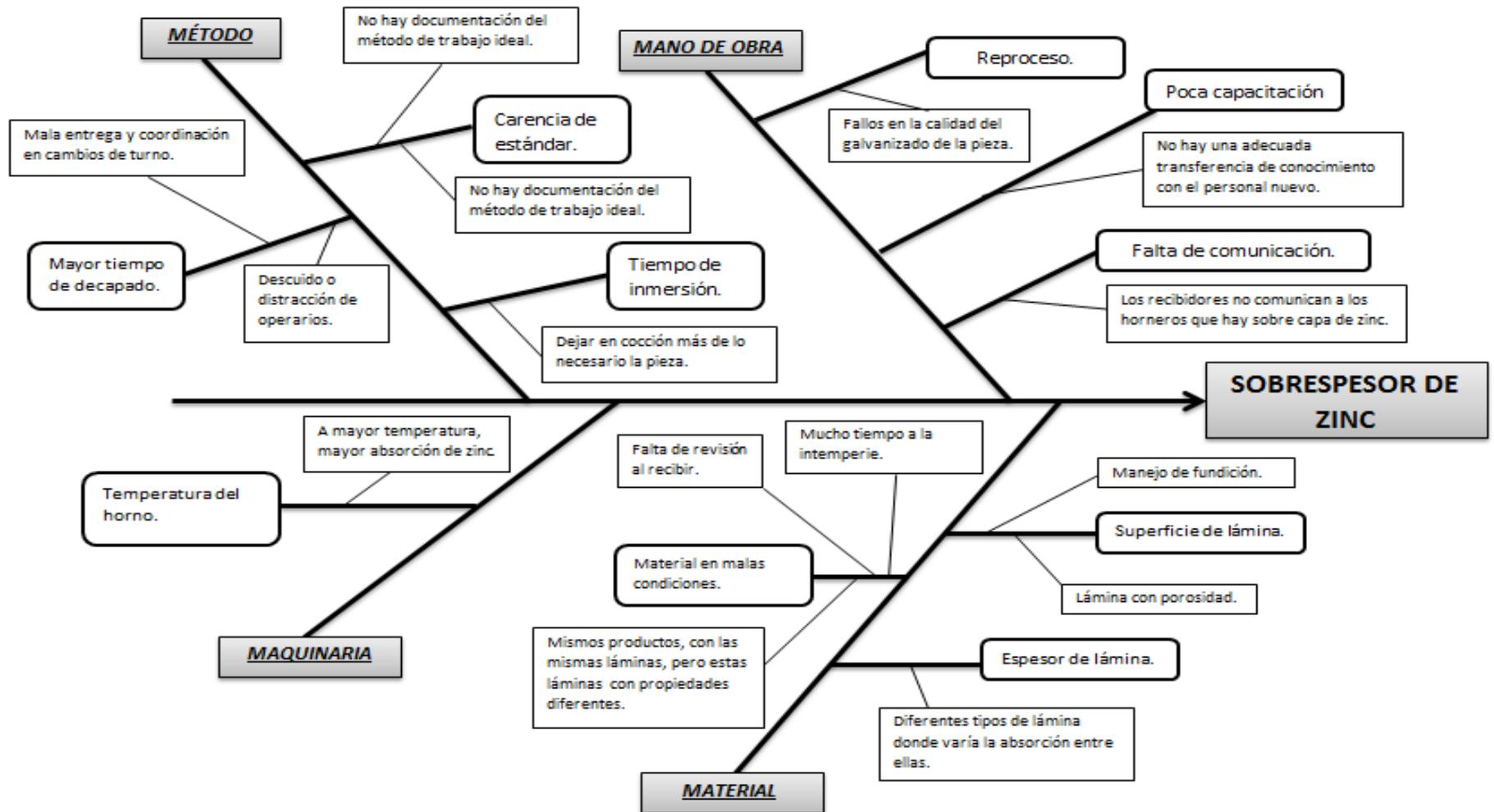
```

El cálculo de los Defectos Producidos por Millón de Unidades (DPMO) se realizó con la herramienta estadística R Project for Statistical y su resultado fue de 842.461,2 defectos por millón. El comparativo de este dato en la tabla de nivel sigma nos arroja una confiabilidad del proceso del 15.8% y un nivel sigma entre el 0.5 y 0.4.

Para que tenga sentido la aplicación de los gráficos de control, el proceso ha de tener una estabilidad suficiente que, aun siendo aleatorio, permita un cierto grado de predicción, pero conociendo el nivel sigma sabemos que esto es imposible para nuestro problema piloto. En general, un proceso caótico no es previsible y no puede ser controlado.

A estos procesos no se les puede aplicar el grafico de control ni tiene sentido hablar de capacidad. Un proceso de este tipo debe ser estudiado mediante herramientas estadísticas avanzadas hasta que el grado de conocimiento empírico obtenido sobre el mismo permita conocer las causas de la estabilidad y se eliminen (Rojas, 2006), es entonces esta afirmación la que hace que se busquen las posibles causas de la inestabilidad del proceso mediante las herramientas de Espina de pescado (diagrama de Ishikawa) y mediante la AMEF (análisis modal de efectos y fallas).

Grafico 6. Diagrama causa – Efecto



Fuente: el autor

Cuadro 9. Diagrama de Análisis Modal de Efectos y Fallas (AMEF)

ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS									
PRODUCTO:					PROCESO X DISEÑO				
					PROCESO EVALUADO: GALVANIZADO EN CALIENTE.				
OBSERVACIONES									
NOMBRE DE LA MÁQUINA	OPERACIÓN O FUNCIÓN	MODOS DE FALLO	EFECTOS DE FALLO	Severidad	CAUSAS DEL FALLO	Ocurrencia	CONTROLES ACTUALES	Detección	NPR
<b>SOBRE ESPESOR</b>	Decapar pieza a galvanizar	Dejar más tiempo del necesario la pieza en el ácido.	Generar porosidad en la lámina.	4	Distracción de la persona encargada de decapar la pieza.	6	No existen.	10	240
					Falta de compromiso.	6	No existen.	10	240
					Carencia de coordinación al momento de entregar y recibir un turno.	8	No existen.	10	320
					Paros a lo largo del proceso que obliguen a dejar la pieza en el tanque.	9	No existen.	10	360
					Tiempo de capacitaciones y reuniones que obligan dejar la planta sola.	6	No existen.	10	240
	Acondicionar productos para galvanizar.	No existe un método ideal de trabajo documentado. No hay un estudio de tiempos que determine el ritmo de la planta.	Variabilidad en el proceso y en el estándar que dicta la norma en cuanto al espesor necesario de recubrimiento Superficie y apariencia de los elementos en condiciones diferentes. Entre mayor sea el tiempo en que permanezca la pieza en el horno, mayor será la absorción de zinc.	7 5 3	Realizar operación a criterio personal.	8	No existen.	10	560
					Tiempos de inmersión en tanques y cámara de secado diferentes.	7	Inspección visual por parte del operario según su criterio.	10	350
					Tiempos de inmersión en la cuba algo variables.	7	No existen.	10	210
	Galvanizado de las piezas	Temperatura del horno	Cuanto mayor es la temperatura, mayor es la capa de absorción en las piezas galvanizadas.	8	Variación de productos con diferentes características que hacen oscilar la temperatura.	8	No existen.	10	640
					Fallos mecánicos que afectan el funcionamiento normal.	3	No existen.	10	240
					Criterio del homero líder de la temperatura necesaria para cada referencia.	6	No existen.	10	480
					Condiciones de la lámina que obliga subir la temperatura del horno, a pesar que no es la ideal.	9	No existen.	10	720
	Interacción entre empleados.	Comunicación entre receptor y homeros.	Poca comunicación asertiva entre el responsable de tomar micras y los homeros.	5 4	Poca transferencia de conocimiento con los operarios nuevos.	6	No existen.	10	300
					Falta de capacitación formal a los empleados por parte de la empresa, sobre un proceso tan complejo como el galvanizado en caliente.	9	No existen.	10	450
					4	Quien toma las micras a los productos, no genera una alerta a los responsables del horno, por lo que muchas veces no se toman medidas correctivas.	9	No existen.	10

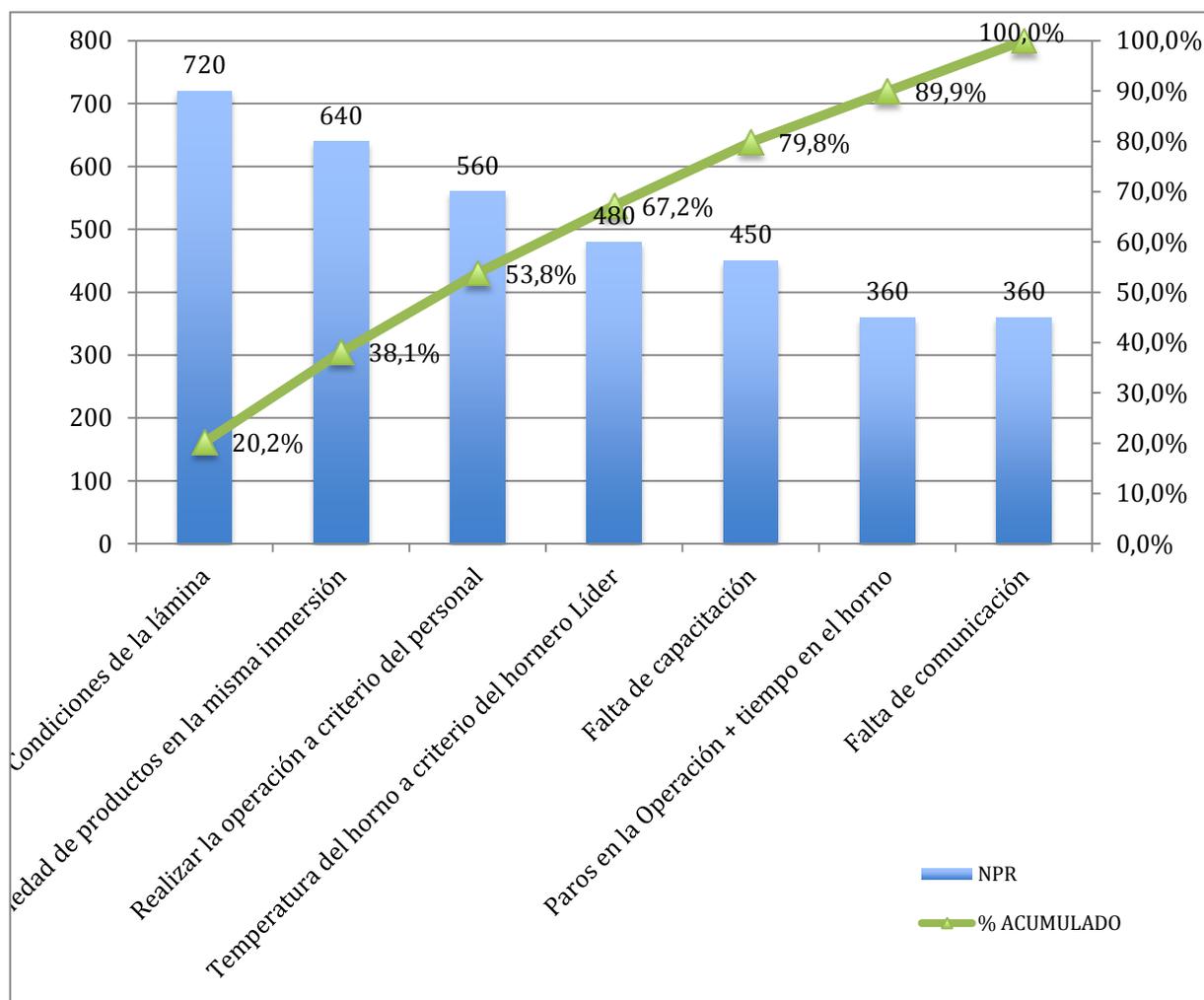
Fuente: El Autor

NPR<sup>1</sup>: Número de prioridad del riesgo<sup>1</sup> El NPR es el producto matemático de la severidad, la ocurrencia y la detección

### Pareto de las causas más representativas según la AMEF

El Pareto se realizó con base en el NPR de cada una de las causas:

Gráfico 7. Diagrama de Pareto de causas AMEF



Fuente: El autor

El diagrama de Pareto fue el resultado de graficar los números prioritarios de riesgo y calcular sus porcentajes de incidencia, en él se muestran las causas más representativas que intervienen en la aparición del problema de sobre espesor.

Se observa en el gráfico de Pareto que la causa más representativa es la condición de la lámina a galvanizar, seguida de la variedad de productos que se realizan en una misma inmersión.

### Plan de acción propuesto

Cuadro 10. Plan de acción

CAUSA	PLAN DE ACCIÓN	RESPONSABLE
Condiciones de la lámina	Solicitar al proveedor de la lámina la composición química del material.	Logística de Compras
	Realizar un manual de condiciones de operación, donde se controlen las variables del proceso, para las diferentes familias de productos y para la variación de las composiciones de material, en especial el % de carbono y el % de silicio.	Manufactura - Calidad
Variación de productos en la misma inmersión	Realizar un manual de condiciones de operación, donde se controlen las variables del proceso, para las diferentes familias de productos y para la variación de las composiciones de material, en especial el % de carbono y el % de silicio.	Manufactura - Calidad
Realizar la operación a criterio del personal	Realizar un manual de condiciones de operación, donde se controlen las variables del proceso, para las diferentes familias de productos y para la variación de las composiciones de material, en especial el % de carbono y el % de silicio.	Manufactura - Calidad
Temperatura del horno a criterio del hornero Líder	Realizar un manual de condiciones de operación, donde se controlen las variables del proceso, para las diferentes familias de productos y para la variación de las composiciones de material, en especial el % de carbono y el % de silicio.	Manufactura - Calidad
Falta de capacitación	Realizar jornadas de inducción, reinducción y de capacitación al personal de la planta de galvanizado en caliente.	Manufactura - Gestión Humana
Paros en la Operación + tiempo en el horno	Generar una mayor confiabilidad en el proceso y tener personal disponible para atender oportunamente los problemas que se presentan en la planta.	Mantenimiento
Falta de comunicación	Realizar seguimiento al personal, motivarlo para que comunique las novedades del proceso, realizar reuniones antes y después de cada turno de trabajo.	Manufactura - Gestión Humana

Fuente: El autor

## **Resultados del plan de acción**

Luego del planteamiento del plan de acción y la designación de responsables, cada una de las tareas se fue disgregando para generar actividades mucho más puntuales que fueran de rápida ejecución. El primer logro no se hizo esperar, los responsables de logística, consiguieron que los proveedores, tanto nacionales como internacionales, enviaran la composición química de cada lote de lámina suministrado, esto trajo consigo una tarea para el personal de manufactura y calidad, y estaba relacionada con la trazabilidad de cada lote a lo largo del proceso de manufactura antes de llegar al proceso de galvanizado; esto también se realizó de una manera exitosa. Posteriormente el proceso de galvanizado construyó un manual de condiciones de operación por rangos de %de carbono y silicio, donde se tuvieron en cuenta todas las variables que afectan el proceso (tiempos de inmersión, cantidad de material por inmersión, acidez, temperatura, grados Baumé, contenido de hierro, grasa superficial); el manual se fue ajustando conforme se hacían inmersiones controladas y auditadas.

Paralelamente se realizaron capacitaciones a todo el personal operativo y administrativo del proceso. También, el personal administrativo del proceso, realizó un benchmarking en otra compañía del mismo género ubicada en la ciudad de Barranquilla y luego se hizo una reunión para comentar las evidencias y las lecciones aprendidas que eran replicables y adaptables a la compañía objeto del estudio.

Por parte del personal de mantenimiento se designó un electromecánico para que acompañara cada turno del proceso, el cual estaba dedicado a realizar mantenimientos preventivos en la planta y atendía de forma inmediata cualquier correctivo que se presentara.

Cuando se trabaja con compromiso, rigurosidad y disciplina, los resultados saltan a la vista, fue entonces que la ejecución del plan de acción al cabo de tres (3) meses comenzó a dar sus frutos en la compañía, ya que se disminuyó el número de defectos producidos por millón de unidades (DPMO) a 302.800, ubicando el % de rendimiento de unidades buenas en un 69,15% y por ende el nivel sigma se ubicó en 2. Si se mira en resultados cuantitativos, el éxito del plan de acción fue bastante contundente, pero también es bueno conocer la disminución del costo en dinero, ya que se pasó de tener un sobre costo de producción por un valor de \$58.834.000 mensuales a un sobre costo de 21.556.162 pesos, significando una reducción porcentual de los sobre costos del 63,36%.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de la metodología Six Sigma puede enfocarse de diferentes maneras de acuerdo a las expectativas que cada empresa tiene, pero para el caso de la empresa metalmecánica objeto del estudio, la visión que se tuvo fue la de identificar, con ayuda del equipo interdisciplinario, cual era el problema de calidad que más estaba agobiando a la compañía, ya que si se concentraban los esfuerzos en problemas que a la larga iban a tener poco impacto, los resultados hubiesen podido ser poco representativos y la metodología elegida hubiese podido ser impugnada.

El trabajo de investigación realizado en la compañía metalmecánica, muestra con sus resultados la importancia de implementar una metodología clara desde la búsqueda del problema principal hasta la ejecución y seguimiento del plan de acción, es por lo anterior, que este tipo de metodologías de Six Sigma, las cuales tienen un despliegue activo de herramientas estadísticas que eliminan variaciones, eliminan o minimizan los defectos y los despilfarros, son tan contundentes y arrojan resultados dicentes como los estimados en esta investigación, donde la reducción inicial en los sobrecostos fue del orden del 63%, valor que justifica seguir trabajando con la metodología para alcanzar la excelencia en el proceso de galvanizado en caliente, donde se implementó, y seguir combatiendo los demás problemas que se identificaron pero que no fue posible desarrollar en el contenido de esta investigación por lo riguroso y extenso que sería.

Para el caso de estudio, la metodología seleccionada hace parte de una filosofía de mejora continua, el éxito de su continuidad depende, en el mayor de los casos, de la habilidad de los

responsables para movilizar a la organización más allá del solo cumplimiento del plan de acción propuesto. Esto implica una gran responsabilidad para mantener en una constante búsqueda de la excelencia, en consecuencia la compañía debe motivar al personal para que adopte en su ADN el compromiso con la reducción de los defectos, con la eficiencia de medios, con la reducción de costos, con la eliminación de actividades que no generan valor, todo esto basado en datos para la toma de decisiones. De lo contrario, el trabajo realizado se quedará solo como un hecho aislado que representó un resultado puntual para la compañía.

Finalmente la metodología empleada en esta investigación puede ser adaptada a cualquier compañía y a cualquier proceso que se pueda medir, ya que está fundamentada en datos estadísticos, que posibilitan los análisis cuantitativos, pero a vez se complementa con análisis cualitativos, que son muy propios de la experiencia de las personas. Por eso es que el éxito de esta metodología o de cualquier otra está asegurado si se tiene implicación del personal y hay un compromiso serio desde las altas directivas de la compañía.

## REFERENCIAS

Brue, G. (2003). *Seis Sigma para Directivos*. Mc Graw Hill.

Gutiérrez, H., & R., D. I. (2004). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (1a edición ed.). Mexico: McGraw-Hill.

Jeri, L. F. (2009). Obtenido de [www.tarwi.lamolina.edu.pe/~leojeri](http://www.tarwi.lamolina.edu.pe/~leojeri)

LATIZA, A. L. (s.f.). *Guía para la galvanización por inmersión en caliente*. Asociación Latinoamericana de Zinc - LATIZA.

Lefcovich, M. L. (13 de 07 de 2015). *winred*. Obtenido de <http://winred.com/management/preguntas-y-respuestas-sobre-seis-sigma/gmx-niv116-con2817.htm>

Mast, J. D. (2003). Quality Improvement from the Viewpoint of Statistical Method. *QUALITY AND RELIABILITY ENGINEERING INTERNATIONAL*.

Peter S. Pande, R. P. (2004). *LAS CLAVES PRACTICAS DE SEIS SIGMA*. Madrid, España: Mc Graw - Hill.

PYZDEK, T. (2014). *The Six Sigma Handbook*. McGraw-Hill.

Recubrimientos, B. (s.f.). *www.bboschrecubrimientos.cl*. Obtenido de [www.bboschrecubrimientos.cl/galvanizado.html](http://www.bboschrecubrimientos.cl/galvanizado.html)

Rojas, A. R.-F. (2006). *CONTROL ESTADISTICO DE PROCESOS*. Universidad Pontificia de Comillas, Madrid.

Vázquez, E. J. (2008). *Seis Sigma Metodología y Técnicas* . Mexico: Limusa.

Villarreal, J. F. (2013). *sixsigmaisp.weebly.com*. Obtenido de <http://sixsigmaisp.weebly.com/iquestqueacute-es-six-sigma.html>