

Pontificia Universidad Católica del Perú

Facultad de Ciencias e Ingeniería



**“Diagnóstico y Propuestas de Mejora de Procesos
empleando la Metodología Six-Sigma para una
Fábrica de Mantenimiento y Reposición de Mobiliario
para Supermercados y Tiendas Comerciales”.**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Industrial, que presenta el
bachiller:

Carlos Arturo Moisés Valdivia Reyes

Asesor: Miguel Domingo González Álvarez

Lima, Octubre de 2013

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal mejorar el proceso de pintado en polvo, o como se le conoce también, pintura electrostática o *powder-coating*, aplicando como herramienta de mejora la metodología Six Sigma. El trabajo se inicia con una breve descripción de la organización, el producto que ofrece y las operaciones en el que está involucrado. Luego se ejecutan los pasos necesarios para identificar los problemas y proponer mejoras para estos.

Para iniciar con el pre diagnóstico del proceso; identificamos los requerimientos de los clientes con respecto a lo que se produce en la empresa, tales como la tonalidad de color, la ausencia de óxido o grumos en la pieza a pintar, la calidad del producto, etc. Obtenido los requerimientos, se identifica el proceso involucrado, dando como resultado el proceso de pintura.

Luego de haber identificado el proceso más crítico en cuanto a defectos, se emplea herramientas de calidad como el estudio R&R, los gráficos de control, capacidad de proceso y Six Sigma para obtener la situación actual del proceso en mención.

Al realizar el análisis del proceso de pintado en polvo se identifica los factores más relevantes que son las fuentes del problema en el proceso, para ello se aplica el diseño de experimentos que contribuye a mejorar dichos factores y presentar una situación óptima para reducir el porcentaje de piezas defectuosas.

Después de haber encontrado una forma de reducir la cantidad de piezas no conformes en el proceso, se desarrolló las propuestas de mejora para el proceso de pintura en polvo, donde se determinaron los niveles adecuados de cada factor; para optimizar el proceso, esto involucra programas de capacitación para el personal, planificación para la calibración anticipada de equipos y mantener el área de trabajo en orden.

INDICE

INDICE DE TABLAS.....	iii
INDICE DE IMÁGENES.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	v
1. MARCO TEÓRICO.....	2
1.1. <i>Calidad</i>	2
1.2. <i>Proceso</i>	4
1.3. <i>Herramientas para la mejora de los procesos</i>	7
1.4. <i>Metodología Six-Sigma</i>	22
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	28
2.1. <i>Sector y actividad económica.</i>	28
2.2. <i>Perfil organizacional y principios empresariales.</i>	29
2.3. <i>Estructura organizacional de la empresa.</i>	29
2.4. <i>Entidades participantes en el modelo de negocio.</i>	31
2.5. <i>Enfoque de Mintzberg</i>	33
2.6. <i>Descripción de las instalaciones y recursos de la empresa.</i>	34
2.7. <i>Descripción de los procesos de la empresa</i>	42
2.8. <i>Operaciones del Proceso</i>	44
2.9. <i>Pintura Electrostática</i>	46
2.10. <i>Problemática actual de la empresa</i>	49
3. FASE DE DEFINICIÓN SIX-SIGMA	51
3.1. <i>Definición de los problemas principales</i>	51
3.2. <i>Requisitos del producto</i>	52
4. FASE DE MEDICIÓN SIX-SIGMA.....	57
4.1. <i>Defectos presentes en el proceso productivo</i>	57

4.2.	<i>Indicadores dominantes de funcionamiento</i>	61
4.3.	<i>Estudio de repetibilidad y reproducibilidad</i>	62
4.4.	<i>Gráficos de control y capacidad del proceso de pintura</i>	66
4.5.	<i>Nivel Six-Sigma del proceso de pintado de bandejas</i>	69
5.	FASE DE ANÁLISIS SIX-SIGMA.....	72
5.1.	<i>Definición de los factores causales</i>	72
5.2.	<i>Identificación de fuentes de variación</i>	75
5.3.	<i>El Diseño de experimentos</i>	76
5.4.	<i>Análisis de resultados de los experimentos</i>	80
5.5.	<i>Diagnóstico del proceso</i>	85
6.	FASE DE MEJORA SIX-SIGMA.....	86
6.1.	<i>Optimización de la respuesta</i>	86
6.2.	<i>Propuestas de mejora</i>	89
6.3.	<i>Propuestas adicionales</i>	90
7.	EVALUACIÓN ECONÓMICA	96
7.1.	<i>Flujo de caja Económico</i>	99
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
8.1.	<i>Conclusiones</i>	101
8.2.	<i>Recomendaciones</i>	103
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	104

INDICE DE TABLAS

1. <u>MARCO TEÓRICO</u>	2
Tabla 1.1. Combinación de Tratamientos del diseño de experimentos.	
Tabla 1.2. Estructura de Tabla ANOVA.	
Tabla 1.3. Nivel de calidad sigma.	
2. <u>DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</u>	28
Tabla 2.1. Materia prima utilizada en procesos de manufactura.	
Tabla 2.2. Colores de pintura solicitados por la empresa.	
Tabla 2.3. Matriz de enfrentamiento para el problema principal.	
3. <u>FASE DE DEFINICIÓN SIX-SIGMA</u>	51
4. <u>FASE DE MEDICIÓN SIX-SIGMA</u>	57
Tabla 4.1. Lista de defectos presentes en la producción.	
Tabla 4.2. Tiempos en segundos de las operaciones del proceso.	
Tabla 4.3. Cuadro de rendimiento de pintura.	
Tabla 4.4. Rango de Temperaturas del Horno.	
Tabla 4.5. Evaluación individual de variables.	
Tabla 4.6. Mediciones tomadas para el estudio Gage R&R.	
Tabla 4.7. Reporte estadístico del estudio Gage R&R.	
Tabla 4.8. Toma de datos de una muestra de bandejas de fierro.	
Tabla 4.9. Valores de interpretación para la capacidad del proceso.	
Tabla 4.10. Tipos de defectos presentes en una pieza pintada.	
Tabla 4.11. Nivel Sigma del proceso.	
5. <u>FASE DE ANÁLISIS SIX-SIGMA</u>	72
Tabla 5.1 Características iniciales del patrón o muestra.	
Tabla 5.2 Los factores y niveles respectivos.	
Tabla 5.3. Tabla de experimentos.	
Tabla 5.4 Tabla del análisis ANOVA para el diseño factorial completo.	
6. <u>FASE DE MEJORA SIX-SIGMA</u>	86
Tabla 6.1. Optimización de la Respuesta.	
7. <u>EVALUACIÓN ECONÓMICA</u>	96
Tabla 7.1. Cuadro de producción semanal en la planta.	
Tabla 7.2. Cuadro de conformidad de producción.	
Tabla 7.3. Cuadro de costos de producción por pedido semanal.	
Tabla 7.4. Cuadro de ingresos por ventas de bandejas.	
Tabla 7.5. Cuadro de Utilidad de la Producción.	
Tabla 7.6. Cuadro de conformidad de producción después de la mejora.	
Tabla 7.7. Cuadro de ingresos por venta después de la mejora.	
Tabla 7.8. Cuadro de Utilidad neta después de la mejora.	
Tabla 7.9. Flujo neto del proyecto.	

INDICE DE IMÁGENES

1. <u>MARCO TEÓRICO</u>	2
Figura 1.1. Relación entre los procesos y los requisitos del cliente.	
Figura 1.2. Brechas de la calidad	
Figura 1.3. Ciclo de Deming	
Figura 1.4. Ejemplo de Árbol crítico para la calidad.	
Figura 1.5. Ejemplo de Diagrama del Proceso de Venta de Automóviles	
Figura 1.6. Ejemplo de Diagrama de Pareto.	
Figura 1.7. Diagrama de Ishikawa empleando el modelo de las 6M.	
Figura 1.8. Gráfica de control de un proceso.	
2. <u>DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA</u>	28
Figura 2.1. Organigrama Aplicado en la Empresa.	
Figura 2.2. Mapa relacional de la Institución.	
Figura 2.3. Layout de la planta de producción.	
Figura 2.4. Platinas de hierro negro.	
Figura 2.5. Planchas de hierro negro.	
Figura 2.6. Exhibidor de vegetales.	
Figura 2.7. Tachos de basura.	
Figura 2.8. Canastillas.	
Figura 2.9. Porta-Platos.	
Figura 2.10. Fondos 1.33m.x0.4m.	
Figura 2.11. Bandejas 1.3m.x0.6m	
Figura 2.12. Brazos 0.4m.	
Figura 2.13. Mapa de Macroprocesos.	
Figura 2.14: Cadena del valor de la Empresa.	
Figura 2.15. Diagrama de Operaciones.	
3. <u>FASE DE DEFINICIÓN SIX-SIGMA</u>	51
Figura 3.1. Árbol de requisitos del cliente.	
Figura 3.2. Diagrama de Afinidad de los principales subprocesos.	
Figura 3.3. Diagrama de Alto Nivel.	
4. <u>FASE DE MEDICIÓN SIX-SIGMA</u>	57
Figura 4.1. Diagrama de Pareto para clasificación de defectos	
Figura 4.2. Reporte gráfico del estudio Gage R&R de la capa de pintura.	
Figura 4.3. Gráfico de control para el espesor de la capa de pintura.	
Figura 4.4. Prueba de Normalidad.	
Figura 4.5. Capacidad de proceso para el espesor de la capa de pintura.	
5. <u>FASE DE ANÁLISIS SIX-SIGMA</u>	72
Figura 5.1. Diagrama de Causa-Efecto del proceso de pintado de bandejas.	
Figura 5.2. Cuadro de degradación de marfil SIAM y rango de aceptación.	
Figura 5.3. Zona de medición en la superficie de bandejas pintadas.	
Figura 5.4. Diagrama de Pareto para el diseño factorial completo.	
Figura 5.5 Diagrama de probabilidad normal para los efectos.	
Figura 5.6. Diagrama de los efectos principales para el diseño factorial.	
Figura 5.7. Diagrama de cubos para productos defectuosos.	

Figura 5.8. Diagrama de interacciones para el porcentaje de no conformes.
 Figura 5.9. Normalidad de residuales.
 Figura 5.10. Gráfica de dispersión de residuales.
 Figura 5.11. Gráfica de aleatoriedad de residuales.

<u>6.</u>	<u>FASE DE MEJORA SIX-SIGMA</u>	86
	Figura 6.1. Diagrama de contorno para temperatura de horno a 150°C.	
	Figura 6.2. Diagrama de contorno para temperatura de horno a 180°C.	
<u>7.</u>	<u>EVALUACIÓN ECONÓMICA</u>	96



INTRODUCCIÓN

La calidad se ha convertido en un factor de mucha importancia para el desarrollo de las empresas, no importa si se trata de productos o servicios, mientras sean de mayor calidad al de la competencia se diferenciará en el mercado que compete.

Actualmente la mejora de procesos en una organización es indispensable, así como contar con alguna certificación o norma de calidad para no perder el paso respecto de sus principales competidores. En el caso de una empresa de mantenimiento de mobiliario comercial, cuyos principales procesos son los de soldadura y pintura electrostática, se realizará a ambos una mejora mediante herramientas de control de calidad como la metodología Six-Sigma entre otras, con el fin de mejorar la línea de producción de la empresa y los productos con los estándares y requerimientos solicitados por el cliente.

Para el presente trabajo de tesis se tomará en cuenta los siguientes temas para explicar detalladamente cómo se realizará la propuesta de mejora.

Se empezará por el marco teórico, donde se explicará todos los conceptos relacionados con los procesos de metalmecánica y pintura electrostática, además de las herramientas estadísticas y de calidad. Para esta tesis se empleó el programa estadístico Minitab 16

Luego una breve descripción de la empresa donde se está realizando el estudio de mejora, a qué sector pertenece, qué recursos utiliza y los productos y procesos que realiza. A continuación se explicará paso a paso el proceso de mejora a través de herramientas conocidas de control de calidad para determinar la significancia de los factores y diseñar un escenario óptimo donde se cumpla el objetivo de reducir el número de piezas defectuosas.

Expreso mis más sincera gratitud a mi asesor, a la empresa desprendidamente brindó toda la información concerniente y a todas las personas que han hecho posible la realización de la presente tesis.

1. MARCO TEÓRICO

El estudio para realizar las propuestas de mejora abarca ciertos conceptos relacionados con procesos, las clases que existen de ellos, las mejoras que se pueden realizar respecto a los conceptos de calidad total, las herramientas a utilizar para la mejora de los procesos y la metodología *six sigma*.

El propósito del marco teórico será el de definir todos los conceptos involucrados para que se pueda tener una idea más clara de cómo se va a realizar este estudio de mejora.

1.1. *Calidad*

La calidad es un estado dinámico asociado a productos, servicios, gente, procesos y medio ambiente que cumple o supera las expectativas (Goetsh y Davis, 2006). Hoy en día los productos y servicios de calidad son ofrecidos en forma más consistente por las diferentes organizaciones de calidad.

Según Perry L. Johnson, la calidad abarca todos los aspectos de una empresa y es realmente una experiencia emocional para el cliente. Los clientes quieren sentirse bien sobre sus compras, sentir que han logrado el mejor valor. Y es esa satisfacción la que las empresas buscan para mantener al cliente permanentemente vinculado y así mantener una imagen de alta calidad.

Definición de Calidad Total

Según Crosby (1979) la Calidad Total es el estado más evolucionado dentro de las sucesivas transformaciones que ha sufrido el término calidad a lo largo del tiempo. En un primer momento se habla de control de calidad, primera etapa en la gestión de la Calidad que se basa en técnicas de inspección aplicadas a producción. Posteriormente nace el aseguramiento de la calidad, fase que persigue garantizar un nivel continuo de la calidad del producto o servicio proporcionado. Finalmente se llega a lo que hoy en día se conoce como calidad total, un sistema de gestión empresarial íntimamente relacionado con el concepto de mejora continua y que incluye las dos fases anteriores. Los principios fundamentales de este sistema de gestión son los siguientes:

- Consecución de la plena satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente (interno y externo).

- Desarrollo de un proceso de mejora continua en todas las actividades y procesos llevados a cabo en la empresa (implantar la mejora continua tiene un principio pero no un fin).
- Total compromiso de la Dirección y un liderazgo activo de todo el equipo directivo.
- Participación de todos los miembros de la organización y fomento del trabajo en equipo hacia una Gestión de Calidad Total.
- Involucración del proveedor en el sistema de Calidad Total de la empresa, dado el fundamental papel de éste en la consecución de la Calidad en la empresa.
- Identificación y Gestión de los Procesos Clave de la organización, superando las barreras departamentales y estructurales que esconden dichos procesos.
- Toma de decisiones de gestión basada en datos y hechos objetivos sobre gestión basada en la intuición. Dominio del manejo de la información.

Este modelo de calidad coincide con la definición propuesta en la publicación “Trilogía de Juran” en el año 1986, en la que afirma que la calidad no sucede por accidente, sino que esta debe ser planificada, y dicha planificación debe empezar por los niveles más altos de la organización, por eso la mala calidad se le debe atribuir a la mala dirección que a los trabajadores.

Tanto para Crosby como para otros famosos expertos en el concepto de la calidad, como son los casos de Juran, Johnson e Ishikawa, un propósito importante de la calidad es entender los requerimientos de cliente, para esto es necesario en uso de herramientas de calidad y de estadística para verificar los límites de especificación, los atributos de los productos, el nivel de error de producción y los costos de la calidad.

1.2. Proceso

Se define como proceso a un conjunto de actividades interrelacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada (inputs) en resultados (outputs). Estas actividades requieren la asignación de recursos tales como personal y material. (Alcalá 2008: p4)

A) Clases de procesos.

Según Alcalá, los grupos o clases de procesos más comunes en una organización se agrupan en procesos estratégicos, operativos y de soporte.

- **Procesos estratégicos:** Son procesos destinados a definir y controlar las metas de la organización, sus políticas y estrategias. Permiten llevar adelante la organización. Están en relación muy directa con la visión y misión de la organización. Involucran personal de primer nivel de la organización, afectan a la organización en su totalidad. Ejemplos: Comunicación interna/externa, planificación, formulación estratégica, seguimiento de resultados, reconocimiento y recompensa, proceso de calidad total, etc.
- **Procesos operativos:** Son los procesos que permiten generar el producto o servicio que se entrega al cliente, por lo que inciden directamente en la satisfacción del cliente final. Generalmente abarcan muchas funciones. Estos son procesos que valoran los clientes y los accionistas. Ejemplos: Desarrollo de producto, fidelización de clientes, producción, logística integral, atención al cliente, etc. Los procesos operativos también reciben el nombre de procesos clave.
- **Procesos de soporte:** Sirven de apoyo para los procesos operativos. Sus clientes son internos. Ejemplos: Control de calidad, selección de personal, formación de personal, compras, sistemas de información, etc. Los procesos de soporte también se les conoce como procesos de apoyo.

En la figura 1 se aprecia cómo se relacionan los procesos principales a nivel macro en una empresa, para poder cumplir con las expectativas de sus clientes.

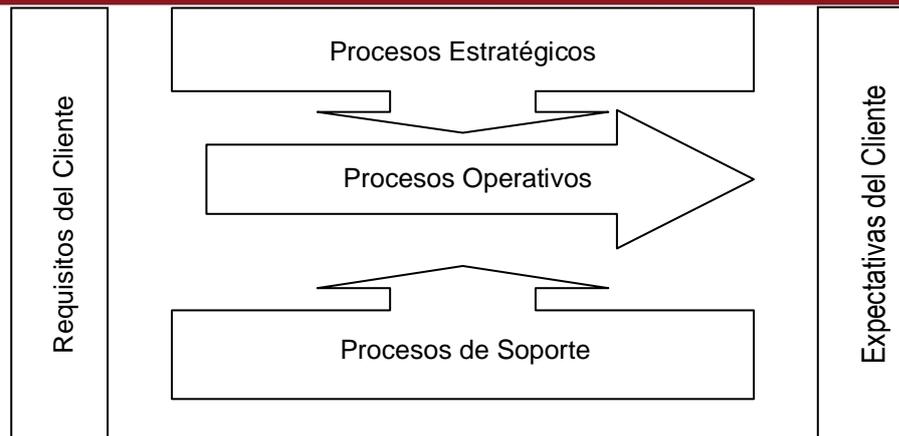


Figura 1.1: Relación entre los procesos y los requisitos del cliente.
Fuente: Alcalá 2008

B) Mejora de Procesos

De acuerdo a Evans (2008): la mejora de los procesos es una estrategia de negocios importantes en los mercados competitivos porque:

- La lealtad de los clientes se basa en el valor agregado.
- El valor agregado se crea mediante los procesos de negocio.
- El éxito continuo en los mercados competitivos requiere que una empresa mejore en forma consistente el valor agregado.
- Para mejorar en forma consistente la capacidad de crear valor, una empresa debe mejorar de manera continua sus procesos de creación de valor.

“La mejora debe ser una tarea de administración proactiva y se debe considerar como una oportunidad y no simplemente como una reacción ante los problemas y las amenazas de la competencia” (Evans 2008: p362).

C) Mejora de Procesos y calidad

Según Alcalá, la identificación de problemas de calidad, es decir una brecha entre lo óptimo y la realidad, es equivalente a una oportunidad de mejora ya que es un indicio positivo de haber iniciado el camino hacia la calidad.

En la figura 2 se muestran las brechas de la calidad que se presentan en las empresas, entre lo que el cliente desea y lo que realmente obtiene.

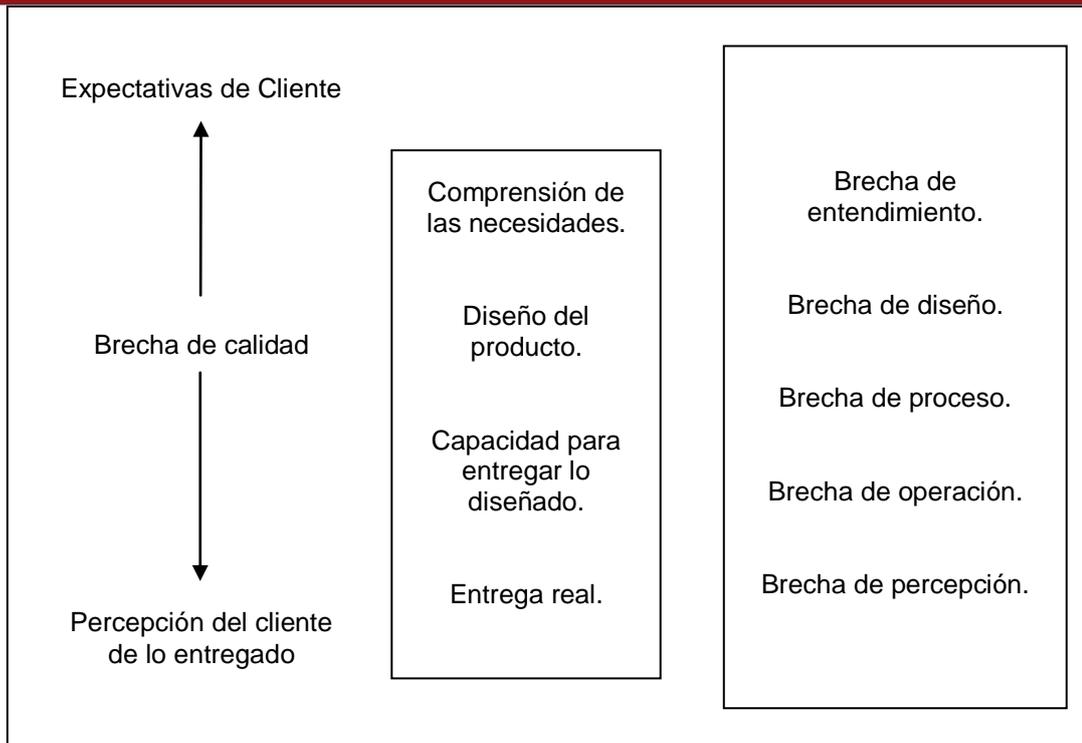


Figura 1.2: Brechas de la calidad
Fuente: Alcalá 2008

- Enfoque tradicional de mejora de los procesos:

Existen muchas oportunidades de mejora, que incluyen las reducciones en los defectos de manufactura y los tiempos de ciclo. Las organizaciones también deben considerar el aumento de la moral, satisfacción y cooperación de los empleados; la mejora de las prácticas administrativas, la mejora del diseño de los productos con las características que satisfagan mejor las necesidades de los clientes y logren un desempeño más alto, mayor confiabilidad y otras dimensiones de la calidad basada en el mercado; y la mejora de la eficiencia de los sistemas de manufactura reduciendo el tiempo de inactividad y los movimientos innecesarios de empleados, así como la eliminación del inventario, el transporte y el manejo de material innecesario, el desperdicio y el trabajo repetitivo. (Evans 2008: p.364)

D) Mejoras radicales

Se refieren al cambio radical y agresivo de los procesos, en oposición a la mejora gradual y continua (Ejemplo: filosofía Kaizen). Las mejoras realizadas mediante este método son innovadoras y creativas; a menudo las motivan las metas

extendidas o los objetivos de cambios radicales. Las metas extendidas mueven a una organización y la obligan a pensar de una forma totalmente diferente, a enfocarse en las mejoras más importantes. Para que las metas extendidas logren su objetivo trazado estas se deben derivar e ir a la par con la estrategia corporativa. (Evans 2008: p368)

Entre los enfoques más conocidos para lograr este tipo de mejoras se encuentran el *benchmarking*, la reingeniería y el *Six-Sigma*. A través del *benchmarking*, la empresa descubre sus fortalezas y debilidades, así como aquellas de los líderes de su sector industrial y aprende a incorporar las mejores prácticas en sus organizaciones. El proceso de reingeniería se define como la reconsideración fundamental y el rediseño radical de los procesos de negocios para lograr mejoras significativas en las medidas de desempeño críticas actuales como costo, calidad, servicio y velocidad. Con frecuencia este cuestionamiento revela suposiciones obsoletas, erróneas o inadecuadas. El rediseño radical comprende la eliminación de procesos existentes y la reinención del proceso, no solamente su mejora incremental. El objetivo es lograr avances perceptibles en el desempeño.

Por otro lado, el *six-sigma* es una metodología que consiste en entender y mejorar los procesos sobre la base de proyectos de mejora. Según Evans (2008) dos de las ventajas del *six-sigma* son que los proyectos están claramente vinculados con las necesidades estratégicas y los objetivos de la organización, y que los proyectos se manejan bajo una estructura común.

1.3. Herramientas para la mejora de los procesos

Acorde a lo publicado por el Centro de Análisis de Confiabilidad o RAC (2001) existen siete herramientas básicas de la calidad, estas son las técnicas gráficas más útiles en la solución de problemas relacionados con la calidad. Estas siete herramientas básicas son: Diagrama de Pareto, diagrama de Ishikawa (causa-efecto), gráficas de control, diagrama de dispersión, graficas de control, histograma y diagrama de flujo. Según Kaoru Ishikawa, con el uso de un grupo de sencillas

herramientas se pueden resolver el 80% de los problemas de una organización. Por ello se les conoce como las 7H de Ishikawa¹.

Adicionales a las 7H, se proponen a continuación otras herramientas adicionales para la mejora de procesos, las cuales permitirán identificar, analizar, mejorar y controlar los diversos procesos que se puedan presentar, tanto en los procesos de producción como en los de servicio.

a) **Círculo de Deming**

El círculo de DEMING se constituye como una de las principales herramientas para lograr la mejora continua en las organizaciones o empresas que desean aplicar a la excelencia en sistemas de calidad. También es conocido como el ciclo **PHVA** cuya secuencia se muestra en la figura 3 (**Planear, Hacer, Verificar y Actuar**). Cabe señalar que este ciclo fue desarrollado por Walter Shewhart, el cual fue pionero y dio origen al concepto tan conocido hoy en día. A pesar de ello los japoneses fueron los que lo dieron a conocer al mundo, los cuales lo nombraron así en honor al Dr. William Edwards Deming. (SIG 2012)

La utilidad del ciclo de Deming es ser utilizado para lograr la mejora continua de la calidad dentro de una empresa u organización. Para describir el ciclo completo, este consiste en una secuencia lógica de cuatro pasos, los cuales son repetidos y que se deben de llevar a cabo secuencialmente. Estos pasos como ya se mencionó son: **Planear, Hacer, Verificar y Actuar**. Dónde:

- **Planear o Planificar:** consiste en definir los objetivos y los medios para conseguirlos.
- **Hacer:** Se refiere al acto de implementar la visión preestablecida.
- **Verificar:** Implica comprobar que se alcanzan los objetivos previstos con los recursos previamente asignados.
- **Actuar:** Se refiere a analizar y corregir las posibles desviaciones detectadas, así como también se debe proponer mejoras a los procesos ya empleados.

1

<http://portal.funcionpublica.gob.mx:8080/wb3/work/sites/SFP/resources/LocalContent/1581/8/herramientas.pdf>



Figura 1.3: Ciclo de Deming

Fuente: http://nataliavidovich.com.ar/?attachment_id=253 (2013)

b) Árbol crítico para la calidad

Según Eckes (2006: p97-99) el árbol crítico para la calidad sirve para producir una tormenta de ideas y validar las necesidades y requisitos del cliente del proceso que se ha decidido mejorar.

Los pasos a seguir para crear el árbol crítico para la calidad son:

- Identificar al cliente del proceso que se va a mejorar. Un cliente es el destinatario del producto o servicio del proceso.
- Identificar las necesidades del cliente, es decir, el producto o servicio que el cliente desea.
- Identificar el primer nivel de requisitos de dicha necesidad, alguna característica de la necesidad que determine si el cliente quedará satisfecho.
- Pasare a niveles más detallados si es necesario, pues algunos requisitos suelen ser más específicos. Si es así, el árbol debe hacerse más detallado.

En la figura 4 se muestra un ejemplo de árbol crítico para la calidad para un servicio de atención en un hospital, donde el paciente internado es el cliente del

proceso de registro. También se puede apreciar que existen requisitos que determinan el registro satisfactorio del paciente.

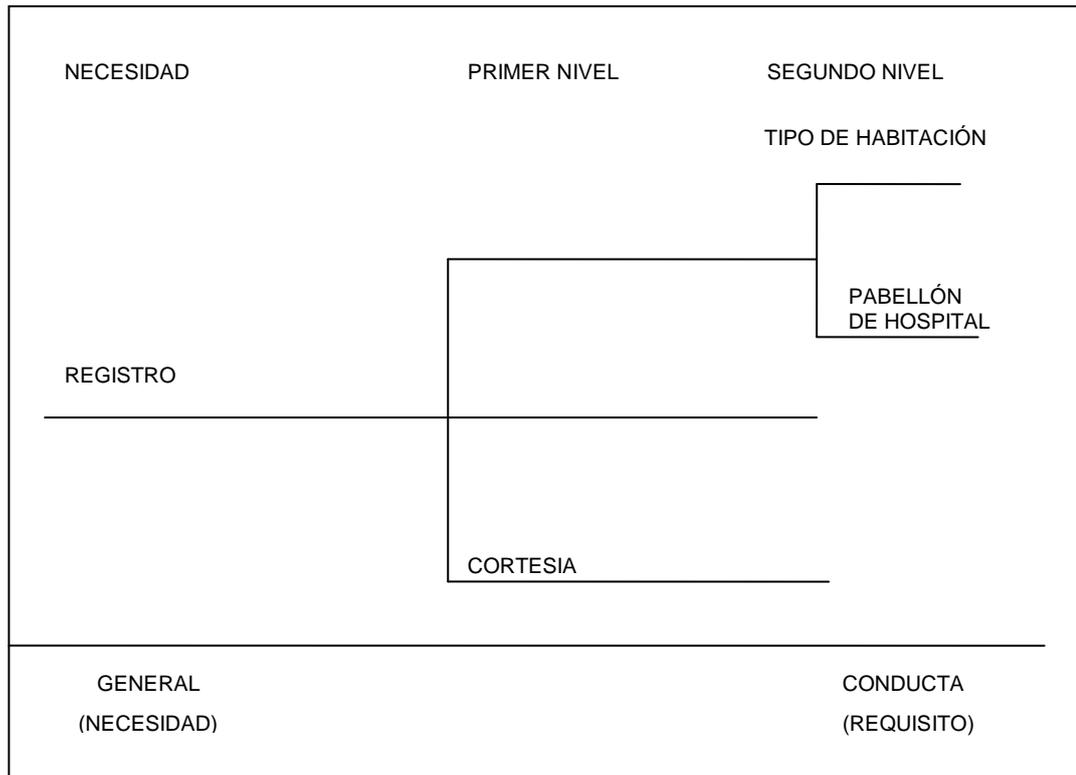


Figura 1.4: Ejemplo de Árbol crítico para la calidad.
Fuente: Eckes 2006: p99

Para el adecuado uso de la herramienta se debe realizar lo siguiente:

- Empezar siempre con la necesidad del cliente.
- Plantear la necesidad como un sustantivo, sin adjetivos que la describan
- Pasar continuamente de izquierda a derecha hasta que se haya descrito la manera de medir los requerimientos del cliente en detalle. Procurar no especificar una medición.
- Una vez empezada la rama de árbol, todas las ramas que se desprendan de ella deben ser detalles del requerimiento anterior.

c) Diagrama SIPOC para la identificación de características del proceso

Según Simon (2012) la definición de un proceso es la estructura básica que debe existir para identificar la interrelación y delimitación de los procesos, y es parte fundamental que debe tomarse en consideración como entrada para la optimización de los procesos a seguir.

Suppliers = Proveedores: Cualquier persona que suministre algún insumo o recurso.

Inputs = Insumos: Todo aquello que se requiera para realizar el proceso, y puede consistir en información, materiales, actividades o recursos.

Process = Proceso: Conjunto de actividades o eventos que se realizan o suceden con un fin determinado.

Outputs = Salidas: Resultado del proceso.

Customers = Clientes: Entidad que se ve afectada por el resultado del proceso. Es el objetivo más importante.

Para indicar cada uno de estos elementos se emplea el acrónimo de dichos elementos: **SIPOC**. Éste consiste en un diagrama que permite visualizar el proceso de manera general y sencilla. Puede ser aplicado a procesos de todo tamaño o nivel, incluso para una organización completa.

Existen 4 etapas en la diagramación de un proceso: En primer lugar se crea el equipo de mejora. Se dice que el diagrama es de alto nivel porque el equipo se concentra en los cinco a siete pasos de más alto nivel del proceso actual. En algunos casos pueden ser menos de cinco pasos o más de siete, pero la gran mayoría trata de cumplir con dicho intervalo. El segundo paso consiste en graficar el proceso. Se formula con más detalles el diagrama de alto nivel, el cual es llamado diagrama de subprocesos. Existe un tercer diagrama que representa el proceso mejorado, a este se le denomina diagrama ideal de proceso. Finalmente, el cuarto tipo es el diagrama de lo que podría ser el proceso. En la figura 5 se aprecia un ejemplo claro de diagrama de proceso.

Parte fundamental para realizar dicho método es captar todos los pasos tal como ocurren actualmente en el proceso. Y para verificar cualquier diagrama, hacer dos cosas: conversar con personas que están en el proceso y seguir al producto/servicio a lo largo del mismo.

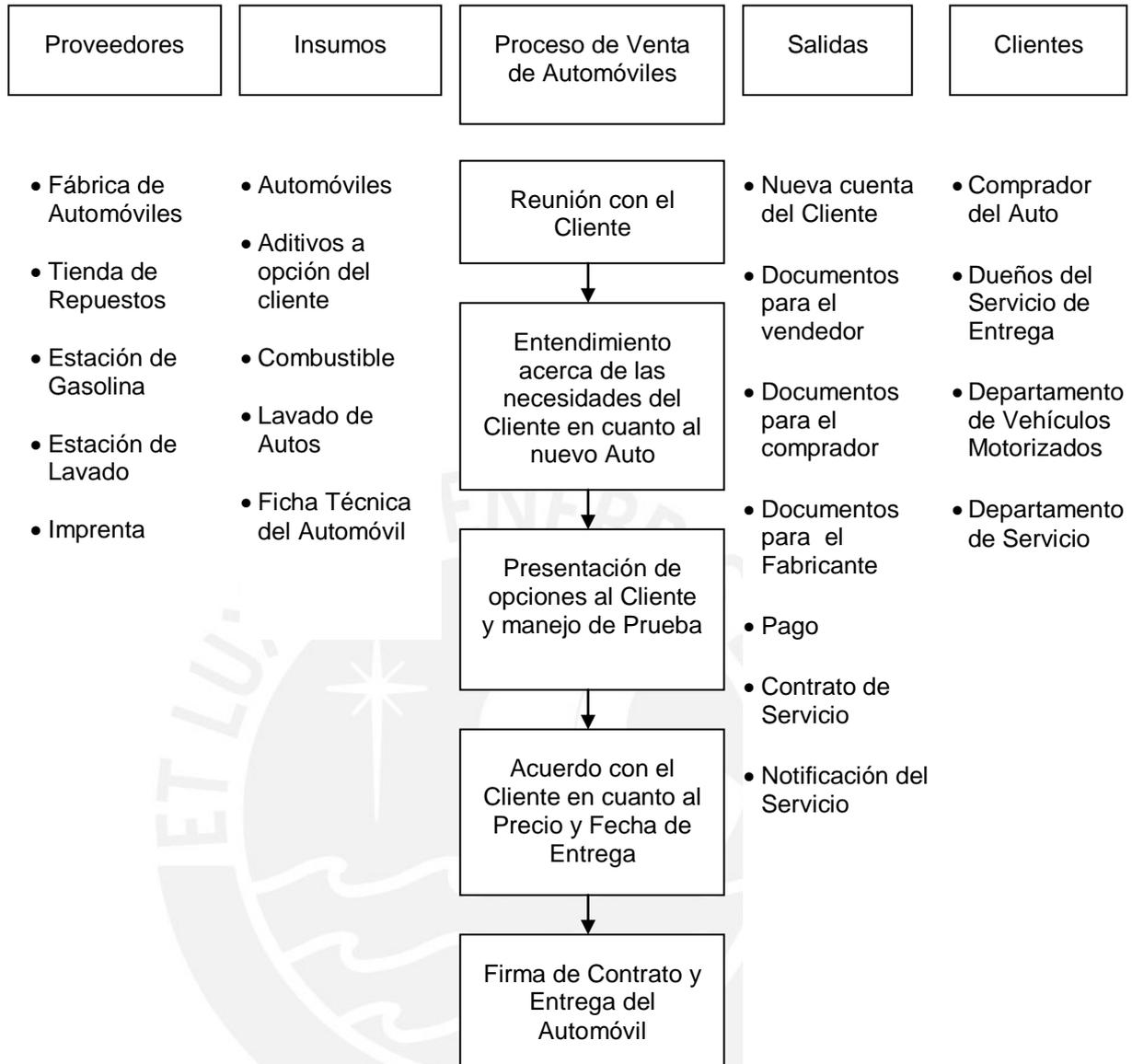


Figura 1.5: Ejemplo de Diagrama del Proceso de Venta de Automóviles
Fuente: <http://www.isixsigma.com/>

d) Hoja de resumen del análisis de proceso

“Es una reproducción del diagrama del subproceso en la cual se indica qué pasos agregan valor y cuáles no. Además, cada uno de los que no agregan valor alguno se clasifica según el tipo de actividad” (Eckes 2006: p108)

Según Eckes (2006: p76-78) se considera que un paso del subproceso agrega valor cuando cumple los siguientes criterios:

- El cliente de dicho paso lo considera importante.
- Se percibe un cambio real en el producto o servicio.

- Se hace correctamente desde la primera vez.
- Si un paso no agrega valor se clasifica en uno de los siguientes tipos de actividades:
- Falla interna: Pasos que tienen que repetirse.
- Falla externa: Fallas del proceso observadas por el cliente.
- Demora: Espera en el proceso.
- Control y/o Inspección: Pasos del proceso que verifican que el trabajo previo se haya realizado correctamente.
- Preparación: Pasos que preparan el producto para la siguiente actividad.
- Traslado: Pasos que mueven un producto o elemento en servicio de un lugar a otro.
- Habilitación del valor: Un paso que no agrega valor al proceso y que no se escogería para mejorar porque es necesario para el funcionamiento de la organización.

e) Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto fue explicado por primera vez por Joseph Juran en el año 1962 en su libro *"Quality Control Handbook"* como una herramienta utilizada para clasificar los errores o defectos más recurrentes por categoría. Este diagrama, también llamado curva 80-20 o Distribución A-B-C, es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite, pues, asignar un orden de prioridades.

El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves. Mediante la gráfica colocamos los "pocos vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha.

Hay que tener en cuenta que tanto la distribución de los efectos como sus posibles causas no es un proceso lineal sino que el 20% de las causas totales hace que sean originados el 80% de los efectos.

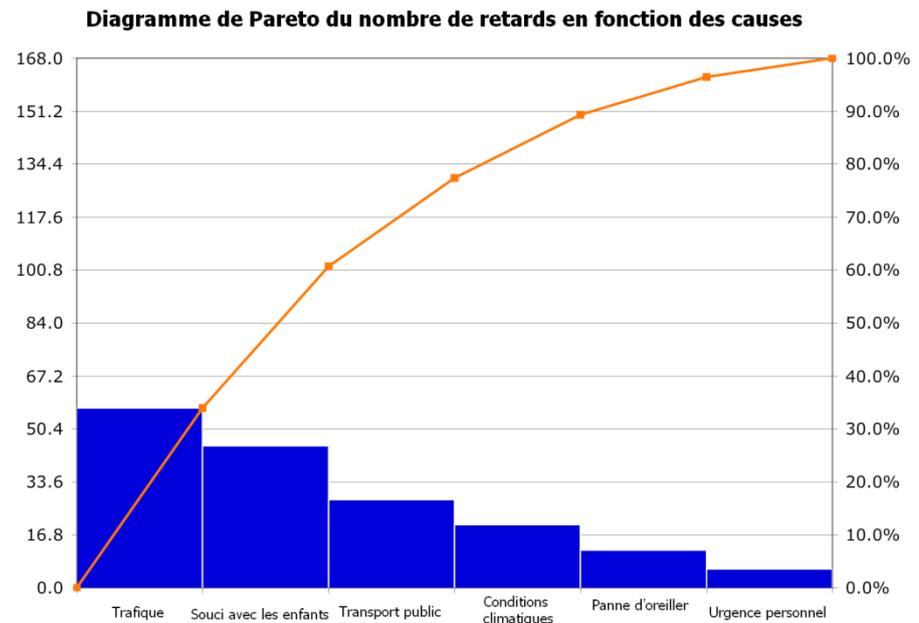


Figura 1.6. Ejemplo de Diagrama de Pareto.
Fuente: asq.org

f) Diagrama de Causa-Efecto

El Diagrama de Ishikawa o de causa-efecto es una técnica de análisis en la resolución de problemas, desarrollada formalmente por el Profesor Kaoru Ishikawa, de la Universidad de Tokio, en 1943, quien la utilizó con un grupo de ingenieros en una planta de la Kawasaki Steel Works, para explicar cómo diversos factores que afectan un proceso pueden ser clasificados y relacionados de cierta manera. Dicha herramienta se emplea para encontrar el origen de los problemas que hay en la empresa, se procede a realizar este diagrama para enunciar las posibles causas de la persistencia de dicho problema y luego buscar soluciones a estos.

El “resultado fijo” de la definición es comúnmente denominado el "efecto", el cual representa un área de mejora: un problema a resolver, un proceso o una característica de calidad. Una vez que el problema/efecto es definido, se identifican los factores que contribuyen a él (causas). (Maldonado, 2011)

Este diagrama (también conocido como espina de pescado) muestra la relación entre una característica de calidad con los factores o causas que lo afectan. Es difícil resolver problemas complicados sin tener en cuenta esta estructura, la cual consta de una cadena de causas y efectos, y el método para expresar esto en forma sencilla y fácil es en un diagrama causa-efecto.

En la figura 1.6 se puede apreciar un ejemplo de diagrama de Ishikawa.

Elaboración:

- Escoger una característica de calidad y escribirla al lado derecho de una hoja de papel.
- Dibujar de izquierda a derecha la línea de la espina dorsal.
- Encerrar la característica en un rectángulo.
- Escriba las causas del 1er nivel que originan dicha característica al final de cada línea que lucen como huesos de la espina de pescado.
- Escribir las causas del 2do nivel que afectan a las primeras sobre una línea, empezando así las ramificaciones de la espina.
- Escribir las causas del 3er nivel que afectan a las secundarias.
- Repetir los pasos anteriores hasta llegar a las causas raíz.
- Asignar la importancia de cada factor y marcar los factores particularmente importantes que parecen tener efecto significativo sobre la característica de calidad.
- Registrar cualquier información que pueda ser de utilidad.

Modelo de las M's

Se busca orientar la agrupación de las causas en base a la organización según la tipología básica de cada factor (4M o 6M). Empieza en lo general y continúa hasta lo particular.

Factores típicos 4M:

- Materiales
- Mano de obra
- Métodos de trabajo
- Maquinaria (y equipos, herramientas, accesorios, ...)

Los factores típicos 6M consisten en los 4 anteriormente mencionados, adicionando los factores de Medio ambiente y medición (y control).

Otros factores

De acuerdo al caso y tipo de análisis se puede considerar como factores los siguientes:

- Información (especificaciones, documentos, ...)
- Seguridad en el puesto

- Higiene
- Gestión (planificación, organización, dirección, control, ...)
- Instalaciones y servicios (energía, vapor, agua, ...)
- Otros recursos (dinero, espacio, tecnología, ...)

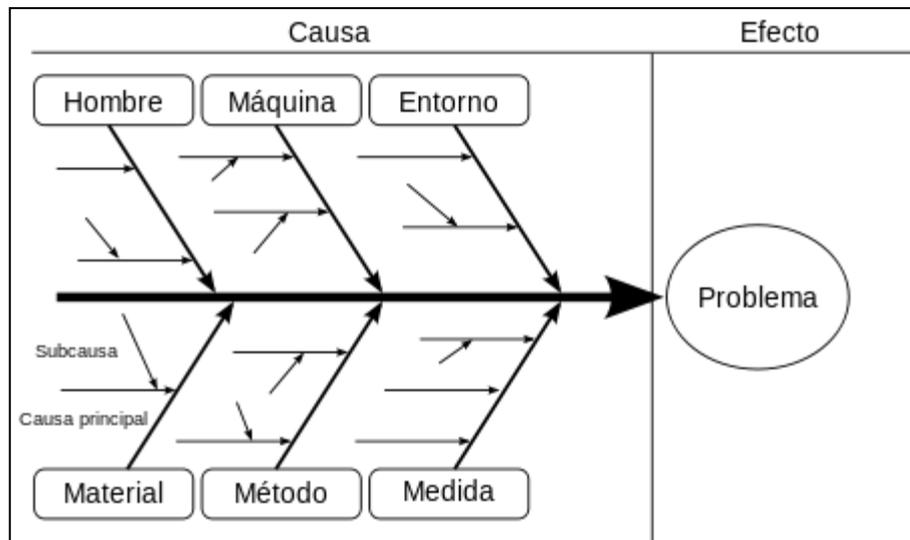


Figura 1.7: Diagrama de Ishikawa empleando el modelo de las 6M.
Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Diagrama_de_Ishikawa

g) Gráficos de Control:

Los gráficos de control son habitualmente utilizados en el control estadístico de calidad para representar de una forma ordenada y cronológica las informaciones recogidas sobre el resultado de las operaciones a lo largo de un periodo (Velasco 2008: p108)

Krajewski (2008: p227-228) menciona que un gráfico de control tiene un valor nominal que puede ser el promedio histórico del proceso o algún objetivo que los gerentes desearían alcanzar por medio del proceso, y dos límites de control basados en la distribución de muestreo de la medida de calidad. Los límites de control se usan para juzgar si es necesario tomar acciones correctivas. El valor más grande representa el límite de control superior (UCL) y el más pequeño, el límite de control inferior (LCL). Una estadística de muestra, ubicada entre los límites de control superior e inferior, indica que el proceso está mostrando causas comunes de variación, mientras que una muestra ubicada fuera de estos límites indica que el proceso está mostrando causas asignables de variación.

Los gráficos de control se usan para evaluar un proceso de la siguiente manera:

Se toma una muestra aleatoria del proceso y se calcula una medida de desempeño variable o de atributos.

Si la estadística se ubica fuera de los límites de control del gráfico o se comporta de manera inusual, se busca una causa asignable.

Se elimina la causa si ésta degrada el desempeño, se incorpora la causa si mejor el desempeño. Se reconstruye el nuevo gráfico de control con los nuevos datos.

Se repite periódicamente todo el procedimiento.

Un gráfico de control es un dibujo como el mostrado en la figura 7, que determina si el modelo de probabilidad (variabilidad) es estable o cambia a lo largo del tiempo. Hay distintos tipos de gráficos de control referidos a distintas pautas de variabilidad. Pero todos tienen unas características comunes y se interpretan de la misma manera. En todos los casos es una **prueba de hipótesis estadística**.

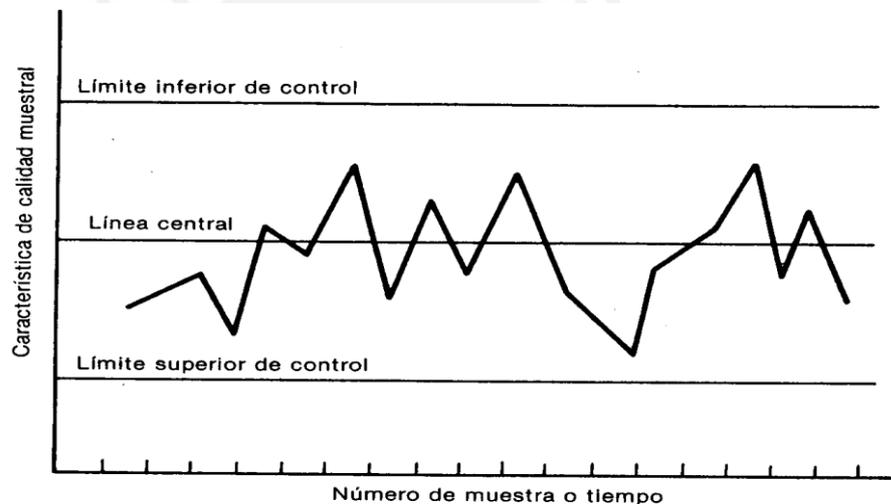


Figura 1.8: Grafica de control de un proceso.
Fuente: edu.jccm.es/ies/donbosco

Capacidad de Proceso.

El mercado (clientes) establece las tolerancias que debe cumplir el producto. Un producto fabricado fuera de esas tolerancias se considerará un producto sin la calidad requerida, es decir, defectuoso (Arvelo, 1998: p176). Las tolerancias son los requerimientos técnicos para que el producto sea admisible para su uso, siendo establecidos por el cliente, el fabricante o alguna norma; mientras que la capacidad es una característica estadística del proceso que elabora dicho producto. Para el caso en mención se especificó un intervalo de tolerancias acorde al producto que se va a evaluar durante el estudio.

Para relacionar ambos conceptos se define el índice de capacidad C_p como el cociente entre el rango de tolerancias del proceso y la capacidad, como intervalo natural de variación, del mismo:

$$C_p = \frac{\text{Intervalo de tolerancias}}{\text{Capacidad}} = \frac{USL - LSL}{6\sigma}$$

Dónde:

USL= *Upper Specification Limit* → Límite de Especificación Superior

LSL = *Lower Specification Limit* → Límite de Especificación Inferior

σ = Se estima empleando la desviación estándar muestral S y el rango R

$$\sigma_{\text{estimado}} = \frac{R}{d_2} = \frac{S}{C_4}$$

Donde d_2 y C_4 son dos constantes². El valor numérico de ambas constantes depende del tamaño de la muestra tomada para el experimento.

Resultados posibles de C_p :

- $C_p > 1$ -> se dice que el proceso es capaz, pues prácticamente todos los artículos que produzca estarán dentro de las tolerancias requeridas.
- $C_p = 1$ -> habrá que vigilar muy de cerca el proceso, pues cualquier pequeño desajuste provocará que los artículos no sean aceptables.
- $C_p < 1$ -> se dice que el proceso no es capaz.

h) Pruebas de hipótesis

Según Córdova (2003: p417-418) se denomina prueba de hipótesis a cualquier afirmación o conjetura que se hace acerca de la distribución de una o más poblaciones. Esta puede referirse a la forma o al tipo de distribución estadística de la población en estudio, o a los valores de los parámetros de la distribución, conocida su forma.

Hipótesis nula e hipótesis alternativa. Se denomina hipótesis nula (H_0) a la hipótesis que es aceptada provisionalmente como verdadera y cuya validez será

² Los valores d_2 y C_4 son hallados en tablas y gráficas de control, siempre y cuando se sepan los valores de la media muestral, la desviación y el rango de la muestra.

sometida a comprobación experimental. Por lo tanto es la hipótesis principal a probar. La hipótesis alternativa (H_1) es la hipótesis contraria a la H_0 . Esta se acepta en caso la hipótesis nula sea rechazada.

Regiones de rechazo y aceptación. La distribución muestral del estadístico de muestra se divide en dos regiones, la región de rechazo y la de aceptación. Si el estadístico de prueba cae en la región de aceptación no se rechaza H_0 , pero si cae en la región de rechazo se rechaza H_0 . La región se compone de los valores del estadístico de prueba con muy pocas posibilidades de presentarse en caso de que la hipótesis nula sea cierta. Es más probable que dichos valores se presenten si H_0 es falsa.

Nivel de significancia (α). Es la probabilidad de rechazar H_0 siendo esta cierta. Este error se controla decidiendo el nivel de riesgo que uno esté dispuesto a correr al rechazar H_0 en caso sea cierta. Como el nivel de significancia se especifica antes de realizar la prueba de hipótesis, el riesgo de cometer el error de rechazar la hipótesis nula α está bajo control. Por lo general se selecciona niveles de 0.01, 0.05 o 0.10.

P-Value para la prueba de hipótesis. Según Levine (2008: p281) la mayoría de los programas estadísticos de computo calculan el p-value al realizar una prueba de hipótesis. El p-value es la probabilidad de obtener un estadístico de prueba igual o más extremo que el resultado de la muestra, dado que la hipótesis nula sea cierta. El p-value también se denomina nivel de significancia observado, es el nivel más pequeño que el que se puede rechazar H_0 .

Las reglas de decisión para rechazar H_0 con el método p-value son:

- Si el p-value es mayor o igual a α , no se rechaza H_0 .
- Si el p-value es menor que α , se rechaza H_0 .

i) Análisis de la varianza

El análisis de varianza o ANOVA es un método matemático que permite estudiar los procesos a partir de sus variaciones. Se fundamenta en el análisis de las variaciones alrededor de las medias de los resultados y permite estimar los efectos relativos de cada variable o factor considerado en el resultado del proceso. Permite aplicar las pruebas de hipótesis y el diseño de experimentos, para evaluar las diferencias en más de dos poblaciones.

ANOVA de una vía. Levine menciona que la tabla ANOVA trata sobre los experimentos en los que se considera a más de dos grupos que pertenecen a un factor de interés. Los grupos se definen asignando diferentes niveles del factor. El objetivo de dicho método es analizar la diferencia entre las medias del grupo. En el ANOVA la variación total se subdivide en variación a que se debe a las diferencias entre los grupos y la variación que obedece a diferencias dentro de otros grupos. La variación dentro del grupo se considera un error aleatorio. La variación entre el grupo se debe a diferencias de un grupo a otro, y también se conoce como efecto del tratamiento.

j) **Diseño de Experimentos (DOE)**

El diseño de experimentos es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. Este procedimiento estadístico involucra varias herramientas para la optimización de recursos. La identificación de causas de variabilidad son algunos de los objetivos del diseño de experimentos aplicados en nivel industrial. (Montgomery, 2004)

Algunas tipos de diseño experimental:

- Diseño factorial 2^k para $k=2$ factores.
- Diseño factorial 2^k para $k=3$ factores
- Diseño factorial 2^k con replica, para $k>3$ factores

Para dichos casos se emplean ecuaciones de contraste, signos algebraicos para calcular los efectos del diseño y tablas ANOVA para los diseños. A continuación un ejemplo de ecuaciones de contraste de factores, donde a y b son los factores y n es el número de réplicas, mientras que A y B son los resultados de dichas ecuaciones y AB la combinación de estos.

$$A = [a+ab-b-(1)]/2n$$

$$B = [b+ab-a-(1)]/2n$$

$$AB = [ab+(1)-a-b]/2n$$

Para los signos algebraicos mencionados, para efectos de diseño se debe realizar una combinación de tratamientos de todas las variables involucradas, como se muestra en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Combinación de Tratamientos del diseño de experimentos.

Tratamientos	I	A	B	AB
(1)	+	-	-	+
A	+	+	-	-
B	+	-	+	-
AB	+	+	+	+

Fuente: Montgomery & Runger (2009)

Luego de haber asociado los tratamientos del experimento entre sí, se procede a realizar la tabla ANOVA para el diseño del experimento, como la mostrada en la tabla 1.2. Esta se elabora realizando primero una prueba de hipótesis, siendo la hipótesis nula:

$H_0 =$ Todos los tratamientos producen el mismo efecto. $H_0: \tau_i = 0, \forall i$.

A ésta se le contraponen la hipótesis alternativa:

$H_1 =$ Al menos dos difieren significativamente entre sí. $H_1: \tau_i \neq 0$ por lo menos para algún i .

Donde τ_i es el efecto del tratamiento i -ésimo, e i es uno de los tratamientos del experimento.

Tabla 1.2. Estructura de Tabla ANOVA

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	FO
Tratamiento A	SSA	a-1	$MSA = SSA / a-1$	MSA / MSE
Tratamiento B	SSB	b-1	$MSB = SSB / b-1$	MSB / MSE
Interacción AB	SSAB	$(a-1)(b-1)$	$MSAB = SSAB / (a-1)(b-1)$	$MSAB / MSE$
Error	SSE	$ab(n-1)$		
Total	SST	$abn - 1$	$MSE = SSE / ab(n-1)$	

Fuente: Montgomery y Runger. (2009)

Según el resultado que salga en la tabla, las interacciones de dichos factores no afectan significativamente a la respuesta, pues su F_o es menor a F_t^3 . Por lo tanto se pueden eliminar.

³ Los valores F_o y F_t indican que los cocientes del cuadrado medio de cada tratamiento de un efecto entre la suma de cuadrados del error se ajustan a una distribución Fisher (F), donde F_o es calculado y F_t se encuentra en las respectivas tablas estadísticas teóricas.

Si un efecto principal no afecta significativamente, no se puede eliminar si existen interacciones dobles donde estas se encuentren (ejemplo: no se puede eliminar A si es que existen AB o AC).

El diseño de experimentos tiene una gran variedad de aplicaciones y puede ser aplicado a un gran número de industrias, la optimización de recursos, la identificación de causas de variabilidad son algunos de los objetivos del diseño de experimentos aplicados en nivel industrial.

k) Evaluación de repetibilidad y reproducibilidad

Según Escalante (2003: p67), la repetibilidad es la variación de las mediciones hechas por un solo operador en la misma pieza y con el mismo instrumento de medición. Se la define como la variación alrededor de la media. Esta variación debe ser pequeña con respecto a las especificaciones y a la variación del proceso. Mientras que la reproducibilidad es la variación entre las medias de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición.

Los pasos para realizar dicho estudio, también conocido como estudio GageR&R, son:

Calibrar el instrumento de medición.

Seleccionar dos o tres operarios que midan al menos 2 veces las mismas piezas en orden aleatorio.

Seleccionar las piezas que cubran todo el rango de variación de la especificación, incluyendo algunas que no se encuentren dentro del rango.

Realizar la prueba utilizando un software estadístico (se utilizó Minitab 16).

Se debe verificar que la variación del sistema de medición sea menor a 9% y que la variación total sea menor a 30%.

1.4. Metodología Six-Sigma

Six Sigma es una metodología de mejora de procesos, centrada en la reducción de la variabilidad de los mismos, consiguiendo reducir o eliminar los defectos o fallas en la entrega de un producto o servicio al cliente. Fue implementado por primera vez por la conocida firma Motorola en el año 1985 y se hizo mucho más conocida cuando Jack Welch centró su estrategia de negocios en el *Six-Sigma* en General Electric en 1995 (Fuente: Process Quality Associates Inc. 2006).

Según Barba (2001) 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.

Six Sigma utiliza herramientas estadísticas como las pruebas de Normalidad para la caracterización y el estudio de los procesos, de ahí el nombre de la herramienta, ya que sigma es la desviación típica que da una idea de la variabilidad en un proceso y el objetivo de la metodología *six-sigma* es reducir ésta de modo que el proceso se encuentre siempre dentro de los límites establecidos por los requisitos del cliente.

Selección de Proyectos.

Un proyecto *Six-sigma* puede ser usado para mejorar a toda la empresa en su conjunto o para mejorar una sola operación de producción. Conceptualmente los resultados de los proyectos se obtienen por dos caminos. Los proyectos consiguen, por un lado, mejorar las características del producto o servicio, permitiendo conseguir mayores ingresos; y por otro, el ahorro de costos que se deriva de la disminución de fallas o errores y de los menores tiempos de ciclo en los procesos.

Si el promedio del proceso es mayor al valor meta, entonces el proceso está centrado, de lo contrario se dice que está descentrado. El **Nivel de calidad Sigma** (véase la tabla 1.3) puede ser expresado como k sigma, en donde k se obtiene de dividir la mitad de la tolerancia entre la desviación estándar del proceso. Por ejemplo, si se tiene un proceso con una meta de 100 y una tolerancia de más o menos 12, si la desviación estándar S. es igual a 4 el proceso tiene un nivel de calidad de 3 *sigma* y si la desviación estándar es 2, el proceso tiene un nivel de calidad de 6 sigma.

Tabla 1.3. Nivel de Calidad Sigma

Alejado del Centro	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
0.00	1350	233	32	3.4	0.29	0.019	0.001
0.25	2980	577	88	11	1.02	0.076	0.004
0.50	6210	1350	233	32	3.4	0.29	0.019
0.75	12224	2980	577	88	11	1.02	0.076
1.00	22750	6210	1350	233	32	3.4	0.29
1.25	40059	12224	2980	577	88	11	1.02
1.50	66807	22750	6210	1350	233	32	3.4
1.75	105650	40059	12224	2980	577	88	11
2.00	158655	66807	22750	6210	1350	233	32

Fuente: Evans (2008: p.505)

De acuerdo a Evans (2008: p284), lo que se debe tomar en cuenta al momento de seleccionar un proyecto *six sigma* es lo siguiente:

- Recuperación financiera.
- Impacto sobre los clientes y la eficacia de la organización.
- Probabilidad de éxito.
- Impacto en los empleados.
- Adaptación a la estrategia y ventaja competitiva.

El proceso que se va a mejorar debe ser repetitivo y medible para poder determinar las causas de los problemas que se pueden solucionar.

Implementación Six Sigma.

Six sigma es una metodología de trabajo que requiere tiempo y compromiso, desde los directivos de la empresa hasta los empleados. Además la gerencia debe comprometerse a proporcionar los medios necesarios para lograr los objetivos trazados. (Krajewski 2008: p233)

Para facilitar la implementación Six-sigma, es importante la formación de un equipo de proyectos que aprenda no solamente el uso de las herramientas y técnicas que mejoren el desempeño de los procesos, sino que además desarrollen técnicas que ayuden a motivar a que los interesados o personas clave acepten las soluciones que impulsan el mejoramiento de los procesos. La estructura humana del equipo de proyectos Six Sigma, según Gitlow (2005) se compone de:

1. Campeones (*Champions*). Son los directores de área quienes proveen la dirección estratégica y recursos para apoyar a los proyectos por realizar. Seleccionan equipos, establecen la dirección estratégica, crean objetivos medibles, proporcionan recursos, tienen el seguimiento de desempeño, toman decisiones de implementación e informan los resultados a la alta dirección.
2. Maestros Cinta Negra. (*Master black belts*): Personal seleccionado y capacitado, que ha desarrollado actividades de Cinta Negra y coordinan, capacitan y dirigen a los expertos Cinta Negra en su desarrollo como expertos *Six Sigma*.

3. Cintas Negra (*Black belts*). Expertos técnicos que generalmente se dedican de tiempo completo a la metodología *Six Sigma*. Son los que asesoran, lideran proyectos y apoyan en mantener una cultura de mejora de procesos. Se encargan de capacitar a los Cinta Verde.
4. Cintas Verde (*Green belts*). Expertos técnicos que se dedican en forma parcial a actividades de *Six Sigma*. Se enfocan en actividades cotidianas diferentes de *Six Sigma* pero participan o lideran proyectos para atacar problemas de sus áreas.

Metodología DMAIC

En la metodología Six sigma, DMAIC son las iniciales en inglés de las fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar (*Improve*) y controlar.

a) Definición:

Consiste en hacer una descripción del problema presente actualmente en la empresa, los tipos de clientes que esta tiene, además de las características que estos buscan del producto que la empresa les ofrece.

Definir casi siempre responde a los síntomas de un problema y por lo regular da como resultado un enunciado vago como el mismo, por lo tanto hay que describir el problema en términos operativos que faciliten un análisis posterior.

Por último, se enuncian los procesos críticos, los cuales determinarán la calidad del producto final y si este cumple los requerimientos del cliente.

b) Medición:

En esta fase se miden los procesos internos que tienen un impacto en los clientes y en los críticos de la calidad. Es de suma importancia entender las relaciones de causalidad entre el desempeño de los procesos y el valor para el cliente. Luego de ello se definen los procedimientos para recopilar los datos adecuados. El tener información referente a los procesos y prácticas de producción proporciona información vital, al igual que la retroalimentación por parte de los supervisores, trabajadores y clientes.

Six-sigma utiliza una función en matemáticas para ilustrar la relación entre el proceso de desempeño y el valor del cliente: $Y=f(X)$. Donde Y es el conjunto de

críticos de la calidad (variable dependiente) y X el conjunto de variables críticas de entrada que influyen en Y. (Evans 2008: p510-512)

En su primera etapa se realiza un plan de recolección de datos para definir qué se debe medir, la cantidad de datos a recolectar, los tipos de datos con los que se va a trabajar, y luego se definen las metas y especificaciones de los productos y servicios para el cliente. En la segunda etapa se ejecuta el plan de recolección de datos, donde se calcula la línea base sigma, punto de partida del proceso o servicio a mejorar.

c) Análisis:

En esta etapa se determinan las raíces de por qué ocurren los defectos, y se identifican las variables en el proceso que causan los defectos.

Los datos recolectados en la fase de medición deben analizarse, el tipo de análisis depende de la naturaleza de los datos recogidos, ya sean discretos o continuos. Para el caso de los datos discretos se realiza un Diagrama de Pareto o un diagrama de pastel, mientras que para el otro caso se realiza el análisis con una hoja de distribución de frecuencias o un diagrama de tendencias en Excel.

En el análisis de los procesos se identifican las principales ineficiencias y falencias presentes para luego identificar las posibles causas de dichas falencias. Se desarrolla un Diagrama de causa-efecto para poder llegar a las causas raíz de los problemas

d) Mejora:

Una vez encontradas las causas raíz se lleva a cabo la fase de mejora del proceso. Aquí se generan soluciones y se escogen las que logren llegar a lo deseado por el cliente.

Las soluciones propuestas deben ser creativas, tienen que reparar los problemas existentes en el proceso y prevenir nuevos problemas que puedan ocurrir en el futuro, de modo que los resultados se aproximen a los ideales. Además de mantener al tanto al personal de la planta sobre cualquier tipo de cambio a mejora y capacitarlos en caso sea necesario.

e) Control:

Sirve para monitorear las mejoras aplicadas y los resultados obtenidos de ellas para asegurar el continuo éxito. Para esto se debe crear un plan de control y actualizar

documentación de los procesos. Las gráficas de control pueden ser de utilidad para esta etapa.

La última etapa de control no se desarrollará en la presente tesis debido a que el propósito vital es el de proponer mejoras, mas no implementarlas directamente.

m) Costos de Calidad

En su libro “Seis Sigma” Barba da a entender por costo de calidad, al costo de personal, material y herramientas, equipos e instalaciones empleados por todos los grupos de la empresa en relación a las actividades vinculadas con la calidad.

El costo de la calidad tiene la siguiente estructura:

- Costo de prevención: Es el costo de todas las actividades y medidas tendientes a prevenir fallas o problemas.
- Costo de evaluación o costos propios: Es el costo de los ensayos, inspecciones o auditorías para evaluar si la calidad especificada es lograda y mantenida.
- Costo de fallas o pérdidas internas: Son los costos resultantes de ineficiencias o de un producto que no logra cumplir con los requisitos de calidad, previo a su entrega al cliente.
- Costo de fallas o pérdidas externas: Son los costos resultantes de un producto o servicio que logra cumplir con los requisitos de calidad, luego de ser adquirido por el cliente.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La empresa escogida para realizar el estudio está dedicada a la fabricación de artículos y exhibidores para supermercados y adicionalmente brinda servicio de pintura electrostática. Su objetivo a corto plazo es buscar elevar las ventas de sus productos y/o/servicios en el gran mercado que existe en nuestro país.

En el año 2005, dos empresarios peruanos se plantearon la idea de desarrollar una empresa que se dedicara a un rubro con muy poca actividad en el mercado nacional como el de mobiliario comercial. La mayoría de supermercados nacionales cuenta con proveedores de anaqueles para sus tiendas en el extranjero.

El negocio empezó como un taller de soldadura, pero la maquinaria y herramientas con las que la empresa contaba en dicho momento no eran suficientes para realizar estructuras grandes como los anaqueles que hoy en día se aprecian en los supermercados, por lo que en una junta con los principales clientes en ese momento, los dueños de la empresa ofrecieron brindar un servicio de calidad en el mantenimiento y reposición de los anaqueles.

Poco tiempo después, la empresa dejó de dedicarse exclusivamente a la manufactura con metales y también incluyó dentro de sus productos para venta artículos hechos de madera y de plástico. Sin embargo, su principal enfoque continua siendo el mantenimiento a base de pintura electrostática o *Powder-coating*.

2.1. Sector y actividad económica.

La empresa es una fábrica manufacturera que se dedica a realizar las siguientes actividades:

- Fabricación de artículos y exhibidores para supermercados y demás tiendas comerciales.

CIU 2811: Manufactura de productos de metal estructurales.

- Servicio de pintura electrostática para mantenimiento de dichos exhibidores.

CIU 2892: Tratamiento y revestimiento de metales con pintura.

2.2. Perfil organizacional y principios empresariales.

- **Visión:** Convertirse en una empresa líder en la distribución de artículos metálicos y los servicios de pintura, logrando así la satisfacción de sus clientes a través de un excelente servicio brindado por sus trabajadores.
- **Misión:** Desarrollar artículos y servicios que sirvan para destacar y promover la compra y presencia de productos por parte de sus clientes, colaborando con los consumidores a facilitar la compra. También se comprometen a desarrollar productos y/o servicios que no dañen de ninguna manera el medio ambiente.
- **Objetivo y valor empresarial:** Ser una empresa que logre atender de mejor manera a sus clientes utilizando las herramientas necesarias para destacar sus productos; primando la calidad y el tiempo de entrega.

2.3. Estructura organizacional de la empresa.

La empresa se distribuye en 8 áreas en total, las cuales están ordenadas jerárquicamente como se muestra en el organigrama de la empresa en el gráfico 2.1.

Gerencia General: Su función es liderar la gestión empresarial, enrumbando a la empresa por el camino del éxito. Así mismo, es la que se está encargando de idear políticas que la empresa va a seguir a futuro.

En la actualidad la gerencia general también se encarga de desarrollar actividades de estrategia comercial, logrando conquistar un segmento del mercado y se traza como objetivo serle fiel al cliente. También es la que toma la decisión final para la ejecución de algún proyecto.

Área Administrativa: Su función es la de ordenar la documentación (facturas, guías de remisión, órdenes de compra, cartas y estados de cuenta) para lograr una mejor gestión de estos y priorizar los más importantes.

Elabora una lista detallada de los proveedores y clientes, además es la que se encarga de actualizar los datos de los trabajadores. Actualmente el área se está rediseñando en sus operaciones, para un mejor servicio a las otras áreas.

Área de Diseño: Esta área es la más nueva de todas las que tiene Fusta-Ferro, ya que antes el cliente debía entregar un plano con el diseño del producto solicitado a la empresa para así ejecutar la orden, por eso se creó esta área, para brindarle mayor confort al cliente.

Área de Producción: Es el motor que hace caminar la empresa, es el núcleo de esta y trabaja en conjunto con todas las demás áreas para facilitar la parte productiva. Dentro del área de producción están ubicadas dos aéreas donde se realizan los procesos de soldadura y pintura. También se realizan procesos de corte y dobléz, pero la empresa ha optado por tercerizar dichos procesos ya que estos se realizan en menor medida a diferencia de los dos anteriores.

Almacén: Se encarga de:

- Realizar el inventario de los materiales, maquinarias y equipos utilizado por la empresa.
- Informar sobre los requerimientos de materiales al área de planeamiento de producción, según los stocks de materia prima a usar en los procesos de fabricación, pintura y mantenimiento en el momento oportuno.
- Realiza los reportes de ingreso y salida de materiales.

Además de todo eso, es un agente cooperador, se encarga de realizar la programación de mantenimiento de maquinaria y equipos.

En la figura 21 se muestra el organigrama de la empresa y como está constituida por las áreas previamente explicadas.

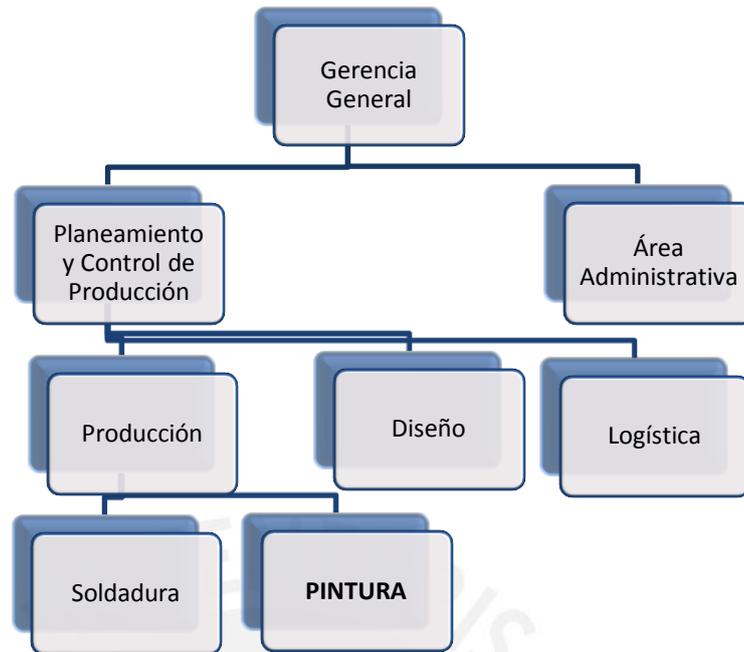


Figura 2.1: Organigrama Aplicado en la Empresa.
Fuente: Elaboración Propia.

2.4. Entidades participantes en el modelo de negocio.

Clientes importantes.

Entre sus clientes más importantes se encuentran los miembros del retailer más grande de Sudamérica: Cencosud. También presta sus servicios a supermercados nacionales como Plaza Vea, Vivanda y Economax. Su servicio no solo se limita a los supermercados, puesto que también atiende a otros tipos de tiendas como mangos, Minka, Coats Cadena S.A., Lima Golf Club y Ripley.

Proveedores:

La empresa trabaja con diversos materiales, en su mayoría metales. También requiere de los servicios de compañías que proveen servicios de combustible y de algunos procesos tercerizados.

Materia Prima:

- Corporación Masider SAC
- Polimetales SAC.
- Comfer S.A.
- Equipamientos y suministros SAC.

Pintura:

- Corporación Peruana de Productos Químicos
- Compañía Global de Pinturas S.A.

Gas:

- Indura S.A.
- Llamagas S.A.C.

Servicio de corte y dobléz:

- SERVICORD J.A. S.A.C.
- ISMI METALES SAC.
- METALES Y AFINES S.A.C.

La empresa también trabaja con la Municipalidad de Lima.

La empresa no tiene competencia directa, pero es importante mencionar empresas encargadas de equipar a los supermercados y demás tiendas en cuanto a mobiliario comercial se refiere, pese a que dichas empresas no elaboran dicho mobiliario, sino que estos son importados. La empresa en estudio se encarga del mantenimiento y/o reposición de algunos accesorios de los supermercados equipados por dichas empresas.

Respecto al rublo de pintura, al igual que la empresa, existen otras entidades especializadas en pintura electrostática como Maelsa S.A. y Fierros Lino S.A.

La empresa no cuenta con socios capitales ni colaboradores, tampoco pertenece a ningún tipo de gremio o institución.

La forma como está relacionada la empresa con todas las entidades mencionadas se muestra en la figura 2.2. Mapa relacional de la empresa de estudio.

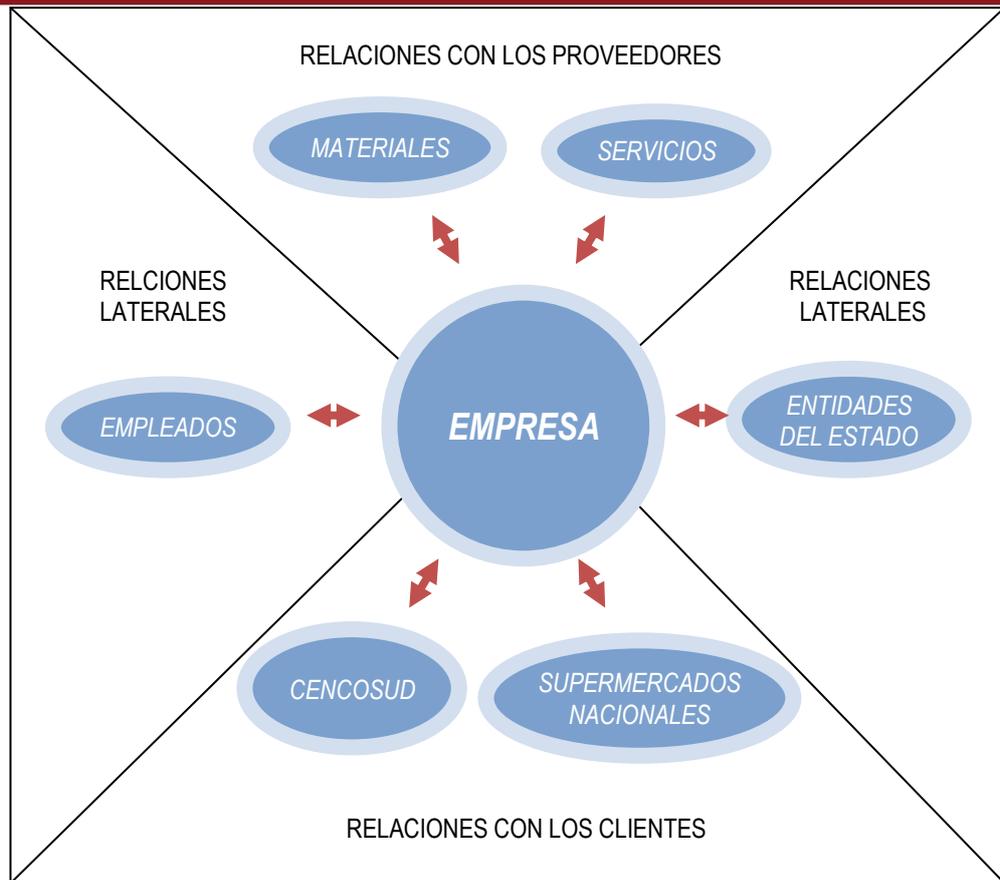


Figura 2.2 Mapa relacional de la Institución.
Elaboración Propia

2.5. Enfoque de Mintzberg

Es importante conocer todas las actividades que realiza la empresa, a qué procesos pertenecen y quienes son las personas que lo realizan, pero también es importante saber qué es lo que hacen los gerentes cuando trabajan, y en qué tipo de arreglo organizacional trabajan ellos (si es que están por debajo de un director o si encabezan toda la organización).

Según Mintzberg (2004), el gerente de la empresa, de cualquier nivel, ejerce una autoridad formal. Ocupa por lo tanto un status o posición social desde donde debe interactuar con otras personas. De tales interrelaciones surge un flujo de información que permite la toma de decisiones al momento de empezar una orden de trabajo que haya llegado a la empresa.

2.6. Descripción de las instalaciones y recursos de la empresa.

Planta o fábrica y edificaciones:

La empresa tiene una infraestructura de aproximadamente 3200m² de área, de los cuales 600 pertenecen al taller de metalmecánica y pintura y el resto a oficinas y una rampa donde un camión suele dejar materia prima. Se está ideando un proyecto de expansión y remodelación de planta, uno de los planes es colocar un techo de forma arqueada para proteger los productos del almacén exterior contra la lluvia y la humedad.

Tipo de Distribución:

Distribución por producto, también llamada distribución de Taller de Flujo. Esto es porque se disponen el equipo o los procesos de trabajo de acuerdo con los pasos progresivos necesarios para los productos que se fabrican en la planta (ver figura 2.3). También hay equipos que se dedican a la producción continua de herramientas que van directamente al almacén para su posterior uso, por lo general se les denomina Línea de Montaje.

Instalación de soporte de los procesos:

No hay plantas de energía dentro de la fábrica, el combustible que usan varias de las maquinas es el gas licuado de petróleo (GLP), cuyos tanques están ubicados en la planta superior al taller. Son tres tanques de los que dispone todo el taller.

Para los demás procesos se cuenta con las instalaciones eléctricas adecuadas para realizar las actividades de la empresa a cualquier hora del día.

Maquinaria y herramientas de trabajo:

Existe una amplia gama de maquinarias y equipos ubicados tanto en el almacén de herramientas como dentro del taller de la fábrica.

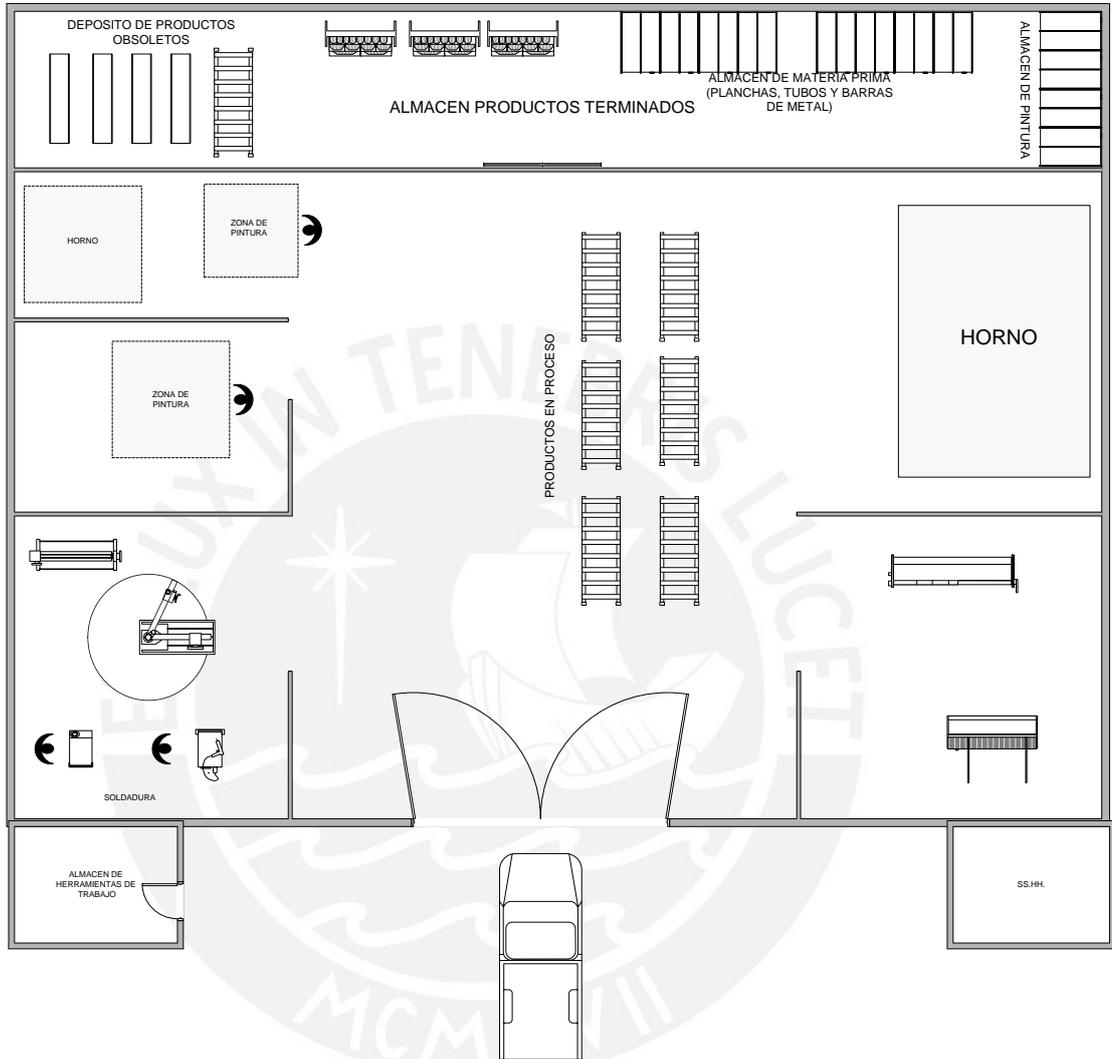


Figura 2.3. Layout de la planta de producción.
Elaboración propia.

Las herramientas consisten en amoladoras y esmeriles que se utilizan en el área de metalurgia. Para los procesos de corte y doblaje están las cizallas, guillotinas y una pequeña tronzadora circular, así como las dobladoras hidráulicas; dichas herramientas se usan manualmente para cortar y doblar piezas pequeñas de metal, mientras que las piezas más grandes pasan a tercerización. Se utilizan también máquinas de resistencia por punto para los procesos de soldadura y esmeriles de banco y lijadoras para otros tipos de trabajo con metales.

Para los procesos de pintura se emplean máquinas que contienen la pintura en polvo, y pistolas especiales para dicho proceso. La empresa cuenta también con 2 hornos, uno pequeño con 2 quemadores, y uno grande con 4 quemadores. También se cuenta con pistolas para pintura líquida.

Varias herramientas funcionan con energía eléctrica, pero también hay otras que funcionan con combustible, por eso la empresa también cuenta con tanques de gas y compresoras para los procesos necesarios, sobre todo los de horneado.

Como cualquier otra empresa de procesos de manufactura, esta también cuenta con otras herramientas como calibradores, caladoras y taladros.

Recursos

Materia prima que insume.

La materia prima que llega a la empresa son piezas de metal en forma de planchas, barras, varillas, ángulos, tubos y otras formas que el proceso requiera. Estos recursos vienen de los proveedores para su posterior uso en metalmecánica.

En la tabla 2.2 se muestra a detalle la materia prima utilizada para los procesos de la empresa. Se trabaja específicamente con metales como fierro negro, acero inoxidable y aluminio, estos vienen en las formas ya mencionadas y con las medidas solicitadas para realizar los trabajos.

En las figuras 2.1 y 2.2 se aprecian dos ejemplos de las formas en las que la materia prima ingresa a la fábrica para su posterior procesamiento.

Tabla 2.1. Materia prima utilizada en procesos de manufactura.

<p>○ Fierro Negro:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tubos cuadrados: (longitud de diagonal x largo) <ul style="list-style-type: none"> • 1" x 6.0m • ¾" x 6.0m • 1" ½ x 6.0m • 1" ¼ x 6.0m ▪ Tubos rectangulares: (ancho x largo de sección x largo) <ul style="list-style-type: none"> • 1" ½ x ½" x 6.0m • 2" x 1" x 6.0m ▪ Tubos redondos: (diámetro de sección x largo) <ul style="list-style-type: none"> • 7/8" x 5.5 m • ¾" x 6.0m • 2" x 6.0m • 7/8" x 6.0m • 1" x 6.0m ▪ Varillas: (diámetro de sección x largo) <ul style="list-style-type: none"> • 7.0mm x 9.0m • 4.5mm x 9.0m • 4.0mm x 9.0m • 3.5mm x 9.0m ▪ Ángulos: (Largo x ancho x espesor) <ul style="list-style-type: none"> • 1" ½ x 1/8" x 6.0m • 1" ½ x 1/8" x 5.0m • 1" x 1/8" x 6.0m 	<p>○ Acero Inoxidable:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tubos redondos: (diámetro de sección x largo) <ul style="list-style-type: none"> • ½" x 6.0m • 2" x 6.0m • 2" x 4.0m • ¾" x 1.5m • 1" x 6.0m • ½" x 4.0m • ½" x 3.0m • ¾" x 6.0m ▪ Tubos cuadrados: (longitud de diagonal x largo) <ul style="list-style-type: none"> • 1" x 6.0m • 1" x 5.0m • ¾" x 4.5m • 1" x 1.0m • 1" x 0.8m ▪ Tubos rectangulares: (ancho x largo de sección x largo) <ul style="list-style-type: none"> • 1" 1/8 x ½" x 1.0m
<p>○ Fierro Negro:</p>	<p>○ Aluminio:</p>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Platinas: (Largo x Ancho x Espesor) <ul style="list-style-type: none"> • 1 ¼ x 1/8 x 6.0m • 1 x 1/8 6.0m • ¾ x 1/8 x 6.0m • ½ x 1/8 x 6.0m 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Varillas: (diámetro de sección x largo) <ul style="list-style-type: none"> • 10.0mm x 6.0m • 7.0mm x 2.0m • 7.0mm x 6.0m ○ Fierro Negro: ▪ Planchas: (Largo x Ancho x Espesor) <ul style="list-style-type: none"> • 2.4m x 1.2m x 2.0mm • 2.4m x 1.2m x 0.9mm • 2.5m x 1.2m x 2.4mm • 1.5m x 1.2m x 2.4mm



Figura 2.4. Platinas de fierro negro.

Figura 2.5. Planchas de fierro negro.

El otro insumo que llega a la empresa es la pintura en polvo, esta viene de los proveedores de pintura en diversos colores para luego ser aplicada al proceso de pintura electrostática.

Tabla 2.2. Colores de pintura solicitados por la empresa.

Peso	Pintura	Peso	Pintura
25Kg	Verde Fusta	25Kg	Blanco Armonía
25Kg	Rojo Fusta	25Kg	Blanco Rall 9001 (Marfil)
25Kg	Azul Pantone	25Kg	Aluminio BD
25Kg	Gris Rall 7032	25Kg	Aluminio 22125
25Kg	Marrón Fusta	25Kg	Negro Brillante
25Kg	Rojo Coca Cola	25Kg	Platinum
25Kg	Blanco Azahar	25Kg	Plata Quemada
20Kg	Poliéster Clear	25Kg	Blanco Platinum
25Kg	Marfil Siam	25Kg	Negro Rall

El tercer tipo de material que ingresa a la planta son los productos ya elaborados en la empresa que requieren cierto tipo de mantenimiento, que generalmente consiste en remover el óxido, soldar ciertas partes y por último, pasan a renovación por el proceso de pintura electrostática.

Listado detallado de productos.

Material: Fierro negro.

Número de piezas: 5.

Cliente: Supermercado Wong.



Figura 2.6. Exhibidor de vegetales.

Material: Fierro negro.

Número de piezas: 1

Clientes: Supermercados Wong y Metro.



Figura 2.7. Tachos de basura.

Materia: Acero inoxidable.

Número de piezas: 5.

Cliente: Supermercado Plaza Vea.



Figura 2.8. Canastillas.

Material: Acero inoxidable.

Número de piezas: 9

Cliente: Supermercado Vivanda.



Figura 2.9. Porta-Platos

Material: Fierro negro.
 Número de piezas: 1
 Cliente: Supermercado Wong.
 Forma parte de las góndolas de exhibición.



Figura 2.10. Fondos 1.33m.x0.4m.

Material: Fierro negro.
 Número de piezas: 1
 Cliente: Supermercado Wong.
 Forma parte de las góndolas de exhibición.



Figura 2.11. Bandejas 1.3m.x0.6m

Material: Fierro negro.
 Número de piezas: 1
 Cliente: Supermercado Wong.
 Forma parte de las góndolas de exhibición.



Figura 2.12. Brazos 0.4m.

Recursos humanos a nivel operativo

Actualmente la empresa cuenta con 5 trabajadores en el área de soldadura, 5 en el área de pintura, de los cuales 3 realizan sus labores en el turno diurno, y los otros 2 trabajan de noche. En cuanto a trabajo fuera del taller se refiere, la empresa cuenta con 4 trabajadores en el área administrativa, 2 encargados del diseño de los productos y 2 encargados íntegramente a la logística de la empresa (compras, abastecimiento e inventario).

En temporada de alta producción se establecen 2 turnos de 10 horas cada turno, en el turno de día está conformado por 10 trabajadores, entre operarios a destajo y contratados, mientras que el turno noche consta de 3 trabajadores más algunos del

turno anterior que se ofrecen a realizar doble turno. Los turnos de trabajo planteados por la empresa son:

De Lunes a Viernes de 8:30am a 1:00pm. y de 2:00pm a 5:30pm. Los sábados de 8:30am a 1:30pm. Este horario es solo para el personal contratado.

De Lunes a Viernes de 8:30am a 1:00pm y de 2:00pm a 6:30pm. Los sábados de 8:30am a 3:00pm. Este horario es solo para el personal a jornal.

Los turnos de noches se llevan a cabo de Lunes a viernes a partir de las 7:00pm hasta las 5:00am. Los sábados solo hay un turno de trabajo, y los domingos solo se trabaja si hay pedidos urgentes que atender.

Las condiciones de trabajo aquí son más favorables durante el turno de día debido a que se cuenta con bastante iluminación y el almacén permanece abierto para tener cualquier herramienta que necesiten a su disposición

Todos los trabajadores de la empresa están en planilla y gozan con todos los beneficios en materia de compensaciones. También cuentan con duchas y vestidores para el final de su jornada laboral.

Productos y Servicios ofrecidos

Los productos que la empresa ofrece son diversos tipos de exhibidores de diferentes tipos y tamaños para diferentes tiendas comerciales, así como pizarrones donde los supermercados anuncian los precios de sus productos y ofertas.

En cuanto a servicios se realiza el mantenimiento de góndolas, las cuales son mobiliario que los grandes supermercados, autoservicios y otros comercios utilizan para acomodar sus productos y mostrarlos al alcance del consumidor.

Normalmente una góndola está formada por dos pies con sus correspondientes escaleras sobre los que se colocan paneles, perforados o no, según si los productos que se desea exponer son colocados en tijas (ganchos) o directamente sobre bandejas.

Como el mantenimiento de góndolas es el servicio que se va a estudiar en el presente, se define el aspecto principal a tener en cuenta al momento de evaluar la calidad de dicho servicio, que es la calidad del acabado de la pintura.

2.7. Descripción de los procesos de la empresa

Los procesos están clasificados en tres categorías, mostradas en la figura 2.13. Estas consisten en:

Procesos estratégicos:

- **Diseño:** Su tarea es la elaboración de planos de los productos que se elaboran en la empresa con sus respectivas dimensiones, de acuerdo a lo que solicite el cliente, luego dicho plano incluye en una orden de trabajo, la cual pasa a producción y se empieza a fabricar empleando los materiales e insumos necesarios.
- **Planeamiento de producción:** En este proceso se planifica los tiempos de procesamiento de la materia prima y que estos no excedan los tiempos de entrega a los clientes, y al mismo tiempo se debe asegurar la calidad del producto. Esta es una manera eficiente de evitar los tiempos ociosos y la inmovilidad de materiales. También se encarga de aprovechar al máximo los recursos, materiales, eficiencia del personal y rendimiento de las máquinas.
- **Logística:** Este proceso consiste en el abastecimiento de la materia prima, controles de inventario en el aspecto interno, y en el transporte de productos terminados, así como la entrega de dichos productos al cliente en el aspecto externo.

Procesos Operativos:

- **Soldadura:** Es uno de los procesos principales desarrollados por la empresa. Empleando los métodos de soldadura a gas, el área se encarga de ensamblar las piezas de metal que conforman los anaqueles y estanterías, y también se encarga de arreglar desperfectos de alguna pieza antes de ingresar al área de pintura.
- **Pintura:** Es el otro proceso principal de la empresa, y al cual se le está dando mayor enfoque debido a la alta exigencia de los clientes con los productos que esta elabora. Se encarga de la presentación final del producto.

Los otros procesos llevados a cabo en la empresa son llamados **procesos de soporte**, estos consisten en actividades que, si no aportan directamente al

producto final, son importantes para que los otros procesos se lleven a cabo. Estos son Recursos Humanos, Control de Calidad y Facturación y Cobranzas.

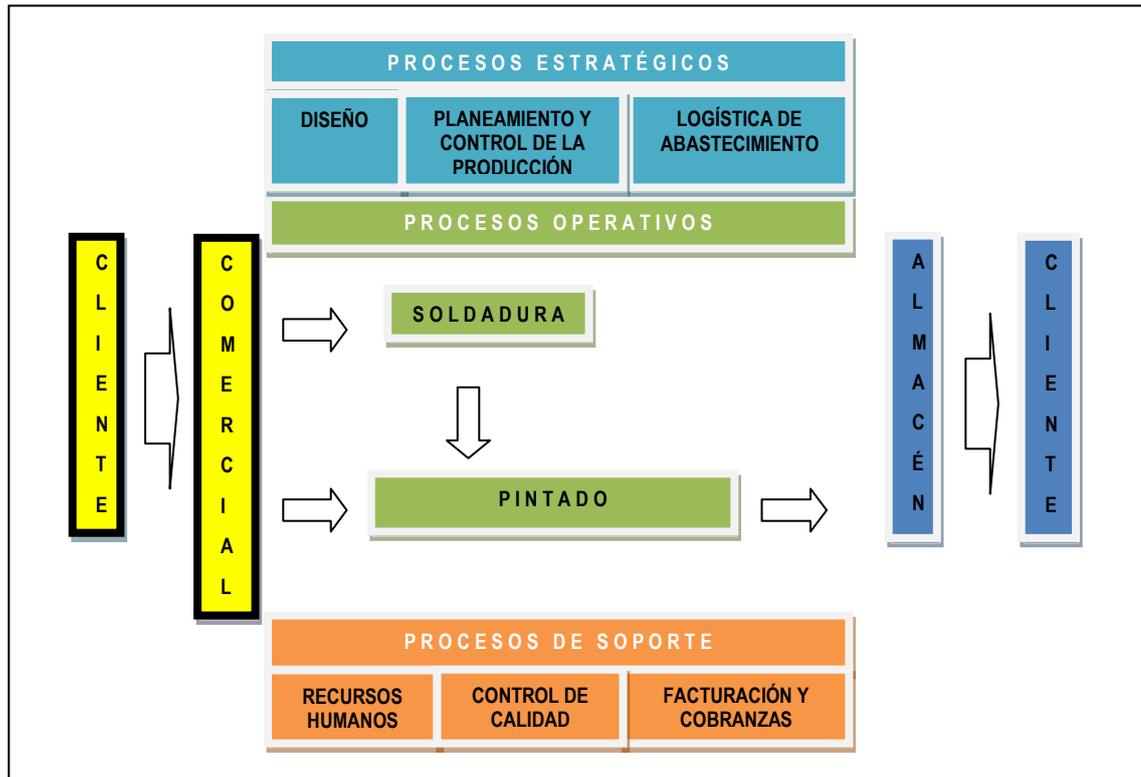


Figura 2.13. Mapa de Macroprocesos.
Fuente: Elaboración propia.

Según Porter (1985) los procesos constan de diversas actividades, las cuales tiene un valor diferente para el cliente final. Estas pueden ser actividades primarias o secuenciales, que se refieren a la creación física del producto, diseño, fabricación, venta y servicio post-venta; y estas a su vez pueden diferenciarse en sub-actividades, directas indirectas y de control de calidad. Estas actividades están apoyadas o auxiliadas por las también denominadas actividades secundarias.

La cadena del valor ayuda a determinar las actividades o competencias distintivas que permitan generar una ventaja competitiva frente a otras organizaciones. En la figura 2.14 se muestra la cadena de valor de la empresa, mostrando sus actividades primarias y secundarias.

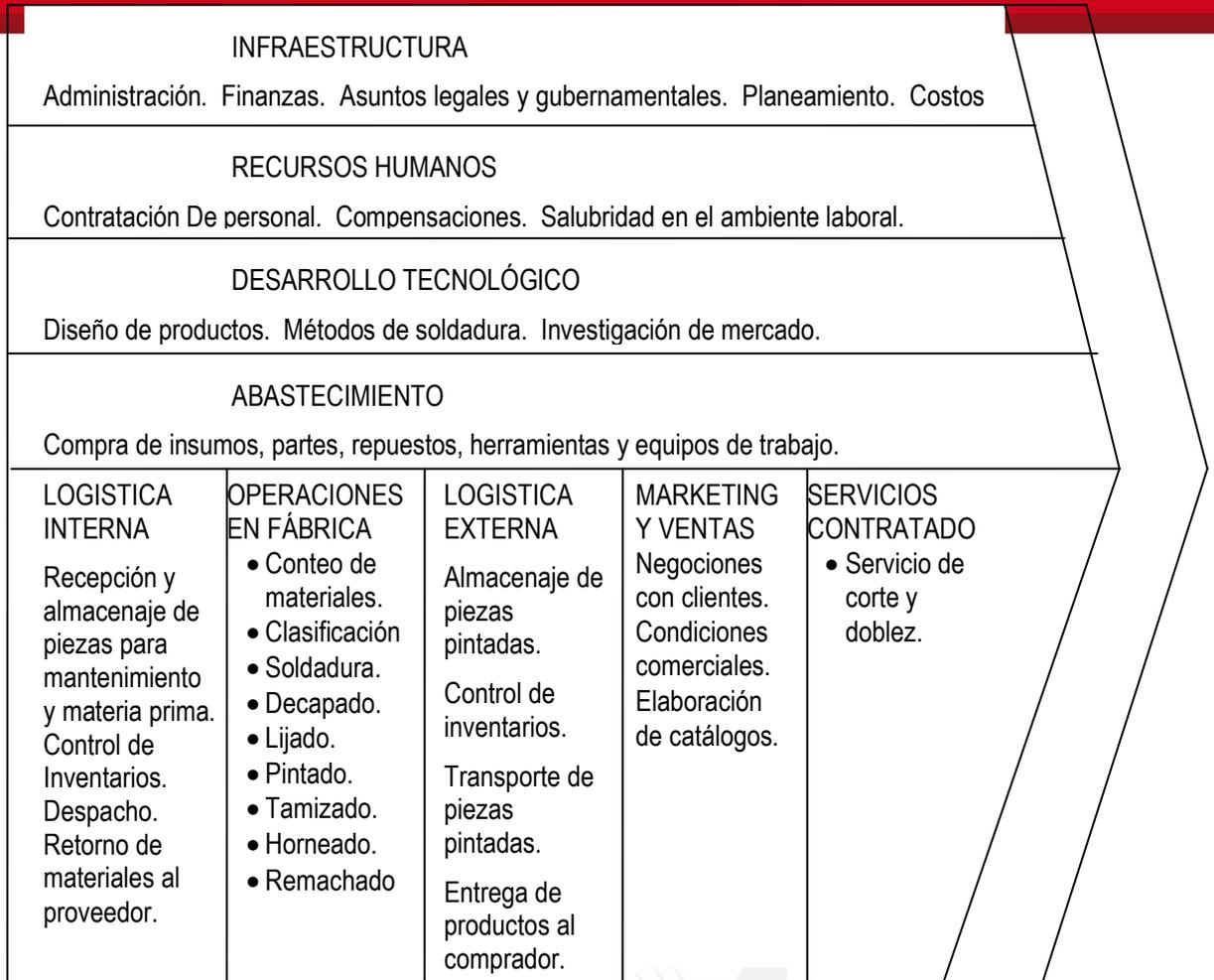


Figura 2.14: Cadena del valor de la Empresa
Fuente: Elaboración propia.

2.8. Operaciones del Proceso.

La empresa es la única a nivel nacional que se caracteriza por brindar servicios de mantenimiento y reposición de superficies metálicas, acrílicas y de madera. Utiliza poliéster *powder-coating* con sistema electrostático. Para hacer dicho mantenimiento, en el caso de góndolas de metal Modelo SIAM, el producto procesado pasa por 6 etapas que constan de un total de 16 actividades las cuales se muestran en el diagrama de operaciones de proceso en la figura 2.15 y se explican a continuación.

Recepción y conteo:

- 1) Conteo de bandejas: Se procede a contar los materiales antes de que ingresen a la fábrica y ver si es la misma cantidad que la establecida en la

orden de trabajo alcanzada al área de producción, luego de contados se trasladan al almacén en un montacargas. El área del almacén es de 20m².

Clasificación del material:

- 2) Quitar viñetas: el material pasa del almacén a la planta de producción y se procede al mantenimiento de pintura continua, para eso se retiran las viñetas ubicadas en la parte lateral de las bandejas (accesorio de la góndola). Se hace de forma manual.
- 3) Clasificar: luego del retirado de viñetas se clasifica el material de acuerdo al estado de conservación: material de primera, que se encuentran en buen estado; y de segunda, los cuales pueden mostrar defectos de soldadura u oxido.

Restauración del material de segunda:

- 4) Soldadura: Las piezas de metal que presentan roturas o separaciones se unen por aplicación de presión y calor con ayuda de un metal como el plomo o cualquier otro cuya temperatura de fusión sea menor a la del material.
- 5) Clasificar Viñetas: De acuerdo al estado en el que se encuentra el material. Si se encuentra sucio, pasa al sector de lavado, de lo contrario pasa a decapado junto a las bandejas.
- 6) Lavado de viñetas: Una vez clasificado el material se procede a transportar las viñetas al sector de lavado, este procedimiento consiste en retirar etiquetas pegadas y otros residuos de las viñetas.
- 7) Decapado: Se retiran las capas de óxido sumergiendo en una tina que contiene una sustancia decapante por un promedio de 30 minutos.
- 8) Lijado: Se lija la superficie del artículo con una lija Nro. 120 para un lijado homogéneo, o una Nro. 80 para retirar óxidos más adheridos al metal. Esto se hace para dejar la superficie libre de imperfecciones que no fueron corregidos en el decapado.

Pintado:

- 9) Colgado de bandejas en el Horno: Después del decapado, el material se traslada a un horno, donde se procede a calentar.

- 10) Calentado de bandejas: Las bandejas y las viñetas que entraron al horno se calientan por 30 minutos a una temperatura de 110°C para que al momento de pinta, el polvo se adhiera mejor a la base.
- 11) Pintado del material: uno a uno se van sacando los metales del horno y pasan a la zona de pintado donde se le aplicará la pintura electrostática de forma recta y horizontal, desde arriba hacia debajo de la superficie y por la parte superior del material.
- 12) Tamizado o colado: 10kg de pintura que se utiliza para pintar, solo 7.86kg se adhiere finalmente al material, mientras que el resto cae al suelo. Esta operación consiste en separar las partículas gruesas y demás impurezas que se haya mezclado con la pintura en polvo del suelo, para que esta última pueda volver a ser utilizada y evitar imperfecciones que podrían ser causadas por tales impurezas.

Horneado:

- 13) Colgado de bandejas en el Horno: Una vez pintadas, las bandejas son trasladadas una vez más al horno, donde se procede a calentar.
- 14) Horneado de bandejas: Una vez en el horno, las bandejas se calentarán por un promedio de 45 minutos a una temperatura que bordea los 180°C. esto se hace para que la pintura se adhiera en su totalidad, ya que este mismo proceso se puede realizar en frío (sin la necesidad del horno), solo que tarda más en secar.

Recuento y despacho:

- 15) Remachado: Luego de pasar por pintura y secar completamente, se desplazan los metales al almacén de productos terminados. En este lugar se inicia el remachado, el cual consiste en volver a colocar las viñetas a las bandejas de la góndola.
- 16) Reclasificación de bandejas: Luego de unidas con sus respectivas viñetas, las bandejas son reclasificadas de acuerdo a sus medidas y se agrupan para ser embaladas

2.9. Pintura Electrostática

También conocido como *Powder-Coating* es el método operativo característico de la empresa, ya que todos los productos pasan por dicho proceso (desde los manufacturados en la empresa hasta los que son recibidos para mantenimiento. Es

un tipo de recubrimiento que se aplica como un fluido de polvo seco, consiste en aplicar una capa de pintura en polvo por medios electrostáticos a un cuerpo generalmente metálico por medio de una pistola de pulverización electrostática, para después ser sometido a calentamiento fundiendo el polvo sobre dicho metal, cubriéndolo así con una capa de acabado duro que es más resistente que la pintura convencional.

a) Sistema de aplicación

Un sistema de aplicación de polvo electrostático está conformado por las siguientes actividades o pasos:

Retratamiento del metal: Desengrasar la pieza a pintar y aplicar una capa de fosfato mediante inmersión.

Recubrimiento: lograr que la pintura en polvo se adhiera al metal electrostáticamente utilizando el equipo de aplicación de polvo electrostático adecuado. (dentro de una cabina de aplicación y recuperación de polvo)

Secado. Hornear la pieza recubierta con el polvo a 180°C para que la pintura pueda uniformizarse en toda la pieza pintada, y adquiera su acabado final.

Las condiciones fundamentales son la temperatura de fusión y de polimerización de la capa de pintura, en el primer caso debe variar entre 60 y 100°C, mientras que para el segundo debe llegar a una temperatura máxima de 180°C y debe durar entre 40 y 50 minutos para evitar la fusión del metal. (Fuente: deutschlandpc.mx)

b) Ventajas sobre la pintura convencional (líquida).

Las ventajas de la pintura en polvo sobre la pintura líquida son muchas. Mencionaremos las más importantes a continuación:

Apariencia: la pieza pintada parece más fina, de mejor calidad, porque la película es mucho más gruesa y aparenta mayor volumen visual. Redondea los filos. La pintura es más tersa al tacto.

Resistencia mecánica: la pintura en polvo es mucho más resistente a los golpes, ralladuras, etc.

Resistencia química: La pintura en polvo es más resistente a efectos del clima, los rayos ultravioleta, los ácidos, alcalinos, etc.



Figura 2.15. Diagrama de Operaciones del mantenimiento de bandejas.
Fuente: Provisto por la empresa.

2.10. Problemática actual de la empresa

Un problema que afronta la empresa está enteramente ligado a la calidad de los productos luego de pasar por el acabado final en el área de pintura, se refiere específicamente a las partes principales de las góndolas de supermercados: las bandejas; tanto las que la empresa elabora, como las que recibe para mantenimiento. Estas partes son entregadas en el plazo acordado con el cliente que solicita dichos productos, pero últimamente algunas piezas han retornado a la fábrica con sello de disconformidad, generándoles cierta incomodidad a los clientes al no tener sus pedidos al 100% y poniendo a la empresa en una situación en la cual pone en riesgo su eficiencia y confianza con sus clientes.

Otro problema que afronta es la falta de control en cuanto al consumo de la materia prima e insumos de pintura. Al no tener un estricto control logístico durante el turno nocturno, la empresa pone su entera confianza en los trabajadores de dicho turno; aun así el Kardex refleja diferencias en cuanto al inventario de los materiales.

También afronta un sorpresivo incremento de mermas en el área de soldadura, que aparte de generar pérdidas de material también se desperdicia mucho gas de soldadura.

Para cada problema descrito se realiza una matriz de enfrentamiento para determinar el principal problema a solucionar. Para esto se establecen los siguientes criterios:

- La frecuencia del problema.
- El impacto económico que genera en la empresa
- La posibilidad de ser solucionados mediante la metodología propuesta en la presente tesis.

Cada aspecto recibirá una calificación entre 1 y 5 considerando la magnitud de estos en cada problema, siendo 1 que no guarda relación con el problema, y así irá incrementándose a medida que guarde mayor relación con el problema hasta llegar a 5.

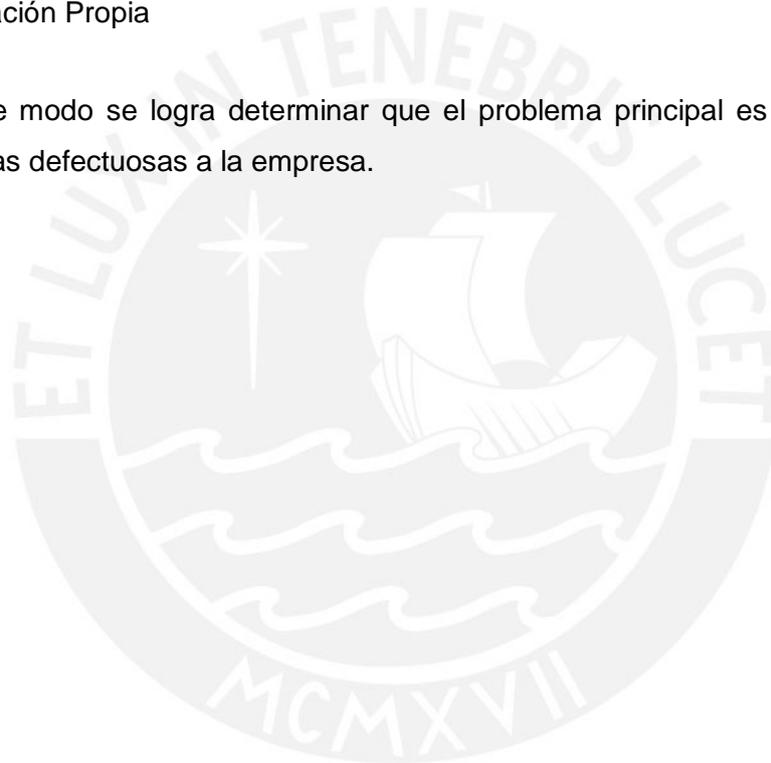
En la tabla 2.3 se muestra una matriz de enfrentamiento para determinar la problemática principal de la empresa.

Tabla 2.3. Matriz de enfrentamiento para determinar la problemática principal

Problemática / Criterio	Frecuencia	Importe S/.	Posibilidad de ser solucionado con six-sigma	Puntaje
Devolución de bandejas defectuosas	4	5	5	14
Falta de control en el consumo de materia prima	3	3	3	9
Incremento de mermas en soldadura	4	4	4	12

Elaboración Propia

De este modo se logra determinar que el problema principal es la devolución de bandejas defectuosas a la empresa.



3. FASE DE DEFINICIÓN SIX-SIGMA

En el capítulo 2 se mostró mediante una matriz de enfrentamiento el problema actual más relevante de la empresa, el cual es la devolución de bandejas para góndolas de supermercados con sello de disconformidad. En este capítulo se empezará con la aplicación de la metodología Six-sigma para presentar la propuesta de mejora en el servicio del mantenimiento de góndolas de supermercados.

3.1. *Definición de los problemas principales*

- El impacto en el negocio: Se debe realizar una mejora en el proceso productivo del servicio de mantenimiento de bandejas, ya que las devoluciones de dichos productos y las pérdidas de materiales afectan negativamente al margen de utilidades de la empresa.
- El planteamiento del problema: Debido a problemas de producción, mano de obra, abastecimiento de insumos y materia prima, almacenamiento, distribución de productos y servicios de atención al cliente; se ha incrementado los rechazos de bandejas de góndolas y el reproceso de estas, ocasionando así mayor pérdida de insumos de pintura o hasta de soldadura en el peor de los casos.
- Alcance del proyecto: En análisis del proceso se realizará desde el pedido a proveedores de materia prima e insumos, los pedidos de los clientes, ya sea para solicitar bandejas nuevas o el mantenimiento de las que ya disponen hasta la entrega de dichas bandejas.
- Las metas y objetivos: Se propondrá una mejora que pueda minimizar el problema de las devoluciones.
- Funciones y responsabilidades del equipo: El Campeón será el gerente de la empresa, cumple su función como facilitador de recursos para el estudio de caso, también se desempeña como el organizador de sus colaboradores para apoyar al tesista con la recopilación de datos y el análisis de estos. El tesista se encargará de elaborar las propuestas de mejora con los datos recopilados y el análisis de estos.

Después de definir los puntos básicos, es momento de definir lo más importante: Los clientes, sus necesidades y requisitos.

3.2. Requisitos del producto

Los clientes son supermercados y otras tiendas dedicadas al comercio de abarrotes, ropa, alimentos, etc. Ellos se contactan con la empresa vía telefónica y entre ellos acuerdan la fecha límite para la entrega de las bandejas nuevas o destinadas a mantenimiento, y que dichas bandejas no presenten ningún desperfecto al momento de ser despachadas.

Para los tiempos de entrega, existe un acuerdo previo con los clientes concerniente al tiempo que le tomará a la empresa realizar la elaboración o el mantenimiento de las góndolas que, de acuerdo a la cantidad pedida o al tipo de servicio requerido podría variar entre una a dos semanas. Los pedidos se pueden realizar a cualquier hora, dado que una nueva orden no afecta al cumplimiento de órdenes anteriores.

En cuanto a la calidad, los clientes consideran como requerimientos relevantes a:

- La calidad de servicio que la empresa ofrece: Acabado de pintura, resistencia de soldadura, etc.
- El diseño del producto acorde a los estándares establecidos por el cliente,
- El tiempo de entrega del producto final.

En la figura 3.1 se muestra el árbol de requisitos del cliente, en el primer nivel se encuentra el requerimiento “Entrega de bandejas” y en el segundo nivel está en la calidad del servicio, el diseño del producto y el tiempo de entrega. La encuesta empleada para determinar dichos requisitos se encuentra en el punto A) del presente capítulo.

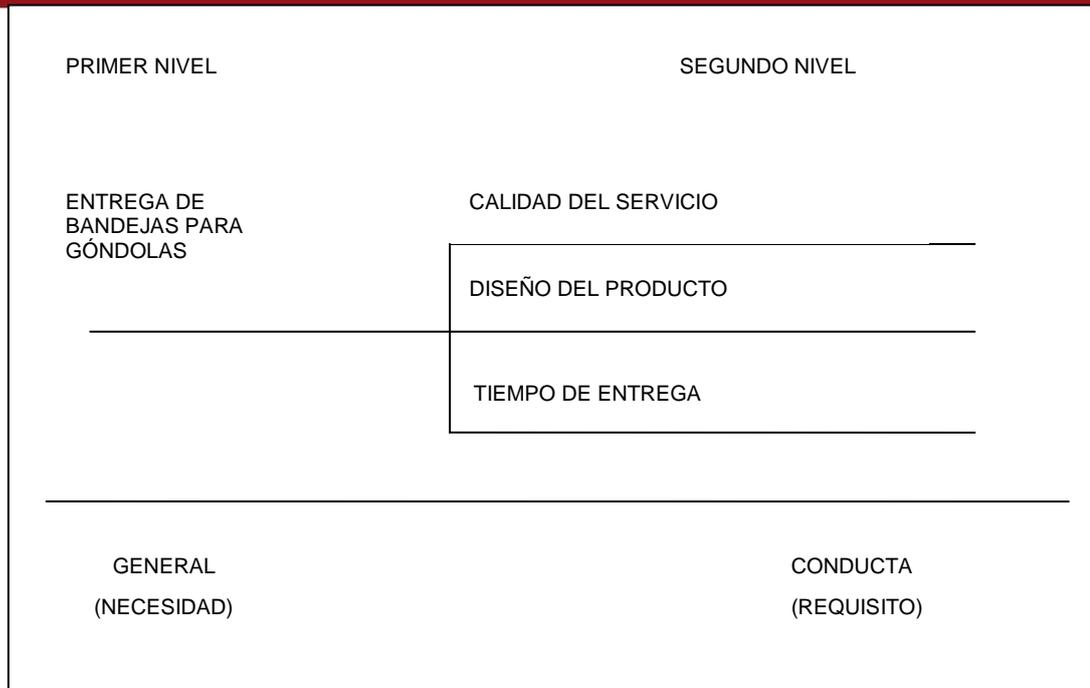


Figura 3.1. Árbol de requisitos del cliente

Fuente: Elaboración Propia.

Subprocesos principales del proceso productivo

Luego de realizado el árbol de requisitos, donde se aprecia el orden de prioridad en cuanto a los requerimientos que debe cumplir la empresa con el cliente, se procede a realizar el diagrama de afinidad de los principales subprocesos que se relacionan con el proceso productivo, el cual se muestra en la figura 3.2. Con esto se puede identificar las principales funciones de los proveedores, los insumos los procesos, los productos finales y los clientes y elaborar el diagrama de alto nivel de los procesos, o diagrama SIPOC, mostrado en la figura 3.3.



Figura 3.2. Diagrama de Afinidad de los principales subprocesos.

Fuente: Elaboración propia.

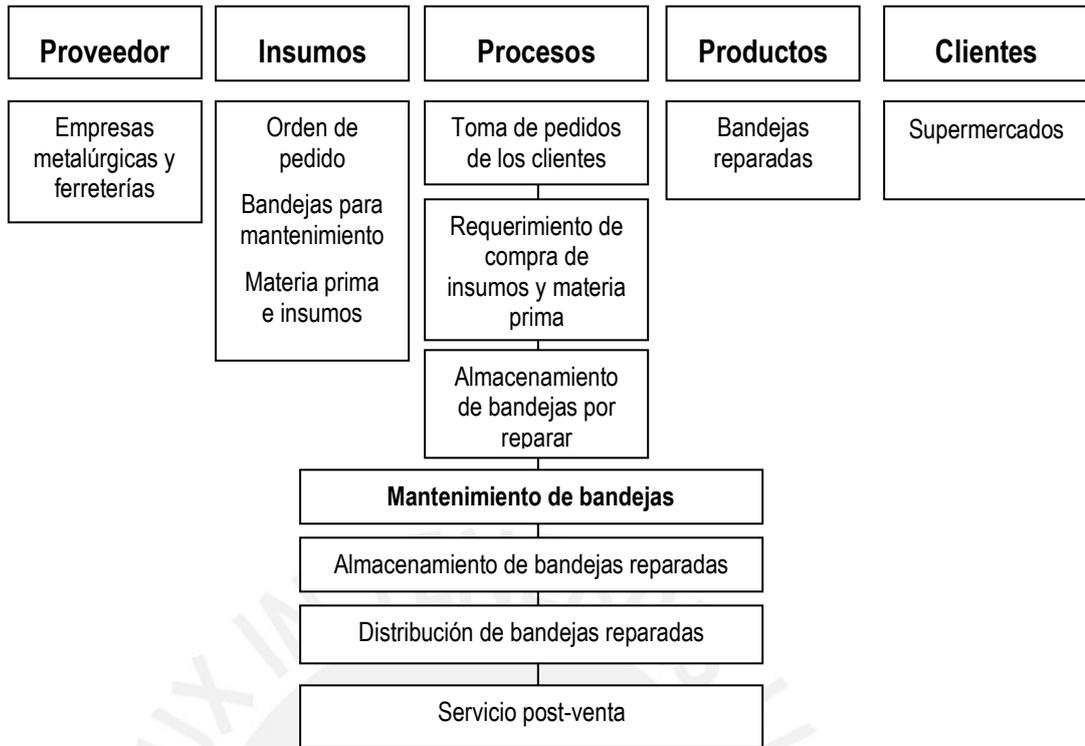


Figura 3.3. Diagrama de Alto Nivel
Fuente: Elaboración Propia.

A) Encuesta realizada a representantes de supermercados clientes.

Por favor, dedíquese un momento a completar esta pequeña encuesta, la información que nos proporcione será utilizada para mejorar el servicio de la empresa.

Sus respuestas serán tratadas de forma confidencial y no serán utilizadas para ningún propósito distinto a la investigación llevada a cabo por LA EMPRESA.

1. Ayúdenos a mejorar**a. ¿Cuánto tiempo lleva su empresa utilizando el servicio de mantenimiento de góndolas?**

- Menos de un mes
- Entre uno y seis meses
- Entre seis meses y un año
- Entre uno y tres años
- Más de tres años

b. ¿Con qué frecuencia utiliza usted este tipo de servicio?

- Una o más veces a la semana
- Dos o tres veces al mes
- Una vez al mes
- Menos de una vez al mes

2. Satisfacción general**c. ¿Cuál es su grado de satisfacción general con el servicio brindado por LA EMPRESA?**

- Completamente satisfecho
- Satisfecho
- Insatisfecho
- Completamente insatisfecho

3. Intención de uso y recomendación**d. ¿Ha recomendado usted este servicio a otras empresas asociadas?**

- Si
- No

4. Satisfacción de atributos**e. ¿Qué grado de importancia le da usted a los siguientes aspectos a la hora de adquirir el servicio de mantenimiento y reposición de mobiliario comercial? ¿Y cuál es su grado de satisfacción en esos mismos aspectos con nuestro servicio?**

	Grado de importancia al comprar	Satisfacción con el servicio
Calidad del servicio	<input type="radio"/> Muy importante <input type="radio"/> Importante <input type="radio"/> No demasiado importante <input type="radio"/> Poco importante <input type="radio"/> Irrelevante	<input type="radio"/> Completamente satisfecho <input type="radio"/> Satisfecho <input type="radio"/> Insatisfecho <input type="radio"/> Completamente insatisfecho <input type="radio"/> No aplicable
Relación calidad/precio	<input type="radio"/> Muy importante <input type="radio"/> Importante <input type="radio"/> No demasiado importante <input type="radio"/> Poco importante <input type="radio"/> Irrelevante	<input type="radio"/> Completamente satisfecho <input type="radio"/> Satisfecho <input type="radio"/> Insatisfecho <input type="radio"/> Completamente insatisfecho <input type="radio"/> No aplicable
Diseño y dimensiones de acuerdo al pedido	<input type="radio"/> Muy importante <input type="radio"/> Importante <input type="radio"/> No demasiado importante <input type="radio"/> Poco importante <input type="radio"/> Irrelevante	<input type="radio"/> Completamente satisfecho <input type="radio"/> Satisfecho <input type="radio"/> Insatisfecho <input type="radio"/> Completamente insatisfecho <input type="radio"/> No aplicable
Calidad de acabado de pintura	<input type="radio"/> Muy importante <input type="radio"/> Importante <input type="radio"/> No demasiado importante <input type="radio"/> Poco importante <input type="radio"/> Irrelevante	<input type="radio"/> Completamente satisfecho <input type="radio"/> Satisfecho <input type="radio"/> Insatisfecho <input type="radio"/> Completamente insatisfecho <input type="radio"/> No aplicable
Tiempo de entrega	<input type="radio"/> Muy importante <input type="radio"/> Importante <input type="radio"/> No demasiado importante <input type="radio"/> Poco importante <input type="radio"/> Irrelevante	<input type="radio"/> Completamente satisfecho <input type="radio"/> Satisfecho <input type="radio"/> Insatisfecho <input type="radio"/> Completamente insatisfecho <input type="radio"/> No aplicable

5. Recomendación y sugerencias

- f. Basándose en su propia experiencia con el servicio de mantenimiento ¿buscaría usted a LA EMPRESA para comprar productos o servicios similares?
- Es muy probable
 - Es probable
 - No es probable
 - Es muy improbable
- g. ¿Ha tenido usted algún problema a la hora de usar dicho servicio?
- Sí
 - No
- h. ¿Hay alguna sugerencia que desee hacer a LA EMPRESA sobre su servicio de mantenimiento y reposición que no le hayamos preguntado? Si es así, por favor, díganos de qué se trata:

4. FASE DE MEDICIÓN SIX-SIGMA

En la fase de definición se han establecido los requerimientos principales de los clientes y cuando un producto ha de ser rechazado o cuando se pierde una venta. Luego de haber definido los principales motivos de rechazo y problemas en la venta, se busca un historial de todas las ventas pérdidas que haya tenido la empresa el último mes. La data refleja que los clientes en su mayoría rechazaron el producto debido a que presentaba defectos de acabado.

4.1. Defectos presentes en el proceso productivo

Durante el proceso productivo del soldado o pintado de las piezas de los exhibidores o góndolas para su mantenimiento, semanalmente se detectan en 1400 bandejas diversos defectos que contribuyen al rechazo de estos productos, estos se encuentran enunciados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Lista de defectos presentes en la producción

Defecto	Operación	Bandejas Defectuosas
Tonalidad de Color	Pintado	70
Presencia de oxido	Decapado	18.2
Grumos en la superficie	Pintado	9.8
Mermas de soldadura	Soldadura	29.4
Manchas dactilares en la pieza	Horneado	14

Fuente: Información provista por la empresa.
Elaboración propia

Dicha información se analizó en la herramienta Minitab 16 para obtener el diagrama de Pareto correspondiente a la figura 4.1 y clasificar dichos problemas por orden de importancia (de vitales a triviales).

Para este estudio se calculó un promedio de 142 bandejas rechazadas semanalmente, es decir, más del 10% de la producción semanal. De esta cantidad, 70 fueron rechazadas porque la tonalidad del color de la bandeja reparada no era acorde al modelo estándar que demanda el cliente. Si bien los otros defectos son igual de relevantes, el error cometido en el área de pintura es el de mayor frecuencia, y este implica un costo significativo en cuanto al consumo de pintura y energía para los dos hornos en funcionamiento.

Después de obtener la gráfica se puede apreciar que el defecto más frecuente se encuentra luego de que las piezas pasan por el área de pintura, en la que se

percibe una variada tonalidad de colores que no cumplen con los requerimientos del cliente.

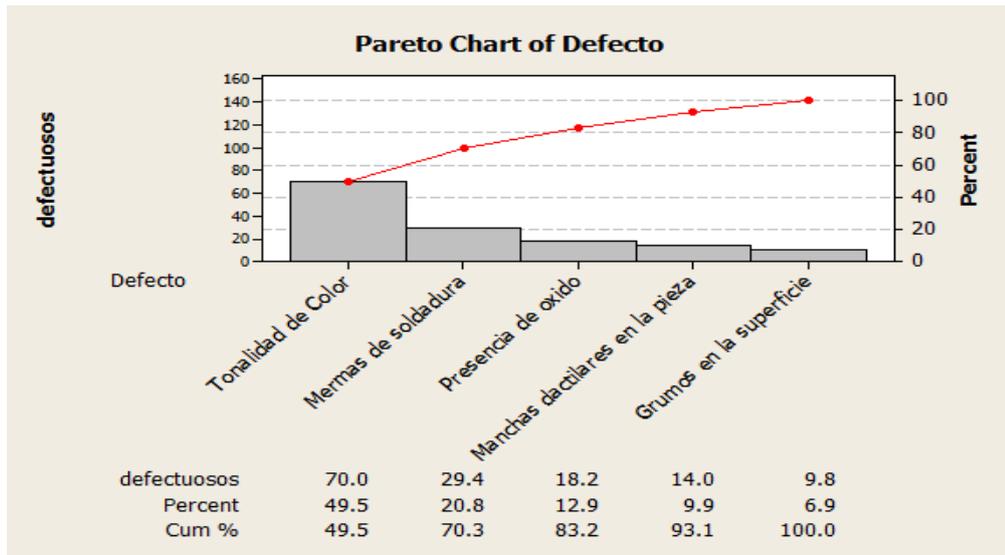


Figura 4.1. Diagrama de Pareto para clasificación de defectos
Fuente: Datos provistos por la empresa. Elaboración propia.

Se llevó un registro de tiempos de 5 operarios. La toma de tiempos fue realizada durante el periodo más crítico del proceso, que abarca desde las 9:45am hasta las 11:45 am. Dicha información se puede apreciar en la tabla 4.2 y se enfoca principalmente en las actividades del proceso de pintura.

Se puede apreciar que el proceso de pintado es el que más tiempo toma durante el mantenimiento de las bandejas de fierro, esto se debe a que varias piezas que pasan por inspección presentan diversos errores, de modo que necesitan ser reprocesadas.

Se considera factor influyente al rendimiento de la pintura en polvo que es aplicada a cada bandeja de fierro, ya que según el jefe del área de producción, es uno de los factores más importantes para obtener una mejor tonalidad de color para las bandejas de fierro. Del mismo modo se debe tomar en cuenta las temperaturas a las que las bandejas deben ser expuestas, tanto para el horneado como para el secado de las bandejas, porque a temperaturas bajas la pintura no adhiere bien al metal, y a temperaturas muy altas la pintura podría quemarse y dejar desperfectos en la pieza destinada a mantenimiento.

A continuación se explica con mayor detalle dichos aspectos importantes que influyen en la tonalidad del color de la pintura.

Tabla 4.2. Tiempos en segundos de las operaciones del proceso.

Operación	Horneado	Pintado	Secado al Horno
Operario			
Nro.	Tiempo Obs. (seg)	Tiempo Obs. (seg)	Tiempo Obs. (seg)
1	9.5	108	28
2	11.45	98	32.5
3	9.47	98	29.5
4	7.8	108	27.8
5	11.5	130	33.5

Fuente: Toma de datos realizada en la empresa.

Elaboración Propia.

Rendimiento de la pintura

Sabiendo que el buen uso de los materiales permite que los costos se reduzcan pues siempre se va a buscar el máximo aprovechamiento de ellos. De los datos recolectados a continuación se muestra el porcentaje de rendimiento de la pintura en polvo, insumo elemental para el servicio que presta la empresa.

Material: Pintura en polvo TEKNO – EcoTEK

Rendimiento Estándar: $14\text{m}^2 / \text{kg}^4$

Área de Material: 1 bandeja de 1.30m x 0.60m con 2cm de espesor = 1.712m^2 de superficie de pintado.

Tabla 4.3. Cuadro de rendimiento de pintura

Cantidad de Pintura	Color de Pintura	Tiempo Inicio	Tiempo Fin	Nro. Piezas Pintadas	Descripción	Pintura Reciclada
10kg	Marfil SIAM	09:45 a.m.	11:45 a.m.	44	1.3m x 0.6m	2.14kg

Fuente: Datos provistos por la empresa

Elaboración Propia.

⁴ Dato obtenido de la información básica de la caja de pintura.

La calidad y el uso de la pintura es determinante para que el producto obtenga un mejor acabado, lo cual es del agrado del cliente, si esta no es aprovechada al máximo el producto podría presentar varios defectos y por ende ser rechazado. Es por ello que es importante determinar la cantidad óptima de pintura que debe ser utilizada por bandeja pintada.

Temperatura de horneado y de secado

Durante el horneado de las bandejas de fierro la temperatura del horno debe variar entre 60 y 100°C para que el polvo se pueda adherir a la pieza en el proceso de pintado, mientras que en el secado la pieza recubierta con el polvo se hornea a una temperatura que no debe sobrepasar los 180°C para que la pintura polimerice, y adquiera su acabado final. Sin embargo, por motivos de aceleración del proceso para cumplir con una orden de pedido por parte de un supermercado, al momento de colocar la pieza pintada a secar elevan la temperatura del horno al máximo permisible, y eso puede ocasionar que el color de la pintura salga muy oscura y opaca. Del otro modo, si el horno se encuentra a muy baja temperatura, la pintura no se adhiere bien a la pieza y esta podría presentar un color muy claro, además de que se puede correr el riesgo de que el operario marque sus huellas dactilares en el material debido a que la pintura continúa fresca. Arruinando el producto.

Tabla 4.4. Rango de Temperaturas del Horno.

	60 - 80°C	>180°C
Estado del material	frio, no puede recibir la pintura	recalentado y con deformaciones
Estado de la pintura	fresca y sin adherencia	quemada y con grumos
Color del pintado	claro e inconsistente	opaco o de varias tonalidades
posibles defectos	huellas dactilares y ralladuras debido a la manipulación	presencia de grumos y deformaciones

Elaboración propia.

4.2. Indicadores dominantes de funcionamiento

El indicado dominante del funcionamiento es la medida cuantificable a utilizar, convenida de antemano y que refleja el logro de los objetivos, entre ellos, reducir la cantidad de piezas rechazadas por los defectos en cuanto a la pintura de estos en un periodo de tiempo establecido.

En la actualidad la organización no maneja ningún valor promedio de productos no conformes por error de pintado. Esto se debe a la gran variedad de piezas que se fabrican y que varias piezas con error han pasado desapercibidas por los clientes.

Variables a medir

En el proceso actual se cuenta con una gran cantidad de variables que puede afectar la característica de calidad. En la tabla 4.5 se enumeran las principales variables presentes durante el proceso que definen el nivel de desempeño actual.

Para verificar que variable a medir tiene mayor grado de importancia, se ponderan variables del proceso pintura electrostática y de acuerdo al nivel de importancia que cada operario le daba, le corresponde un número. La variable con el mayor número será a la que se le dé mayor importancia. Para esto se entrevistó a 4 personas para que den su opinión acerca que las variables más relevantes, estos fueron el gerente general, el jefe del área de producción, el supervisor del área de pintura y un operario del área de pintura del turno diurno. Las variables más importantes del proceso de pintura en polvo se exponen a continuación.

- **Tipo de metal:** Por lo general en la empresa se reciben pedidos de mantenimiento a bandejas hechas de fierro negro, si se necesita realizar un mantenimiento en acero se debe hacer un pedido especial, ya que la empresa maneja otros estándares en cuanto al tiempo de horneado de la pintura en dicho material.
- **Cantidad de pintura por bandeja:** Cada bandeja debe estar pintada con una cantidad específica de pintura, de modo que no exceda o falte pintura, ya que esto afecta considerablemente a la tonalidad del color de la pintura.
- **Tiempo de secado:** Los operarios deben tomar sus precauciones al momento de introducir las bandejas pintadas al horno, ya que la falta de calor no permite la adherencia de la pintura; mientras que el exceso de temperatura quema la pintura y obtiene un color más oscuro.

- **Paradas del proceso:** Diariamente se pintan alrededor de 280 bandejas, las inesperadas paradas de proceso por fallas en el horno o el agotamiento de energía dejan varias bandejas en cola ello ocasiona a que se acelere el proceso para cumplir con las fechas de entrega, haciendo más probable la presencia de fallas.
- **Tiempo de Horneado:** A diferencia del tiempo de secado, el tiempo de horneado se realiza antes que se aplique la pintura a la bandeja. El metal debe estar a una temperatura adecuada para que facilite la adherencia de la pintura.

Tabla 4.5. Evaluación individual de variables
(1= Menos importante, 5= Más importante)

VARIABLES DEL PROCESO	1	2	3	4	Total
Tipo de metal	2	2	2	1	7
Cantidad de Pintura por bandeja	4	3	5	4	16
Tiempo de secado	4	3	4	3	15
Paradas del proceso	2	3	2	3	10
Tiempo de horneado	3	3	4	4	13

Elaboración propia

La variable más importante según la clasificación es la cantidad utilizada de pintura por pieza, seguida por el tiempo de secado (temperatura ambiente) de la pintura, y por último el tiempo que se utiliza para el horneado de las piezas.

4.3. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad

Se han tomado medidas para calcular el desempeño de la repetibilidad y reproducibilidad del dispositivo empleado para suministrar la capa de pintura a la bandeja de fierro, la cual es una pistola de pulverización electrostática

La prueba se realiza con la ayuda de tres operarios del área de pintura, ellos pintaran tres piezas, cada una de las mismas dimensiones. La medición de la capa de pintura a utilizar se realizara con un micrómetro de capa (ver Anexo 3: Micrómetro de Capa: Especificaciones técnicas). Cada operador mide el espesor de la capa de polvo y se registran los datos para su posterior evaluación. En la tabla 4.6 se muestra los valores obtenidos en micrómetros (μm).

Tabla 4.6. Mediciones tomadas para el estudio Gage R&R de espesor de la capa

Valores de espesor de pintura						
Muestra	operador 1		operador 2		operador 3	
	medición 1	medición 2	medición 1	medición 2	medición 1	medición 2
1	26.4	26.7	25.5	26.7	23.3	22.6
2	23.3	22.4	20.0	23.3	21.8	20.0
3	30.0	29.3	28.3	27.9	30.0	28.5

Elaboración propia

Luego, se realiza el estudio Gage R&R, en el cual se puede observar en la tabla 4.7 que hay diferencia entre las piezas pintadas, diferencia entre los operarios y que no hay una interacción entre muestra – operario. Al no ver una interacción, se recalcula los valores del factor muestra y operario, dando un valor tal que aún se presentan diferencias entre los pliegos y entre los operadores. La variación proveniente de la repetitividad es de 7.39% mientras que el de reproducibilidad es de 8.50% es por esto que la variabilidad debido a la diferencia de partes es de 84.11% de la variabilidad total. El porcentaje de contribución es de 15.89%, lo cual nos indica que el instrumento no podría aceptarse dado que es mayor al 10%, además el porcentaje de contribución de *part to part* es mayor al porcentaje de contribución del total Gage R&R, por lo que la variación surge debido a las diferencias entre muestras.

Dado que la medición del espesor de la capa de pintura es muy importante para el trabajo diario es necesario tomar acciones correctivas tales como realizar el mantenimiento de la pistola de pintura o adquirir una nueva en caso sea necesario. El instrumento a emplear para medir el espesor de la pintura es un micrómetro de capa, el cual es capaz de detectar la variación entre piezas. La unidad de medidas está en micrómetros.

La desviación estándar de la variación total multiplicada por 6 (representa el 99% de la curva) es de 23.18, esto se debe a que uno de los operarios presentó mayor variabilidad al momento de medir la capa de pintura de las piezas que le correspondía. Ahora podemos esperar que las mediciones individuales varíen en $\pm 2\mu\text{m}$, al cual añadiendo el valor medio de espesor $25.33\mu\text{m}$, nos da un variación entre $23.33 - 27.33\mu\text{m}$, el cual es aceptable dado pertenece a los límites de especificación $20 - 30\mu\text{m}$.

Al revisar la figura 4.2. La gráfica "R" muestra que la mayoría de los puntos se encuentran dentro de los límites de control, pero el operario 2 presenta mayor variabilidad en sus mediciones. La gráfica de medias, muestra que existen puntos que se encuentran fuera de los límites de control, lo cual refuerza la idea que la variación se debe prioritariamente a diferencias entre muestras (capas de pintura por pieza), además se puede interpretar como que el sistema de medición es capaz de identificar las diferencias entre espesores. Esta misma conclusión se puede obtener a partir del diagrama de barras que también se aprecia en la figura 4.2.

En la gráfica medición por muestra (figura 4.2) se aprecia que los puntos siguen un mismo patrón y que hay diferencias entre las muestras. En la gráfica de medición por operario, hay mínimas diferencias entre los operarios y que el operario 3 da una media más baja.

En la gráfica de interacción de muestra*operario (gráfico 4.2) se aprecia una no divergencia de los puntos, además se visualiza la diferencia entre espesor de capas excepto por la pieza 3 y que el operario 2 da valores por debajo que los otros dos operarios. También se concluye que los datos recolectados en el estudio presentan un problema de discriminación debido a que el micrómetro de capas que se utiliza para medir el espesor de capa tiene un rango de 15 a 110 μm , y pese a estar dentro del rango, el porcentaje de error es considerable ya que se está tomando medidas casi al límite de este.

En conclusión, la prueba de repetitividad y reproducibilidad demuestra que la variable a controlar es en efecto la cantidad de pintura aplicada a cada bandeja. Esta se determinará con el espesor de pintura que cubre la bandeja, después de todo, al momento de aplicar la pintura a la bandeja no se puede remover para luego ser pesadas.

Con esto se procede a realizar el estudio de control de dicha variable a través de los gráficos de control y la capacidad del proceso, para posteriormente determinar el nivel sigma del proceso de pintura en polvo.

Tabla 4.7. Reporte estadístico del estudio Gage R&R para el espesor de la capa de pintura.

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para medición

Nombre del sistema de medición: Espesor de Capa de pintura
 Fecha del estudio: 25 de Agosto de 2013
 Notificado por: C.V.R.
 Tolerancia: 2 micras
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	CM	F	P
Muestra	2	155.680	77.8400	31.0532	0.004
operario	2	11.823	5.9117	2.3584	0.211
muestra * operario	4	10.027	2.5067	2.2719	0.141
Repetibilidad	9	9.930	1.1033		
Total	17	187.460			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
R&R del sistema de medición total	2.3725	15.89
Repetibilidad	1.1033	7.39
Reproducibilidad	1.2692	8.50
Operario	0.5675	3.80
Operario*muestra	0.7017	4.70
Parte a parte	12.5556	84.11
Variación total	14.9281	100.00

La tolerancia del proceso es = 2

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. del estudio (6 * DE)
R&R del sistema de medición total	1.54029	9.2418
Repetibilidad	1.05040	6.3024
Reproducibilidad	1.12657	6.7594
Operario	0.75333	4.5200
Operario*muestra	0.83766	5.0259
Parte a parte	3.54338	21.2603
Variación total	3.86368	23.1821

Fuente	%Var. del estudio (%VE)	%Tolerancia (VE/Toler)
R&R del sistema de medición total	39.87	462.09
Repetibilidad	27.19	315.12
Reproducibilidad	29.16	337.97
Operario	19.50	226.00
Operario*muestra	21.68	251.30
Parte a parte	91.71	1063.01
Variación total	100.00	1159.11

Número de categorías distintas = 3

Elaboración propia

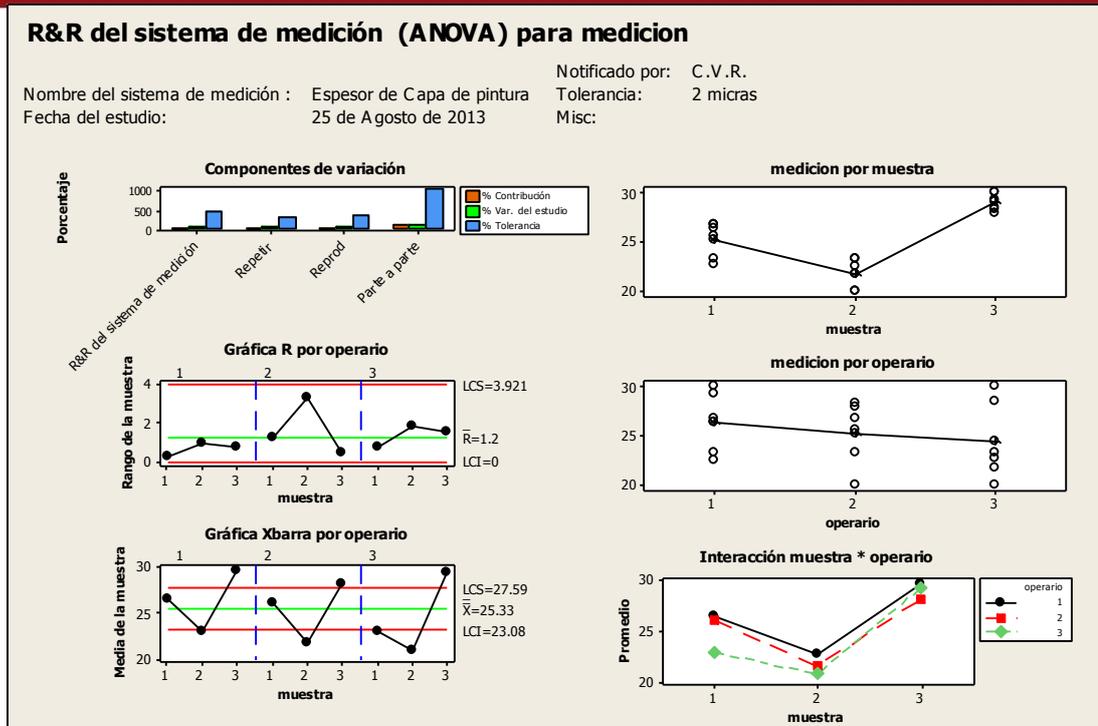


Figura 4.2. Reporte gráfico del estudio Gage R&R para el espesor de la capa de pintura.
Elaboración propia.

4.4. Gráficos de control y capacidad del proceso para la cantidad de pintura

El estudio de repetitividad y reproducibilidad concluyó que el principal problema de calidad, que es la tonalidad del color de la bandeja de fierro luego del pintado, está fuertemente relacionado a la cantidad de pintura aplicada a la bandeja.

Se tomaron medidas de espesor de la pintura de 100 bandejas, que es la cantidad promedio que se pinta dentro de la empresa durante el primer turno de la jornada laboral. Estas se dividen en 4 subgrupos de 25 bandejas, cantidad máxima en las que pueden ingresar al horno tanto para el horneado como para el secado de bandejas. Para este caso se utiliza los gráficos de la media y desviación estándar. Los datos recopilados del espesor de cada bandeja se muestran en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Toma de datos de una muestra de bandejas de hierro.

SUBGRUPO 1	27	26.4	30.7	26	26.8	SUBGRUPO 2	24.4	22.1	28.3	29.7	27.1
	31.9	20.7	28.7	26.2	27		17.9	25.6	25.2	23.3	33.9
	29.7	29.2	26.1	27	32.8		22	27.9	25.3	23.8	23.9
	22.9	28.3	29.3	23.4	25.7		26.1	28.3	30.3	27	15.2
	33.9	25.9	29.4	17.5	24.4		30.7	27	25.2	38.4	23.8
SUBGRUPO 3	33.1	31.1	31.6	22	27.9	SUBGRUPO 4	28.3	28.9	30.1	22	30
	34.2	19.4	24.1	25.4	25		27.1	20.2	33.1	21.6	24.1
	33.3	22.8	27	29.5	35.2		31.1	16.6	30	37.1	36.3
	22	34.9	29.3	20.5	25.1		30.9	18.1	21.5	37.2	30.9
	24.9	22.8	15.3	24.7	38.4		30.9	30.1	20.5	22.3	22.9

Elaboración propia

Como se aprecia en el figura 4.3, 4 puntos se encuentran fuera de control (Puntos: 13, 17, 23 y 24), por lo que se concluye que el proceso no está bajo control. Una explicación a los puntos fuera de control puede ser al deficiente control que realiza el operador, dado que la frecuencia con la que la realiza la inspección de piezas es de forma aleatoria, a la amplia frecuencia con la que realizan las inspecciones y debido a las paradas de los operarios para el secado de las piezas. Finalmente los puntos fuera de control están tanto fuera de los límites de control y los límites de especificación (20.0 - 30.0 μm), por lo que se está produciendo bandejas de hierro no conformes.

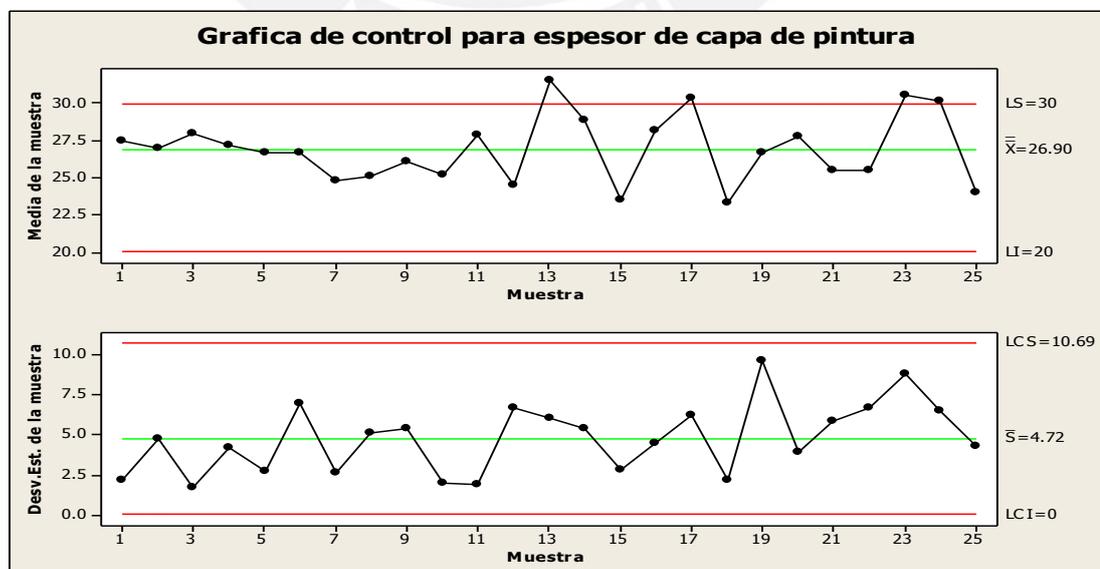


Figura 4.3.: Gráfico de control para el espesor de la capa de pintura.

Elaboración propia

Capacidad del proceso para la cantidad de pintura.

- Prueba de normalidad

Según la teoría, cuando el valor de P es mayor al nivel de significación ($P > 0.05$), los valores de la muestra siguen una distribución normal. En la figura 4.4 se aprecia que los valores de la cantidad de la pintura efectivamente siguen dicha distribución.

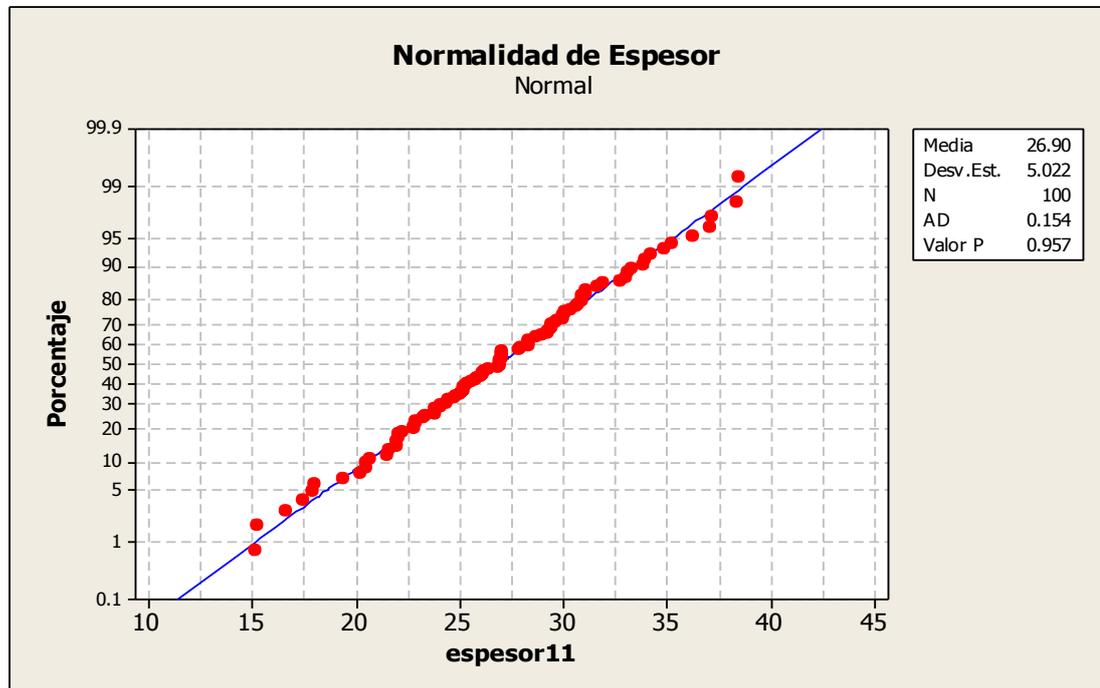


Figura 4.4. Prueba de Normalidad.
Elaboración Propia.

- Valor de Cp.

Para el caso de capacidad de proceso por variables, según el valor obtenido en la figura 4.5 y los datos de la tabla 4.9, se obtiene un valor de Cp de 0.32, el cual nos indica que el proceso actual de pintura electrostática no es capaz, por lo tanto se considera un proceso que debe ser sometido a mejoras.

Se puede visualizar que diversos puntos de la gráfica de la figura 4.5 se encuentran fuera de los límites de especificación, esto significa que ocasionalmente aparecen productos que no cumplen con las especificaciones del cliente.

Por último el valor de PPM total es 367639.06, lo que nos indica que de cada millón de piezas que se producen, esta cantidad estará por fuera de los límites de especificación. Si bien la producción de la empresa no llega al millón, este indicador no pierde relevancia ya que se también se puede entender que por cada diez mil unidades producidas, 3676,4 unidades no se encontrarán dentro de los límites de especificación.

Tabla 4.9. Valores de interpretación para la capacidad del proceso de Pintura

Valor	Interpretación del Índice Cp
<1.0	Proceso Incapaz
1.0 - 1.33	Proceso apenas capaz
>1.33	Proceso Capaz

Elaboración propia

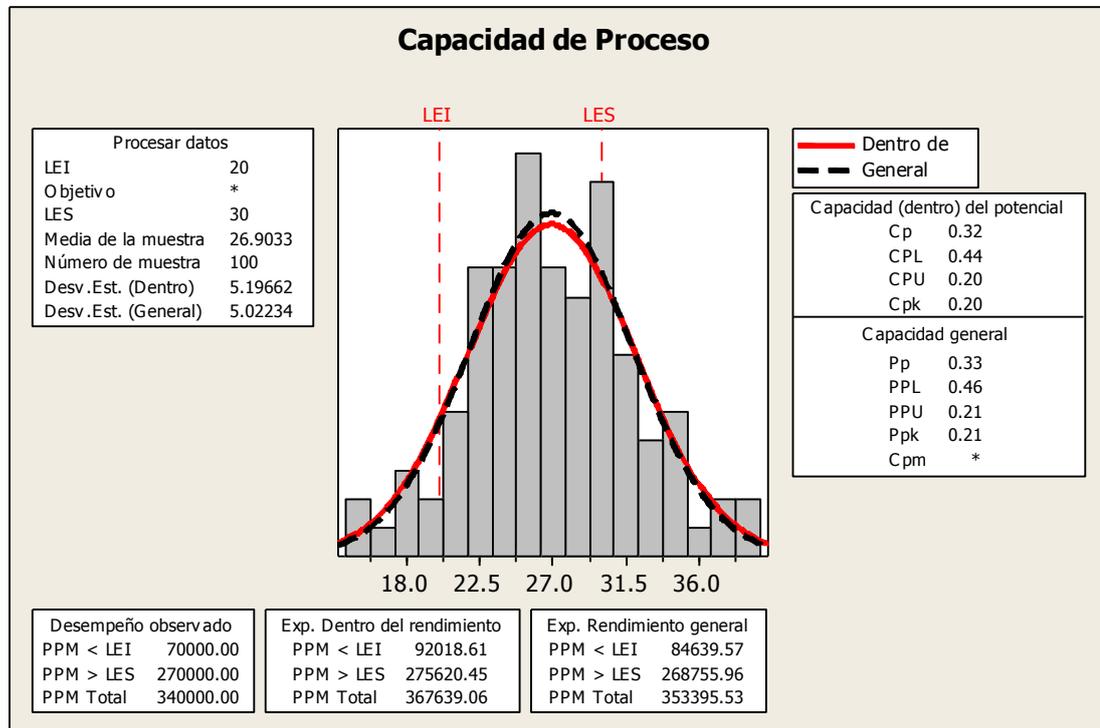


Figura 4.5. Capacidad de proceso para el espesor de la capa de pintura.
Elaboración propia

4.5. Nivel Six-Sigma del proceso de pintado de bandejas

Luego de haber realizado y tomado las mediciones necesarias y concluir que el proceso actual de pintura en polvo no es un proceso capaz, se procede a calcular el nivel o línea de base Sigma, que permitirá visualizar el nivel de calidad ofrecido en el servicio de mantenimiento de bandejas de fierro.

Con la finalidad de estandarizar dicha evaluación se toma un valor de 14, éste corresponde al número de defectos presentados en una bandeja luego de su mantenimiento, los que se consideran oportunidades por unidad. En la tabla 4.9 se muestran los tipos de defectos que se pueden presentar en el pintado en polvo de las bandejas de fierro.

Tabla 4.10. Tipos de defectos presentes en una pieza pintada con powder-coating.

#	Defecto	#	Defecto
1	Tonalidad de color	8	marcas dactilares
2	Repintado	9	mala distribución de pintura
3	Decapado	10	mezcla de pintura con decapador
4	Manchas	11	pieza dañada
5	color equivocado	12	mala soldadura
6	Porosidad	13	no resistente a ralladuras
7	Quemaduras	14	pintado incompleto

Elaboración Propia

Para calcular el nivel sigma del proceso de pintado se calcula primero los defectos por millón de oportunidades del proceso. Los datos se encuentran en la tabla 4.10 y se plantea la siguiente ecuación:

$$\frac{\text{Número de defectos}}{\text{Número de unidades} \times \text{Número de oportunidades}} \times 1000000$$

Tabla 4.11. Nivel Sigma del proceso.

Descripción	Cantidad
Unidades	13906
Defectos	445
Oportunidades por unidad	14
Sigma Shift(*)	1.5
Nivel Sigma	4.34

Elaboración propia.

Un punto específico a tratar en este tema es el uso de la aproximación *sigma shift* para determinar el nivel sigma del proceso. Según Tennant (2001: p25), el *sigma shift*, o también conocido como *1.5 sigma shift*, es una aproximación que se realiza para obtener el nivel sigma del proceso utilizando el indicador de capacidad general del proceso (Ppk). El nivel sigma de un proceso es el número de desviaciones estándar del proceso que existen entre la media de este y el límite de especificación más cercano. Six sigma obtiene su nombre de dicha aproximación.

Cuando se hace el estudio de capacidad de proceso (Cp), se calcula el nivel sigma del proceso multiplicando Ppk por 3. Entonces un proceso con Ppk=1.5 sería

llamado un proceso 4.5 sigma porque tendría 4.5 desviaciones estándar entre la media y el límite de especificación más cercano.

El 1.5 *sigma shift* es la cantidad de desviaciones estándar que se le añade al proceso ya que 4.5 sigma trabaja solo con un límite de especificación, no con dos; de modo que produzca 3.4 defectos por millón de oportunidades. 4.5 sigma más 1.5 *sigma shift* es igual a 6 sigma

Al usar esta aproximación, el proceso obtiene un nivel sigma de 4.34, bastante lejano del 6 sigma. Esto indica que se deben reducir los defectos presentados en las bandejas de fierro, y para ello se debe identificar las causas que ocasionan dichos defectos, de modo que se logre llegar a la raíz del problema.



5. FASE DE ANÁLISIS SIX-SIGMA

Aprovechando los datos obtenidos en la fase de medición, se procede a la fase de análisis del proceso de pintado en polvo. Dichas cifras muestran que el principal problema referente a la disconformidad de los clientes en cuanto al servicio de mantenimiento de bandejas de fierro está directamente relacionado al acabado final de la pieza: la tonalidad del color. Dicha variable está estrictamente ligada a la cantidad de pintura suministrada a la bandeja, medida por el espesor de capa de pintura presente en ella. También está involucrado el tiempo de horneado y de secado de las bandejas de fierro.

En cuanto al nivel de calidad sigma hallado en el capítulo anterior, un nivel de 4.34 representa que el proceso de pintado presenta una gran cantidad de errores que ocasionan los defectos en las bandejas percibidos por los clientes, los cuales generan disconformidad y rechazo a las piezas mantenidas y afecta los ingresos de la empresa.

5.1. Definición de los factores causales

En la figura 5.1 se aprecia el diagrama de Ishikawa, en el que se muestra que una bandeja de fierro puede presentar una variada tonalidad de color en su superficie debido a los siguientes factores:

- Mano de Obra: El operario no tiene tener una buena percepción al momento de pintar y suministra mayor cantidad de pintura en áreas específicas en vez de uniformizar. Esto también concierne a su habilidad de pintado, si no realiza los movimientos correctos para distribuir la pintura de manera adecuada. El manipuleo de material es igual de esencial, como presionar el gatillo de la pistola pulverizadora muy fuerte hace que salga más pintura y se acumule en un solo punto de la pieza.
- Maquinaria: Los hornos deben mantenerse a las temperaturas adecuadas dependiendo de la labor que se va a realizar, ya sea horneado de bandejas para pintar (baja) o se secado de bandejas pintadas (alta). Las máquinas y herramientas suelen estar descuidadas debido a que no se les hace un buen mantenimiento y uno de los hornos ya tiene más de 5 años de antigüedad.

- **Material:** La pintura que fue reciclada no es tamizada adecuadamente y presenta partículas de polvo ajenas a la pintura, arruinando la capa. Algunas bandejas presentan defectos no solucionados en soldadura o aun muestran residuos de la pintura anterior que no fue removida durante el decapado.
- **Método:** Excederse en el tiempo de pintado ocasiona que se suministre un mayor volumen de pintura, aumentando el espesor de la capa. Tanto el tiempo de secado como el de horneado no debe exceder del indicado en el capítulo 3 ítem 3.2. Dependiendo del tipo de pieza se realiza un secado en caliente y otro en frío, las bandejas al ser grandes necesitan secado en caliente, pero los empleados suelen no respetar esas normas y calientan todas las piezas por igual.
- **Medición:** Error en la medida de pintura por bandeja, es responsabilidad tanto del operario como del encargado del control de pintura en polvo al proveerle de cierta cantidad de pintura por turno.
- **Medio ambiente:** Las condiciones de trabajo son promedio, la fábrica no cuenta con una buena iluminación. La planta queda en el Callao, cerca de la terminal pesquera, por lo que hay bastante humedad que afecta tanto a los trabajadores como al producto en proceso.

Dichos factores, llamados 6M, contribuyen a la elaboración del diagrama de causa-efecto (Ishikawa), de modo que para cada aspecto se logre encontrar una causa raíz que ocasiona los defectos enunciados en el capítulo 4.

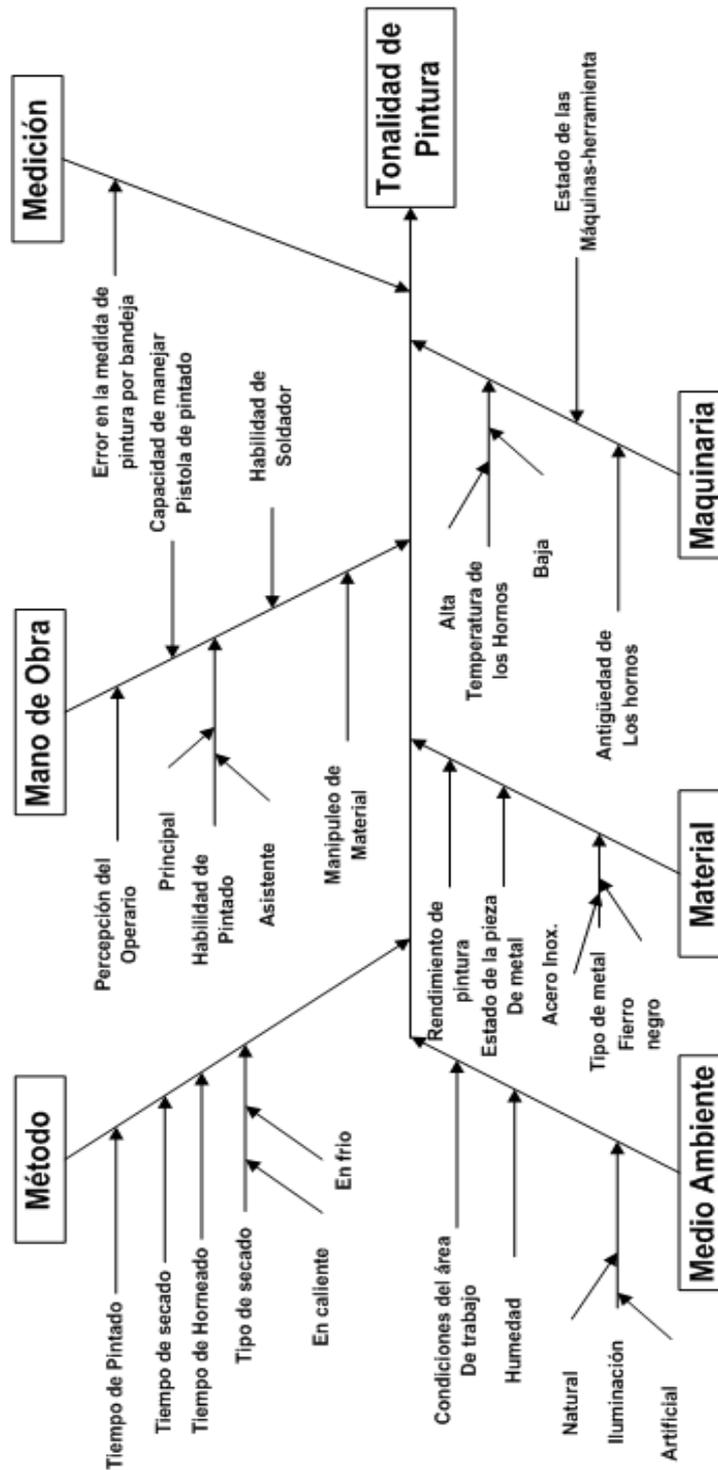


Figura 5.1. Diagrama de Causa-Efecto del proceso de pintado de bandejas.

Fuente: Datos provistos por la empresa. Elaboración propia

5.2. Identificación de fuentes de variación

Cada problema encontrado tiene una causa, y según Córdova (2003), para realizar un análisis estadístico al respecto se debe ubicar sus fuentes de variación, de modo que, si se logra modificar dichas variables con el fin de reducir o, en el mejor de los casos, eliminar dichos problemas, se obtendrá un escenario óptimo del proceso que nos mostrará las mejoras que se podrían implementar.

- **Evaluar las fuentes de variación:**

En cada una de las actividades realizadas en la empresa existe una o varias etapas en las cuales las condiciones o procedimientos diferentes llevan a la variación en los resultados. El procedimiento a seguir en la fase de análisis del proceso de pintado consiste en preparar gráficos y reportes que faciliten la comunicación y motive a la acción de encontrar las causas raíces de los problemas encontrados en el proceso. Las fuentes de variación guardan relación con las 6M enunciadas en el punto 5.1 y son:

- **Mano de obra** diferente (nuevos empleados vs. empleados con mayor experiencia)
- **Maquinaria** y herramientas diferentes
- Instrumentos de **medición** diferentes, o personal diferente realizando las mediciones.
- Diferentes proveedores de **materiales**
- Diferentes **métodos** de operación (temperatura, tiempo, etc.)
- Diferentes condiciones del **medio ambiente** (Iluminación, temperatura, humedad, etc.)

- **Eliminar o reducir la variación:**

Para poder determinar las fuentes más críticas de la variación del proceso de pintado, se planeará con el equipo de trabajo sigma la metodología a utilizar, se evaluarán los resultados actuales e históricos de la empresa, referentes al proceso en estudio y se desarrollarán hipótesis sobre las posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas pertinentes.

Para comenzar se plantean diversos cuestionamientos, propios de la fase de análisis six-sigma, sobre las variables de entrada o “focos vitales” presentes en el proceso de pintado de bandejas de fierro para góndolas:

- ¿Cuáles de las fuentes anteriores pueden ser eliminadas?

Por ejemplo, el entrenamiento o capacitación de los operarios puede reducir o eliminar la variación producida durante el pintado de bandejas.

- ¿Puede reducirse el impacto de otras fuentes?

Es posible que algunos productos, equipos o herramientas de trabajo sean rediseñados para causar una variación menor. Trabajar con un solo proveedor reduce la variación en los insumos, etc. En este caso se considera el mantenimiento de los equipos aun funcionales o la reposición de equipos obsoletos por unos nuevos si fuese necesario.

- ¿Cuáles fuentes no pueden ser eliminadas o reducidas? ¿seguro? ¿Se podrían hacer algunas pruebas o experimentos para asegurarse?

Aquí es donde se utilizarán las herramientas de estadística como la prueba de hipótesis y el diseño de experimentos (DOE), se analizará la significancia de dichas variabilidades y se determinará si se pueden reducir o eliminar.

En el capítulo 3 se identificó las posibles variables del proceso que ocasionan las variaciones en las tonalidades del color, es decir, la cantidad de pintura por pieza representada por el espesor de la capa de pintura además de otros factores cualitativos. Estos tienen un grado de significación en el producto final, en nuestro caso la tonalidad del color.

5.3. El Diseño de experimentos

Para comenzar con el análisis de las variables del proceso de pintado de bandejas de fierro, se trazó un objetivo: Identificar las diferencias clave del rendimiento actual de la empresa con el rendimiento objetivo de esta; saber cuáles son las variables que alejan la realidad de la empresa de su escenario óptimo, y cuáles son las causas de dichas variables que afectan al producto. De modo que al solucionar dichas variables en la fase de mejora, cambie favorablemente el rendimiento del proceso.

En el diseño de experimento se realizarán pruebas en las cuales se induce cambios en las variables de entrada del proceso, de manera que sea posible observar e identificar las causas de las variaciones en la variable de salida. Los pasos son:

Se va a identificar el principal problema por el cual atraviesa la empresa: el aumento considerable de las bandejas de góndolas y anaqueles fuera de rango de aceptación de los clientes en lo que refiere a la tonalidad de color.

Se va a elegir qué factores se utilizarán para el diseño de experimentos y los niveles específicos de cada uno de ellos.

Como tercer punto se tiene enfocado la variable de respuesta o variable dependiente, las piezas fuera de tono de color.

Elección del diseño experimental. Aquí se puede simplificar si los anteriores puntos se identificaron de manera adecuada. En este caso se empleará un diseño de experimentos factoriales completo, con 3 factores ($k=3$), 2 niveles para cada factor y 2 réplicas para cada experimento. La situación se define a continuación:

Al realizarse el experimento se verifica que todo se encuentre según lo planeado para así evitar los errores.

Los Experimentos

Para realizar los experimentos primero se realizó un producto patrón, el cual nos servirá como guía para la identificación de los productos no conformes. Luego se definieron los factores a evaluar para cada producto examinado durante el experimento, estos se muestran en la tabla 5.1.

Para elaborar el producto patrón se considera la característica más resaltante para los clientes: la tonalidad del color de la bandeja. El color a elegir es el de mayor demanda: el marfil, y su aceptación o rechazo depende de cuánto varía el color respecto de lo que solicita el cliente. En la figura 5.1 se puede apreciar la degradación del color marfil y su rango de aceptación y rechazo.

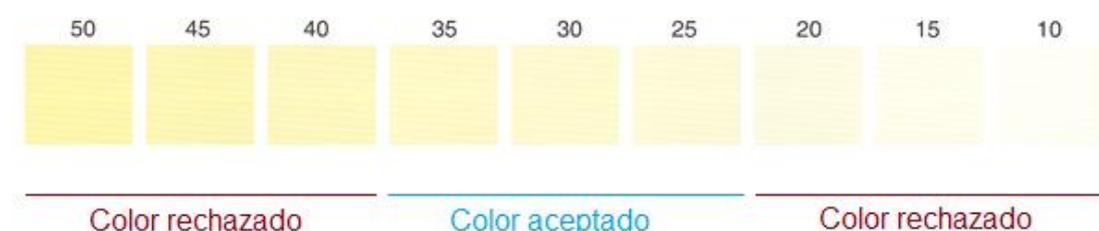


Figura 5.2. Cuadro de degradación de marfil SIAM y rango de aceptación.

Fuente: <http://ocw.udem.edu.mx/cursos-de-posgrado/tutorial-de-diseno-grafico.jpg>

La elaboración del producto patrón consta de lo siguiente:

- Se escoge una bandeja de 1.33 X 0.6 metros cuadrados de superficie completamente limpia y sin ningún defecto de soldadura; esta es recubierta por el *powder-coating* para luego ser introducida en el horno.
- Antes de entrar al horno, se utiliza el micrómetro de capas para medir el espesor de la capa de pintura en 5 puntos donde frecuentemente se encuentran las variaciones de color, en las 4 esquinas de la bandeja y en el centro de esta, de modo que en dichos puntos se cumpla con el rango de la capa de pintura, el cual es el primer factor. Los puntos donde se pinta la bandeja se pueden apreciar en la figura 5.2.
- Se procede a hornear el producto patrón bajo las dos condiciones de horneado: Por un promedio de 45 minutos (segundo factor) a una temperatura de 150°C (segundo factor).

Para efectos del experimento, como solo se puede ingresar un valor numérico como factor, la pieza patrón ingresará con un espesor de capa de 25 μ m, valor medio del rango de espesor ideal de la pintura.

Tabla 5.1 Características iniciales del patrón o muestra.

FACTORES	CARACTERISTICAS
Espesor de capa de pintura	25 μ m
Tiempo de horneado de bandejas	45 min
Temperatura del horno	150°C

Elaboración propia

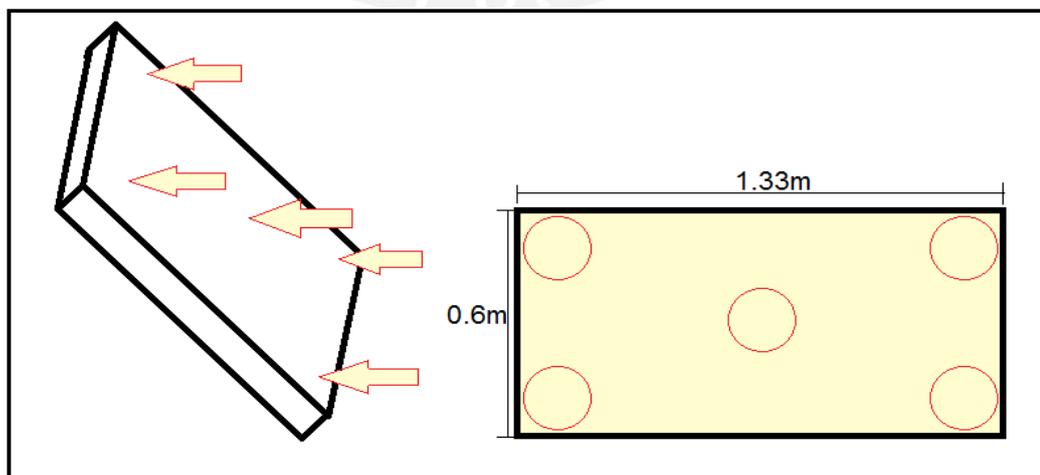


Figura 5.3. Zona de medición en la superficie de bandejas pintadas.
Elaboración propia.

Como se mencionó en el punto j del capítulo 1 del presente documento, Para realizar los experimentos se definen los factores y el número de réplicas a emplear. En la Tabla 5.2 se indica los dos niveles a los que estará sujeto el experimento, estos presentan un nivel máximo y mínimo y el objetivo es determinar cuál es el más conveniente.

Tabla 5.2 Los factores y niveles respectivos.

Factores	Nivel 1	Nivel 2
Espesor de capa de pintura	25 μ m	30 μ m
Tiempo de secado al horno	30 min	60 min
Temperatura del horno	150°C	180°C

Elaboración propia

En la tabla 5.3 se muestra los diferentes experimentos que se realizaron, con sus respectivas características y resultados, es decir, el porcentaje de productos no conformes que son rechazados por los clientes.

En cada experimento se realizó todas las combinaciones de los factores del producto a pintar, se modo que existan interacción entre ellos y se busque cual es el factor, o interacción de factores más significativo en el diseño final del producto.

Tabla 5.3. Tabla de experimentos.

EXP.	FACTORES			INTERACCION DE FACTORES				Combinación	% NO CONFORMES	
	E	S	H	ES	EH	SH	ESH		REPLICA 1	REPLICA 2
1	-	+	+	-	-	+	-	(-1)	8%	6%
2	-	+	-	-	+	-	+	A	42%	43%
3	+	+	+	+	+	+	+	B	20%	17%
4	+	+	-	+	-	-	-	Ab	67%	25%
5	-	-	+	+	-	-	+	C	9%	13%
6	-	-	-	+	+	+	-	Ac	48%	53%
7	+	-	+	-	+	+	-	Bc	21%	19%
8	+	-	-	-	-	-	+	Abc	85%	75%

E=Espesor, S=Tiempo de secado, H=Temperatura del horno.

Elaboración propia

5.4. Análisis de resultados de los experimentos

Al finalizar cada uno de los experimentos se analizó la variable porcentaje de no conformes. En la tabla 5.4, debido a que los valores de P correspondientes a los factores tiempo de horneado y espesor de capa de pintura son menores al valor de alfa (α) que es 0.05, significa que estos influyen de manera significativa en la tonalidad del color. Además, el coeficiente de determinación indica que el 81.13% de la variación de la tonalidad de la pintura es afectada por dichos factores. Se llega a la misma conclusión observando el diagrama de Pareto mostrado en la figura 5.4, pues los valores más significativos son los que sobrepasan la línea de referencia del diagrama.

Tabla 5.4 Tabla del análisis ANOVA para el diseño factorial completo.

Término	Efecto	Coef	SE Coef	T	P
Constante		0.34437	0.02741	12.56	0.000
Espesor	0.13375	0.06688	0.02741	2.44	0.041
T. Secado	-0.11875	-0.05937	0.02741	-2.17	0.062
Temp. Horno	0.40625	0.20312	0.02741	7.41	0.000
Espesor*T. Secado	-0.05875	-0.02937	0.02741	-1.07	0.315
Espesor*Temp. Horno	0.03125	0.01563	0.02741	0.57	0.584
T. Secado*Temp. Horno	-0.09125	-0.04563	0.02741	-1.66	0.135
Espesor*T. Secado*Temp. Horno	-0.07125	-0.03563	0.02741	-1.30	0.230

S = 0.109630 PRESS = 0.3846
R-cuad. = 89.94% R-cuad. (pred.) = 59.75% R-cuad. (ajustado) = 81.13%

Elaboración propia

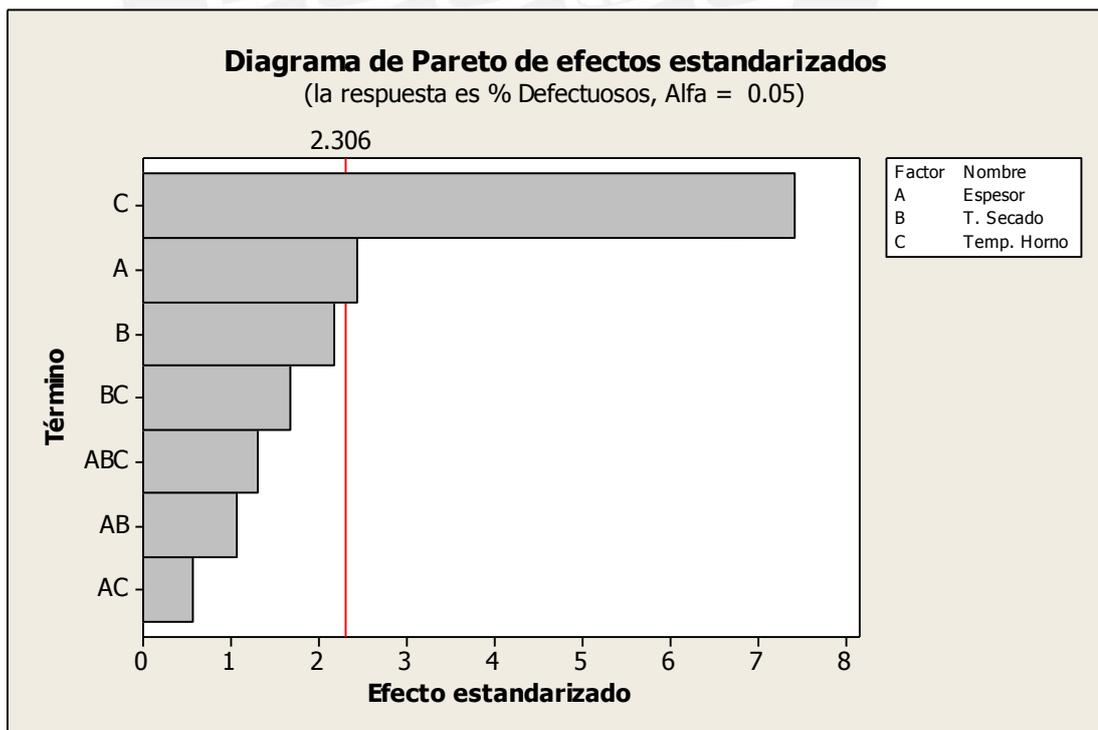


Figura 5.4 Diagrama de Pareto para el diseño factorial completo.
 Elaboración propia.

Al observar los gráficos de las figuras 5.5 y 5.6 se muestran los factores y la interacción del ellos que son significativos en la variación de la tonalidad. Además se muestra que una variación en el tiempo de horneado de las bandejas de hierro influye más en la tonalidad del color que el mismo espesor de capa de pintura, y ambos influyen mucho más que el tiempo de secado y las otras interacciones.

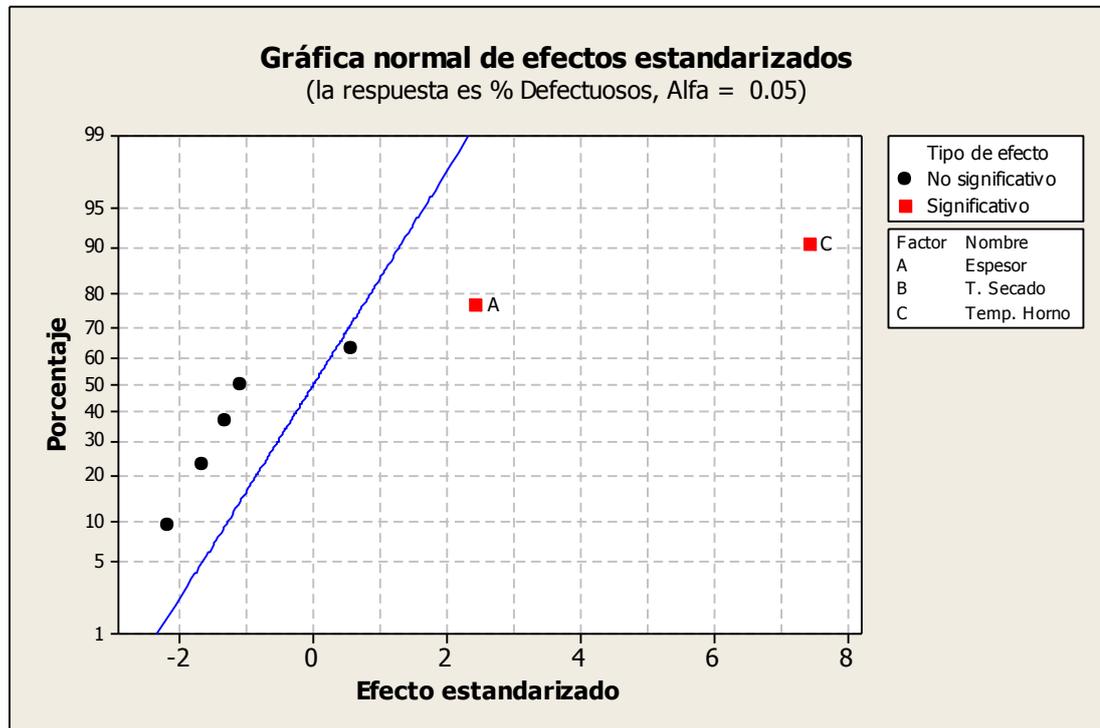


Figura 5.5 Diagrama de probabilidad normal para los efectos.
Elaboración propia

Al ver el primer diagrama del espesor en la figura 5.6, se llega a la conclusión de que a medida que el espesor de capa aumenta el porcentaje de no conformes lo hace de igual manera. Al ver el segundo diagrama de tiempo de secado tiene un menor efecto. Finalmente al ver el tercer diagrama de temperatura del horno, se puede notar que si las bandejas se calientan a una temperatura más moderada como 150°C, el patrón de porcentaje de no conformes es menor comparado con el máximo con el que se hornea una pieza cubierta por *powder-coating*, 180°C. En conclusión, se demuestra que el factor “temperatura del horno” tiene un efecto más grande que el “espesor de pintura” y ambos aún más que el tiempo de secado”.

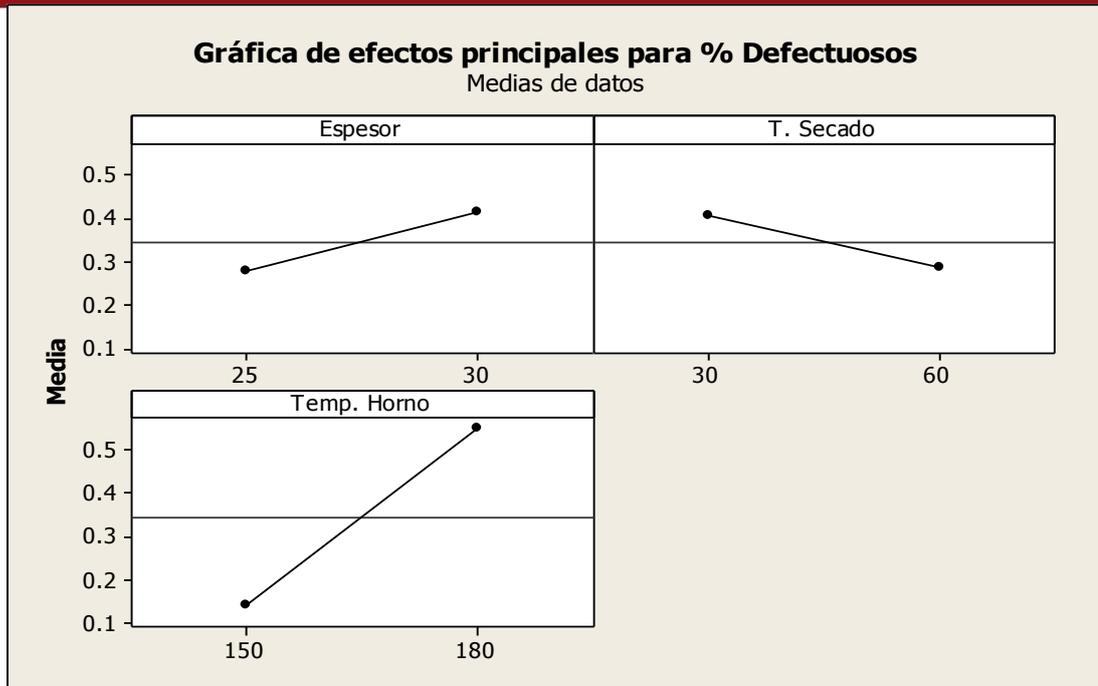


Figura 5.6. Diagrama de los efectos principales para el diseño factorial completo. Elaboración propia

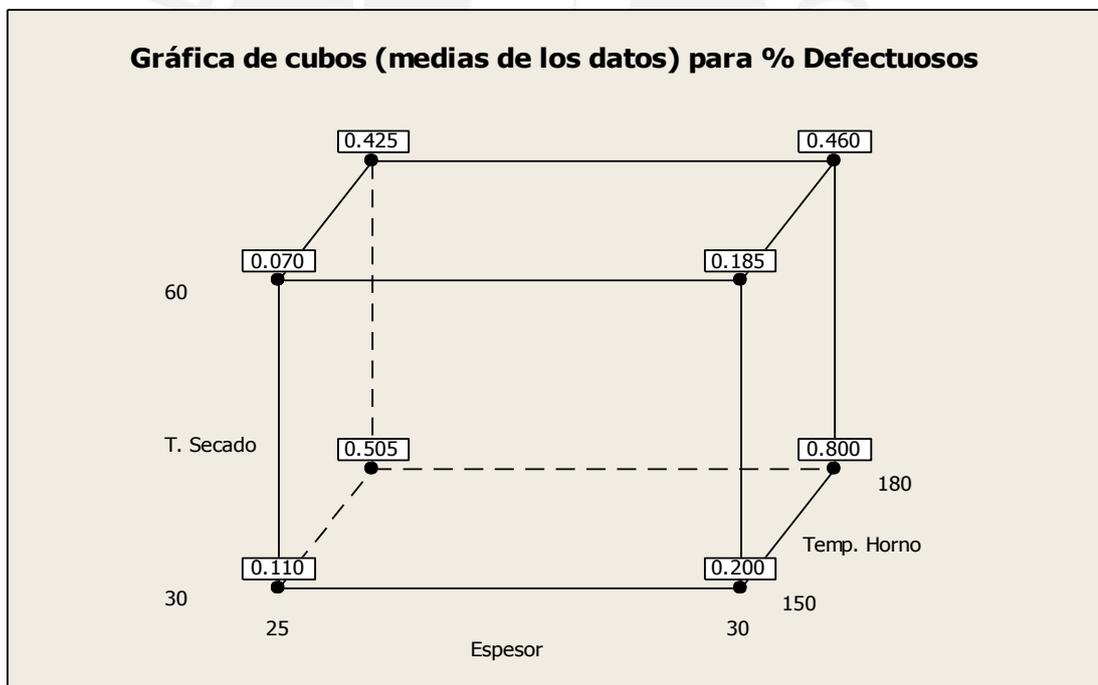


Figura 5.7 Diagrama de cubos para productos defectuosos. Elaboración propia.

El Diagrama cúbico mostrado en la figura 5.7 muestra la combinación de los niveles de los diferentes factores, como se puede apreciar, la menor cantidad de productos no conformes se presenta cuando no se sobreexcede en el espesor de la capa de

pintura, con un tiempo de secado no menor a 60 minutos y cuando la temperatura del horno se encuentra a 150°C. Ello nos da un valor de 0.07.

Al ver la figura 5.8 el paralelismo en espesor y temperatura del horno indica una interacción. Sin embargo, según el diagrama de Pareto, indica que no es estadísticamente significativo.

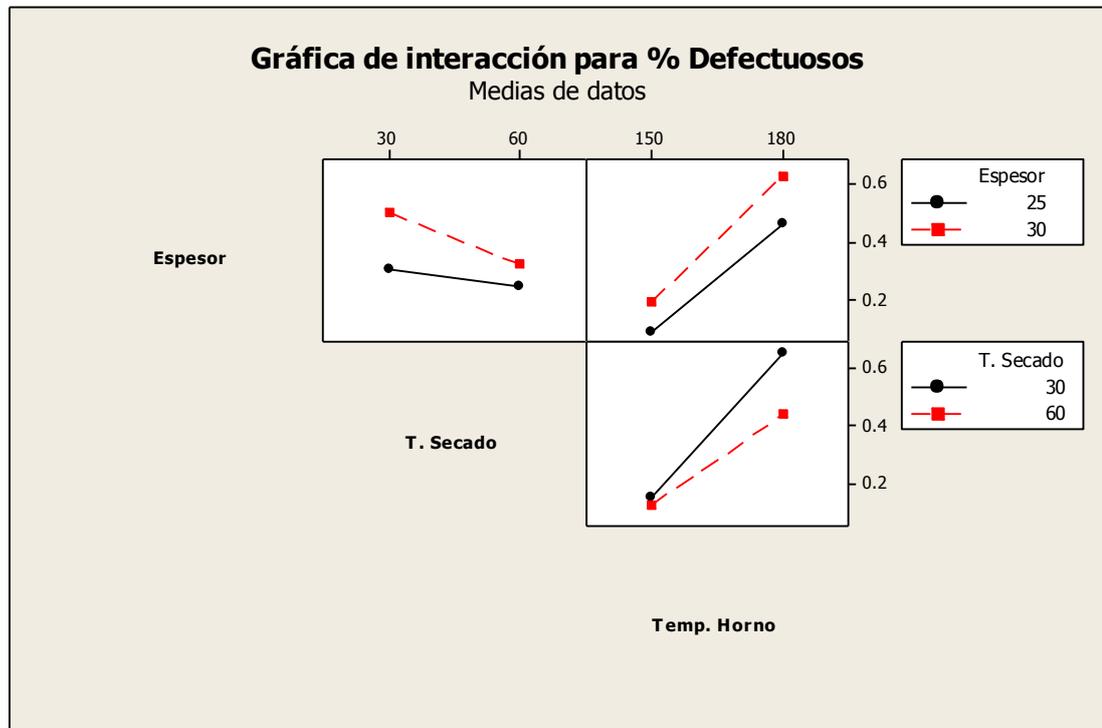


Figura 5.8. Diagrama de interacciones para el porcentaje de no conformes. Elaboración propia.

Para validar los resultados de la ANOVA, en las figuras 5.9, 5.10 y 5.11 se comprueba la normalidad de los valores residuales. En la figura 5.9 debido a la prueba de normalidad Anderson-Darling, se observa que los puntos se aproximan a la línea de normalidad y se requiere que P sea mayor a 0.785 para que haya evidencia de que los datos no sigan una distribución normal. En la figura 5.10 se muestra que los residuos tienen una dispersión uniforme e regular, esto se deba a que la temperatura del horno es constante para todo el cuerpo de la bandeja, lo cual influye en la toma de datos. En la figura 5.11 se observa la aleatoriedad de los datos, con lo que podrían considerarse válidos los resultados de la ANOVA.

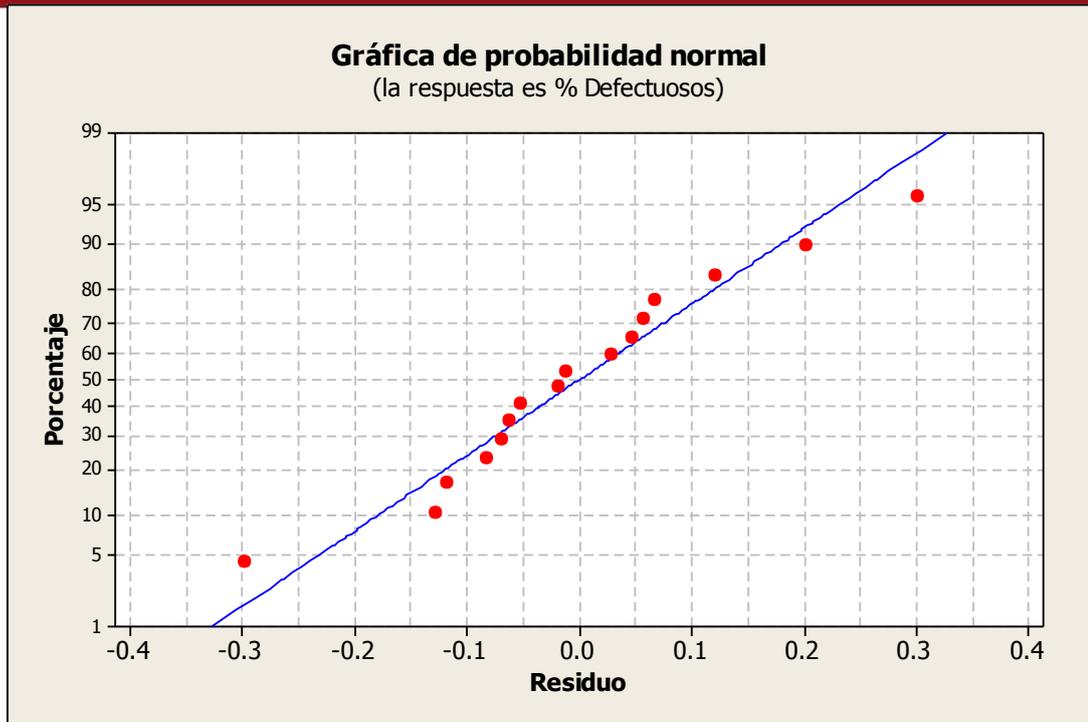


Figura 5.9. Normalidad de residuales.
Elaboración propia.

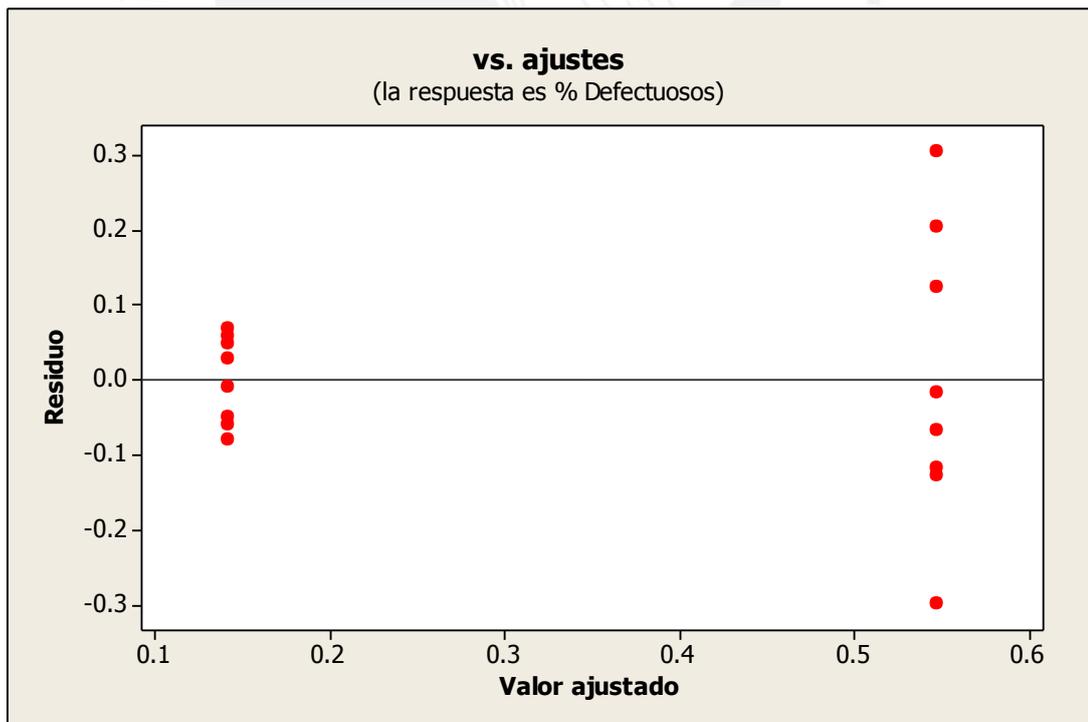


Figura 5.10. Gráfica de dispersión de residuales.
Elaboración propia.

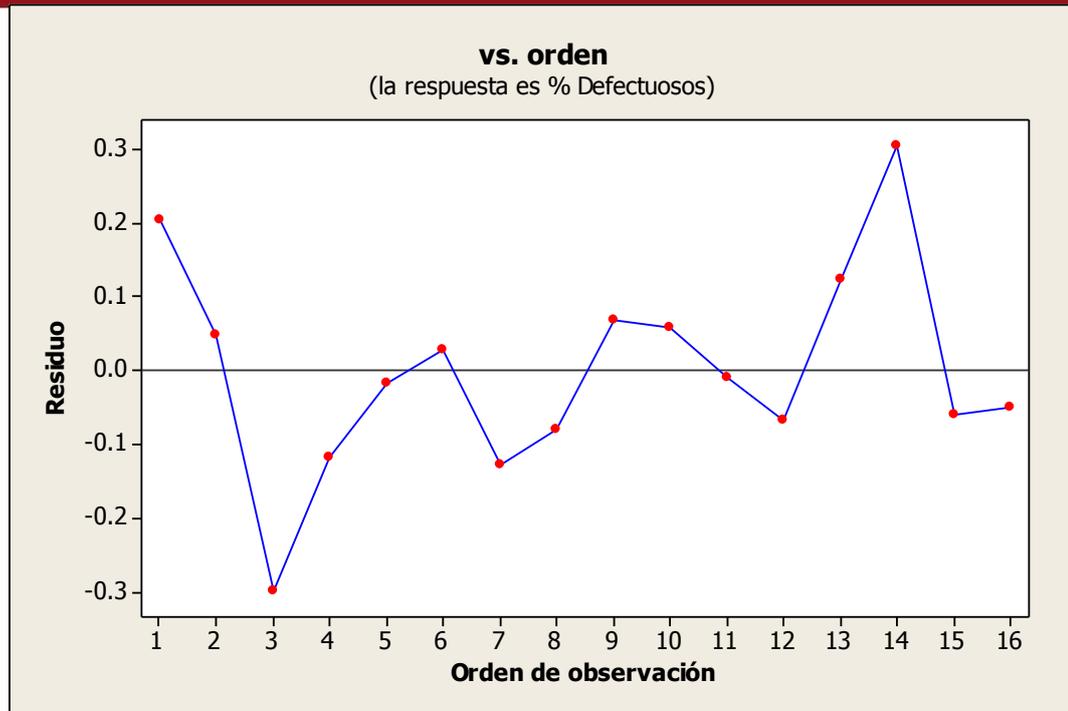


Figura 5.11. Gráfica de aleatoriedad de residuales.
Elaboración Propia.

5.5. Diagnóstico del proceso

Luego de haber pasado por las fases de definición para hallar las fuentes de error del problema, de medición para encontrar variables que permitan un análisis tanto cuantitativo como cualitativo del problema, y de análisis para determinar la significancia de dichas variables como factores de la alta producción de bandejas defectuosas; se puede realizar el siguiente diagnóstico: La temperatura a la que son sometidas las bandejas de fierro no deben llegar hasta los 180°C, pues la pintura presentará un tono más oscuro y opaco debido a las altas temperaturas. Además, se requiere de métodos más precisos para determinar el espesor de la capa de pintura en polvo, ya que un exceso de pintura en las piezas ocasionará la presencia de grumos y otros desperfectos en la bandeja de fierro luego del secado. Para realizar los experimentos fue de gran ayuda el micrómetro de capas utilizado para medir el espesor de la capa de pintura.

6. FASE DE MEJORA SIX-SIGMA

Se determinó en el punto 4 de la presente tesis, que la tonalidad de color, es un requerimiento del tipo obligatorio y según la definición del problema se detalló en la fase de medición *six-sigma* que los últimos rechazos detectados han sido exclusivamente por este tipo de defecto, es decir, la Organización no está cumpliendo con un requerimiento que es obligatorio para el cliente, causándole así una insatisfacción.

Una vez definida la situación actual, se comienza a mejorarla, en este caso a minimizar las cantidades de productos no conformes, para ello se buscará optimizar los valores de los principales factores identificados en la fase de análisis del proceso de pintura electrostática:

6.1. Optimización de la respuesta

Se definieron los tres principales factores: espesor, temperatura de secado y condiciones de trabajo. En la fase de medición se planteó que el objetivo de las propuestas de mejora sería minimizar en un 50% o más el porcentaje de bandejas defectuosas que son devueltas por los clientes. Para ello se definen las metas planteadas, la solución planteada en el diagnóstico del proceso de la fase de análisis y se procede a realizar la optimización de la respuesta, mostrada en la tabla 6.1.

Tabla 6.1. Optimización de la Respuesta.

Parámetros						
Meta	Inferior	Objetivo	Superior	Ponderación	Importar	
% Defectuoso = Mínimo	0.5	0.5	1	1	1	
Respuestas pronosticadas						
% Defectuoso = 0.07, deseabilidad = 1.000000						
Deseabilidad compuesta = 1.000000						
Solución global						
Espesor = 25						
T. Secado = 60						
Temp. Horno = 150						
Respuestas pronosticadas						
% Defectuoso = 0.07, deseabilidad = 1.000000						
Deseabilidad compuesta = 1.000000						

Elaboración propia

Al analizar la tabla 6.1, se aprecia que para minimizar el porcentaje de no conformes en un 50%, se debe fijar el espesor en un valor de $25\mu\text{m}$, el tiempo de secado de la pintura en 60 minutos y la temperatura a la que las bandejas están sometidas dentro del horno en 150°C .

Si la deseabilidad muestra un valor de cero (0) en el reporte indica que no hay conformidad con la meta deseada, mientras que si la deseabilidad alcanza un valor de 1, se dice que se tiene una conformidad total, para nuestro caso vemos que la deseabilidad efectivamente tiene un valor de 1, esto se debe a que reducir los defectuosos en un 50% no es algo imposible de lograr, y la empresa cuenta con los recursos necesarios para implementar esta mejora. Por lo pronto, según lo obtenido en la tabla 6.1, la mejora garantiza una reducción de defectuosos a un 7%

Como se definió en el diseño de experimentos de la fase de análisis, el factor “Temperatura del horno” es el que influye de manera más impactante en la tonalidad del color de las bandejas luego de ser pintadas. En base a ello se realizan dos gráficas de contorno para dos situaciones diferentes: que la temperatura del horno se encuentre a 150°C y otra en la que la temperatura sea de 180°C . En ambos gráficos se analizará las áreas de porcentaje de no conformes respecto de los otros dos factores: “espesor de capa de pintura” y “tiempo de secado de pintura”. Dichas áreas se pueden apreciar en la figura 6.1.

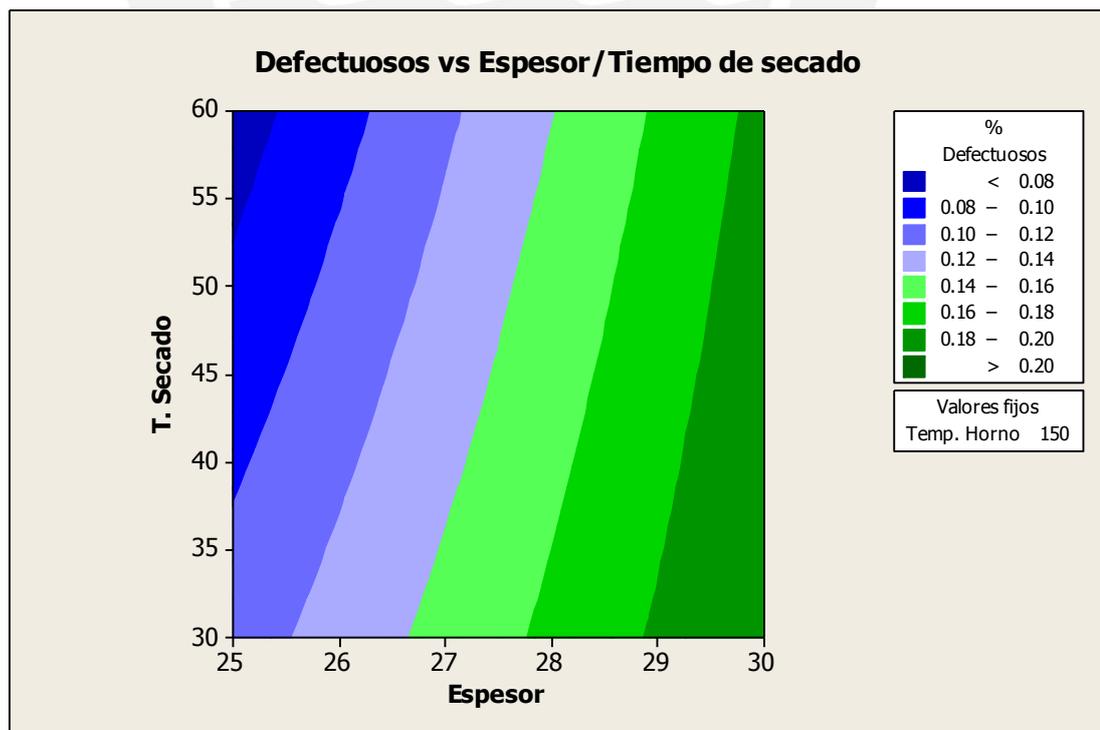


Figura 6.1. Diagrama de contorno para temperatura de horno a 150°C .
Elaboración propia

El gráfico indica las áreas de porcentaje de no conformes esperados según los valores de tiempo de secado y espesor de pintura. Para alcanzar el menor valor de porcentaje de piezas defectuosas se debe trabajar dentro del área con menor porcentaje de error (< 0.08). Sin embargo, en las especificaciones técnicas de la pintura electrostática, mencionada en la fase de definición, se sugiere que la temperatura del horno llegue a los 180°C para asegurar una mayor adherencia de la pintura a la bandeja. Por este motivo presentara de igual manera los porcentajes de pieza defectuosas cuando la temperatura del horno se encuentra a 180°C , manteniendo los valores óptimos de espesor de capa de pintura y temperatura de secado.

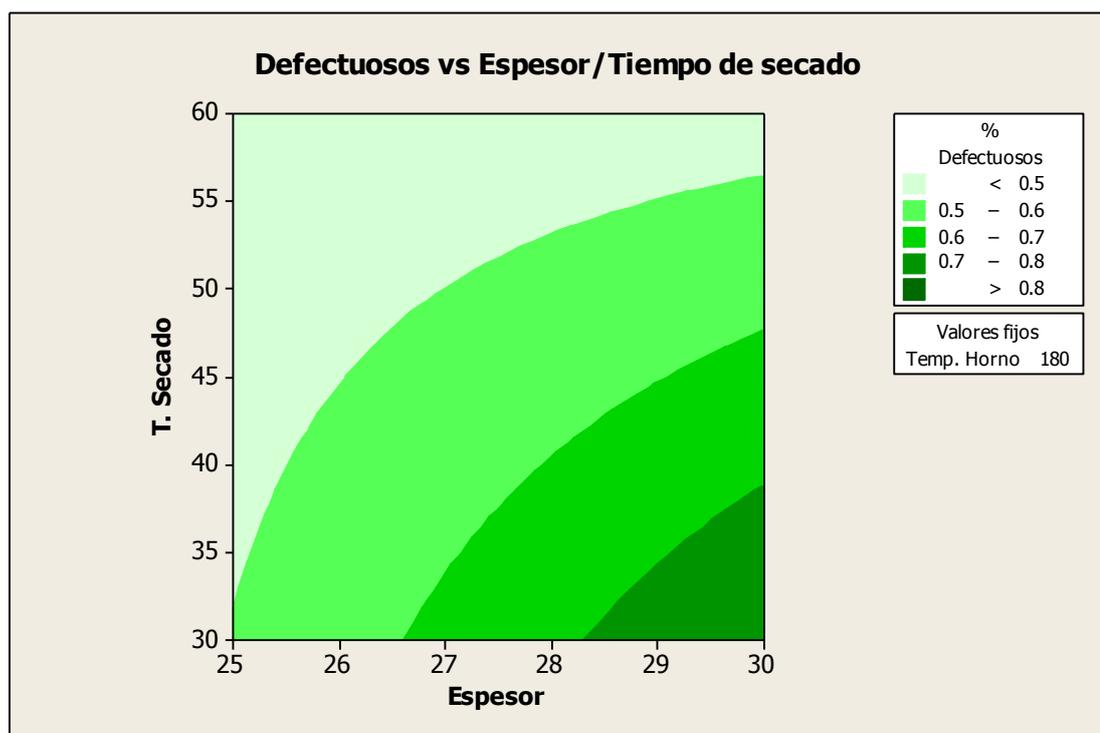


Figura 6.2. Diagrama de contorno para temperatura de horno a 180°C .
Elaboración propia

En este caso para la figura 6.2, se puede apreciar que el porcentaje de no conformes es mayor al caso anterior. Esto quiere decir que de acuerdo a la cantidad de pintura aplicada a la bandeja, no será necesario aumentar la temperatura del horno hasta los 180°C , ya que a 150°C la pintura igual podrá adherirse perfectamente a la bandeja de metal. De este modo el producto terminado será de mayor calidad.

6.2. Propuestas de mejora

Luego de haber realizado todas estas pruebas se enuncian las siguientes propuestas de mejora:

Se debe mantener la temperatura del horno a una temperatura no mayor a los 150°C para los procesos de pintura en polvo, pero tampoco debe ser esta muy baja, pues la pintura podría no adherirse a la bandeja de metal. Esta mejora es muy fácil de realizar, pues tan solo requiere de la supervisión de un operario que fije la temperatura adecuada del horno y que este controle que el tiempo de horneado exceda de los 60 minutos. La temperatura de secado en el horno es un valor estándar, por lo que la variación de la tonalidad del color por pieza dependerá en mayor medida de la cantidad de pintura en polvo con la que ésta se recubre. El color tiende a volverse más opaco cuando la capa de pintura es muy ancha y la temperatura muy elevada.

Al mantener el espesor de la capa de pintura a un valor cercano a los 25µm, se obtendrá un producto sin manchas ni grumos de pintura, debido a que no se excede del ancho máximo de capa y la pintura no se asentará por sectores específicos de la pieza a pintar, generando dichos defectos. Para realizar esta mejora se necesita de una herramienta de medición que pueda medir con buena precisión el espesor de la capa de pintura en polvo aplicada a la bandeja de metal. Lo que se debe realizar antes de implementar el uso del micrómetro de capas es:

- Calibrar el micrómetro: La calibración del equipo de medición que se utiliza en la parte operativa es un punto relevante a la hora de realizar los trabajos, el micrómetro de capa PT-200 es un instrumento de suma importancia al momento de medir el espesor de la capa de pintura.
- Capacitación de personal: Muy aparte de definir los valores óptimos a los cuales debe estar sujeto el proceso de pintura en polvo, se debe tener en cuenta el factor humano, ya que los mismos operarios suelen demostrar que en ciertos casos un descuido puede afectar a la calidad del producto, ya sea por la mala percepción de color o accidentales roces con la capa de pintura debido a las condiciones de la planta. Los operarios cuentan con el conocimiento suficiente sobre el *powder-coating*, después de todo ellos ya

llevan más de 5 años realizando trabajos con dicho método, pero el micrómetro de capas es una herramienta nueva para ellos, por esta razón se plantea capacitar al personal en el uso del micrómetro de capas PT-200 para corregir las posibles deficiencias presentes para obtener óptimos resultados.

El micrómetro ha sido concebido para determinar el espesor de capas en sustratos no metálicos como madera, plástico, hormigón y otras bases. Este opera sin producir daños en el material. Este mide por medio de ultrasonido todo tipo de recubrimientos sobre madera y materiales de construcción como hormigón, ladrillos, enlucidos, plásticos y también metales, además del espesor de capas el micrómetro puede determinar capas de resina de epóxido y de gel fuerte sobre GFK y otros materiales de fibra de carbono o materiales de unión.

Los micrómetros deberán ser calibrados:

- Al menos una vez al mes.
- Cuando una extrema precisión es requerida.

La empresa dispone de diversas herramientas, como ya ha sido explicado en el capítulo 2: descripción de la organización. Y una de estas herramientas destaca debido a la importancia que se le está dando al proceso de pintura electrostática, se trata de la pistola pulverizadora. Este dispositivo requiere de mantenimiento mensual así como otros de sus componentes, ya que hasta el momento es la única herramienta con la que se puede realizar el proceso de *powder-coating*.

Las especificaciones técnicas tanto del micrómetro de capas PT-200 como de la pistola pulverizadora se encuentran en los puntos a) y b) de la presente unidad, respectivamente.

6.3. Propuestas adicionales

Así como se proponen mejoras para los principales factores que determinan la tonalidad del color de las bandejas, también es pertinente proponer mejorar para el método de trabajo desarrollado en la empresa, sobre todo en la fábrica.

Por más que temperatura del horno se encuentre en el punto ideal y la capa de pintura se encuentre bien adherida a la pieza, cualquier contacto con la pieza pintada, ya sea por el manipuleo de los operarios o el simple desplazamiento por el área de trabajo, originará que se produzcan ralladuras en la superficie, entrando

inevitablemente al reproceso de la pieza y excediendo costos de insumos de pintura. Esto se debe principalmente a que en la fábrica no siempre se cuenta con un ambiente de trabajo limpio y cómodo para los operarios, por lo que un accidente ocasionado por dicho desorden no solo podría arruinar los productos que se elaboran, sino podrían ocasionar daños a los mismos operarios.

En esta situación se propone implementar la metodología de las 5S's en la empresa, con esto se pretende:

- Mejorar las condiciones de trabajo y la moral del personal. Es más agradable y seguro trabajar en un sitio limpio y ordenado.
- Reducir gastos de tiempo y energía.
- Reducir riesgos de accidentes o sanitarios.
- Mejorar la calidad de la producción.
- Mejorar la seguridad en el trabajo.

La mejora de las condiciones laborales en la empresa ya no involucra un estudio estadístico como el realizado en esta tesis, sino que depende del aspecto organizacional de la empresa. Por lo general los trabajos de planta cesan los días domingo (cuando el periodo de demanda es bajo), esos días se pueden aprovechar para realizar un mantenimiento general de equipos y de estaciones de trabajo, además de ordenar el taller de la fábrica y colocar las herramientas en sus lugares correspondientes, de modo que para el inicio de la semana laboral no se incurra en demoras por la no localización de materiales o herramientas, el mal funcionamiento de equipos o la falta de libertad de movimiento de los operarios.

A) Micrómetro de capa

Características:

- Memoria para 10.000 valores
- Interfaz USB para conectar a un PC
- Actualización continua de la pantalla
- Pantalla gráfica LCD con iluminación de fondo
- Medición no destructiva
- Apto para uso en ambientes adversos
- Equipo de software opcional (incluye cable de datos USB)
- Se puede solicitar una calibración de laboratorio ISO con certificado opcional
- Micrómetro de capas con carcasa robusta
- Pantalla de fácil lectura



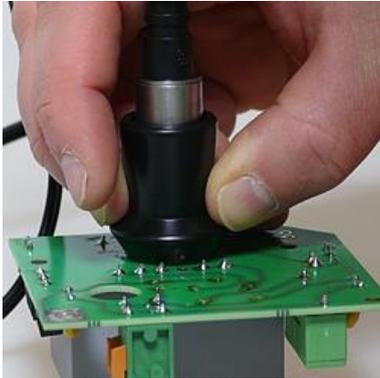
Micrómetro PT-200

Especificaciones técnicas

- Rango de medición 20 a 1000 μm
- Resolución 2 μm Precisión $\pm 2 \mu\text{m} + 3 \%$ del valor de medición
- Superficie mínima de medición 10 x 10 mm
- Radio mínimo de curvatura convexo: 10 mm; cóncavo: 100 mm
- Espesor mínimo del sustrato - - -
- Memoria interna para 10000 valores
- Interfaz USB
- Software y cable de datos para Win 98, 2000, XP, ME (componentes opcionales)
- Función estadística si Indicador pantalla gráfica LCD
- Temperatura ambiental 0 ... +50 °C
- Alimentación 3 x baterías AAA de 1,5 V (incluidas)
- Dimensiones del aparato: 146 x 64 x 31 mm / sonda: $\varnothing 8$
- Peso 165 g
- Norma ASTM-D6132 / ISO 2808

Uso del medidor de espesor de capas

El micrómetro PT-200 tiene múltiples aplicaciones. Se puede utilizar sobre casi todo tipo de bases para medir el espesor de las capas. A continuación mostramos imágenes de su uso.



Micrómetro PT-200 midiendo sobre diversos materiales



Micrómetro de capas PT-200 midiendo sobre una pletina



Bolsa de transporte de alta calidad del micrómetro de capas PT 200

Tanto si tiene que medir el espesor de capas de pintura p.e. sobre madera, hormigón, cerámica, etc. Como si tiene que determinar con precisión el espesor de un recubrimiento sobre pletinas, el aparato obtiene siempre resultados reales. No es necesario ser un profesional para utilizar el aparato.

Complementos:

- **Equipo de software** con cable USB incluido (Para transmitir los datos de medición guardados en el aparato a un PC o laptop y para la representación gráfica y el análisis de los valores en el PC.) Los valores de medición se pueden enviar a otros programas de cálculo como por ejemplo MS Excel.

- **Gel de acoplamiento**
Adjuntamos en el contenido de envío un tubo con gel de acoplamiento. Si planea efectuar muchas series de mediciones le aconsejamos que pida una cantidad considerable de gel. Aconsejamos usar siempre el gel de acoplamiento (para crear un contacto entre el cabezal y la pieza a medir, y para proteger la superficie del sensor).

- **Certificado de calibración ISO**
(Para empresas que deseen incorporar el aparato a las herramientas ISO de control interno de la empresa o para realizar la recalibración anual que garantiza una alta precisión de medición).

B) Pistola de Pulverización

Descripción del producto:

Pistola de pulverización electrostática

COLO-660 Equipo Manual de aplicación de pintura electrostática.

Características:

1. La unidad de control tiene un toque de botón de funcionamiento inteligente para piezas planas, piezas complicadas y piezas de repintado. Fácil de operar.
2. Adecuada para el recubrimiento de cada pieza de trabajo. Piezas sencillas y planas; piezas con formas complicadas; El exceso de recubrimiento de las piezas que ya están revestidos.
3. Sistema de Pulso para la aplicación. Puede reducir el efecto piel de naranja de manera significativa en comparación con la máquina común de recubrimiento electrostático.



Datos técnicos del equipo:

Energía:

Unidad de control Voltaje de entrada: 110V

Frecuencia: 50-60Hz

consumo: 50W

Neumática de control de voltaje: 24V DC

Aire:

Máxima presión del aire de entrada: 10bar/145psi

mínima presión del aire: 6bar/87psi

Contenedor de pintura en polvo.

Pistola de aplicación:

Solo 550 gr de peso de la pistola

Cable de conexión: 5 m

Dimensiones del empaque

Modelo N ° COLO-660

Longitud: 84 cm

Ancho: 52 cm

Altura: 68 cm

Peso: 37 kg.



Pistola de aplicación de pintura.

Descripción del funcionamiento del equipo de manual de aplicación:

la pintura electrostática en polvo pasa a través de la manguera y llega a la pistola y el polvo se cargan electrostáticamente en la boquilla de la pistola. Además, un campo electrostático se crea entre la boquilla de la pistola y el objeto a tierra. El polvo cargado permanece adherida a la superficie del objeto. El polvo se fluidiza por aire forzado a través de una placa porosa de plástico desde abajo. El aire de transporte, aire suplementario, y aire de limpieza se establecen en la unidad de control.

El proceso del revestimiento es como sigue: El polvo se fluidiza en la tolva de polvo. Los inyectores de transportar el polvo a través de las mangueras a la pistola de aplicación.

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica es una manera de medir y comparar los diversos beneficios de los recursos que se utilizan en la organización. El análisis de dicha evaluación se basará en los ingresos y costos de producción de la empresa, los costos de calidad definidos en el capítulo 1 de la tesis, y en el supuesto escenario óptimo obtenido en la fase de mejora.

Para las piezas pintadas se tomará como referencia las bandejas de góndolas de pintadas con los colores más solicitados por los clientes: marfil SIAM y negro brillante.

Tabla 7.1. Cuadro de producción semanal en la planta.

PRODUCCIÓN SEMANAL		
Velocidad operación	80	bandejas/turno
Disponibilidad	16	turnos/semana
capacidad de impresión	1280	bandejas/semana
Color de Pintura	Bandejas Semanales	Horas
Marfil SIAM	960	30
Negro brillante	320	10
Total	1280	40

Fuente: Información provista por la empresa.
Elaboración Propia.

Una estación de pintura está conformada por dos elementos fundamentales: el equipo de pintura en polvo, el cual consta de una pistola a presión conectada por una manguera a una fuente en forma de cilindro donde se encuentra contenida la pintura; y una celda en forma de medio cubo donde se concentra todo el polvo de pintura sobrante de modo que se pueda reciclar y utilizarla para procesos posteriores. La disponibilidad de este equipo es de un promedio de 40 horas semanales efectivas para la producción de bandejas. Cada estación de pintura tiene una velocidad de operación de 80 bandejas por turno, lo cual nos da una producción semanal de 1280 bandejas, tomando en cuenta que se trabaja 16 turnos por semana, 3 turnos diarios de lunes a viernes, y 1 turno los días sábado, dedicándole los días domingo al mantenimiento preventivo sugerido en la fase de mejora. De acuerdo a la demanda semanal la relación de bandejas solicitadas de color SIAM y negro brillante es de 3 a 1, por lo que el pintado de bandejas de dichos colores debe seguir la misma.

Tabla 7.2. Cuadro de conformidad de producción.

Cantidad de productos conformes	
	Bandejas
Capacidad de producción	1280
error 10%	128
Total productos conformes	1152

Fuente: Información provista por la empresa.
Elaboración Propia.

Según la tabla 7.2, se produce de 1152 bandejas conformes por semana debido a que un porcentaje de la producción se considera como error o demasía debido a los constantes reprocesos de las bandejas. Un siguiente paso es elaborar y revisar los costos de producción en las secciones, pero para nuestro caso; se evalúa los costos generados en la sección de pintura.

Tabla 7.3. Cuadro de costos de producción por pedido semanal.

Costo por pedido en la sección de impresión					
Descripción	Precio Unitario	U.M.	Cantidad	U.M.	Total
Mano de obra	1.3	s/hr	128	Hora	166.4
Marfil SIAM	50	s/caja	4	Cajas	200
Negro Brillante	40	s/caja	2	Kg	80
Thinner	20	s/galón	4	Galón	80
Costo H-M Estación de pintura	8	s/hora	128	Hora	1024
Costo H-M Horno	25	s/hora	64	Hora	1600
Costo - Combustible GNV	1.39	s/galón	40	Galón	55.6
			Costo total		3206

Fuente: Información sobre los precios unitarios provistos por la empresa
Elaboración propia.

El costo de pintado es de aproximadamente S/.3206. Ahora se analiza los ingresos por ventas generados al producir el producto, y verificar si es o no rentable.

Tabla 7.4. Cuadro de ingresos por ventas de bandejas.

Ingresos por Ventas		
Precio venta	S/. 14	S/.bandeja
Ingreso por ventas semanal	S/. 16,128	S/. Semanal
Ingreso por ventas anual	S/. 774,144	S/.Año

Fuente: Información provista por la empresa
Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 7.4 el ingreso de producción de bandejas es de S/.16128.00 semanales o equivalentemente a S/. 774144.00 anuales.

Según lo afirmado por el Jefe de planeamiento de producción, el costo de las secciones restantes como la de soldadura y la de almacén asciende a aproximadamente S/.1900.00 a la semana, en donde se toma en cuenta los costos de mano de obra para el acabado final (revisado, conteo, empaquetado, etc.), horas máquina en puestos de soldadura, por lo tanto el costo de venta del producto asciende a S/. 5106.00

Tabla 7.5. Cuadro de Utilidad de la Producción.

Utilidad Neta Semanal	
Ingreso por ventas	S/. 16,128.00
Costo de ventas	S/. 5,106.00
Utilidad bruta	S/. 11,022.00
Otros gastos	S/. 750.00
Utilidad neta	S/. 10,272.00
Utilidad neta anual	S/. 493,056.00

Fuentes: Información sobre las utilidades de la empresa provistas por la empresa.

Elaboración propia.

Como fue determinado en el punto 6.1 de la fase de mejora del proceso de pintura, se sabe que, teóricamente con las mejoras propuestas, el porcentaje de error de producción se reducirá a un 7%, de modo que el cliente devolverá menos artículos disconformes. Y por último se realiza la evaluación económica.

Tabla 7.6. Cuadro de conformidad de producción después de la mejora.

Cantidad de productos conformes	
	Bandejas
Capacidad de producción	1280
Error 7%	89.6
Total productos conformes	1190.4

Elaboración propia.

Ahora la capacidad de producción de bandejas conformes es de 1190 bandejas.

Finalmente se elabora el ingreso por ventas generadas después de la mejora.

Tabla 7.7. Cuadro de ingresos por venta después de la mejora.

Ingresos por Ventas		
Precio venta	S/. 14	S/.bandeja
Ingreso por ventas semanal	S/. 16,666	S/. Semanal
Ingreso por ventas anual	S/. 799,949	S/.Año

Elaboración propia.

En la tabla 7.7, se puede apreciar que el ingreso por ventas anuales ascendió a S/.799949.00 anuales.

Tabla 7.8. Cuadro de Utilidad neta después de la mejora.

Utilidad Neta Semanal	
Ingreso por ventas	S/. 16,665.60
Costo de ventas	S/. 5,106.00
Utilidad bruta	S/. 11,559.60
Otros gastos	S/. 750.00
Utilidad neta	S/. 10,809.60
Utilidad neta anual	S/. 518,860.80

Elaboración Propia

Como se puede apreciar en la tabla 7.8, las utilidades netas anuales es de S/. 518860.80, por lo tanto comparando con las utilidades antes de la fase de mejora y control de la tabla 7.5., la organización obtendrá un aumento estimado de 5% de sus utilidades.

7.1. Flujo de caja Económico.

El siguiente paso para realizar la evaluación económica es enunciar los costos de inversión que se realizarán para llevar a cabo la mejora, para esto se indica los tipos de costos a los que se incurrirá para llevar a cabo la mejora para reducir los costos de falla internos y externos (1.4. Costos de calidad)

- Capacitación de Personal en *powder-coating* – S/.300.00
- Costo de Inspección: Implementación del Micrómetro PT-200 – S/.4200.00
- Costo de Prevención: Mantenimiento preventivo – S/.300.00 semanal
- Calibración del Micrómetro PT-200. S/.600.00 trimestral
- Calibración de pistola de pintura – S/.230.00 mensual
- Cursos sobre control de calidad – S/.150.00
- Costo de Inspección: Uso de instrumentos de inspección – S/.150.00

Tabla 7.9. Flujo neto del proyecto.

Mes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ingresos		2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150	2150
-Inversión Inicial	5930												
-Monto. Semanal		1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
-Cal. Tornillo (Trim)				600			600			600			600
-Calib. Pistola (Mes)		230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230	230
Flujo de Caja Neto	-5930	720	720	120	720	720	120	720	720	120	720	720	120
TIR	11.46												

Elaboración propia.

El valor de la tasa interna de retorno (TIR), es el método que introduce el valor del dinero en el tiempo, su tasa de descuento iguala al valor actual de los beneficios y al valor actual de los costos previstos, además el valor de TIR, es la tasa de interés que hace cero el Valor Presente Neto.

En el presente caso se involucrarán todos los ingresos y egresos involucrados en lo que es la mejora del proceso, es decir, se tomarán las ganancias obtenidas por la mejora, y los costos en los que se incurrirá en caso se lleguen a aplicar dichas propuestas.

Como se puede apreciar en la tabla 7.9, el valor TIR es de 11.46%, lo cual nos indica que mientras el inversionista tenga un valor de Tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) menor al TIR, el proyecto es aceptado.

Como el objetivo principal de la tesis es de idear propuestas de mejora de procesos, la evaluación económica se utilizó no solo para demostrar que no se incurrirá en fuertes desembolsos de dinero a causa de dichas propuestas, sino que la empresa ya no perderá dinero por la devolución de sus productos defectuosos.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Conclusiones

Luego de haber empleado todas las herramientas del Six Sigma para determinar el pre diagnóstico y proponer mejoras para el proceso de pintura en polvo, se ha podido llegar a las siguientes conclusiones:

- Cada fase de la aplicación Six-Sigma requiere del apoyo del todo un equipo dedicado y enfocado a lograr mejoras en la empresa. Además, cabe agregar la importancia de la constitución del equipo y las funciones de cada uno de sus miembros, lo cual influye en la efectividad de la toma de datos en la fase de medición.
- La importancia de hacer participar a la Gerencia y a los dueños de la empresa en el equipo de proyectos de mejora, de modo que todos los que participan en las mejoras, tanto del servicio como del producto, se sientan comprometidos.
- La metodología Six-sigma, se basa en el sentido común para solucionar problemas y lograr mejoras: Primero, ante cualquier problema hay que definirlo (o definirlos en caso sean varios), luego tomar datos para trabajar en base a dichos problemas, después analizar los datos recolectados, y por último idear las mejoras en base al análisis previo y establecer un control para evitar que se vuelvan a generar esos problemas.
- En la evaluación del impacto económico se demostró que el ahorro por eliminar los costos de no calidad, son mayores a la mínima inversión que hay que hacer para asegurar la calidad de las bandejas. Lo que muestra que en más de un caso el mejorar la calidad y servicio de las empresas es una cuestión de cambio de mentalidad y de querer hacer bien las cosas, más que de realizar una gran inversión.
- De no haber establecido bien los parámetros en la fase de definición, habría sido imposible decidir qué datos tomar, qué procesos mejorar y hacia dónde apuntar como objetivo del proyecto de mejora. Es decir, todo lo referido a los requerimientos del cliente y lo que espera del producto y servicio, como

es el caso de las características que debe presentar una bandeja de acero luego de su mantenimiento.

- Si bien en el mantenimiento y reposición de bandejas pueden presentarse diversos problemas, el enfocarse en los más críticos, cuyo error o falencia afectan económicamente a la empresa con mayor impacto y dañan el prestigio de ella producirá resultados más notorios y motivará más a la gente que participa en equipos de mejora.
- En la fase de medición se mostró la importancia de un área de servicio al cliente o al menos comprometer dichas funciones al personal del área de ventas. Implementando dicha área, la toma de datos se podrá conseguir con mayor prontitud y así obtener con mayor prontitud los resultados de los análisis y mejora six-sigma.
- En la fase de Análisis se ha demostrado la funcionalidad y facilidad que brinda el uso del Minitab 16 para el análisis de datos, ya que mediante ello, solo se necesita tener en claro los conceptos de estadística, diseño de experimentos, e implementación de resultados.
- Los problemas que se presentan en la empresa están ligados directamente con los procesos y métodos de trabajo, no con las máquinas, medios de trabajo ni directamente ligado a la mano de obra. Es decir, para mejorar la calidad de un producto o servicio, se debe empezar por analizar los procesos antes que los inputs.
- Como se vio en la fase de mejora, se mostró que cuando se cuenta con una data real y precisa para analizar el desempeño de los proceso, proponer las mejoras resulta menos complicado.

8.2. Recomendaciones

- a. Se recomienda el uso del micrómetro de capa para poder asegurar una mayor precisión en el espesor de la capa de pintura en polvo a aplicar a las piezas. De modo que estas no adquieran una tonalidad diferente a las exigidas por el cliente.
- b. La empresa solo requiere un proveedor de pintura en polvo, dado que al cambiar constantemente de marca de pintura, es muy probable que la tonalidad de la pintura sea diferente, pese a que en el paquete indique que se trata del mismo color.
- c. Realizar una clasificación ABC para el abastecimiento de la pintura en polvo, ya que frecuentemente se compra pintura de diversos colores, cuando el color más utilizado es el marfil Siam, de este modo se ahorra en costos de inventario de cajas de pintura.
- d. Realizar un seguimiento al programa de mantenimiento de los equipos de pintura, como las pistolas y cabinas de pintado, y la frecuente revisión de los hornos para que estos no fallen en ningún momento del proceso.
- e. Asegurar la buena presentación de los productos elaborados con la finalidad de poder brindar un producto presentable y llamativo.
- f. La empresa debe centrarse no solo en la buena elaboración de sus productos, sino también en el trato de los clientes, tanto en el servicio de venta y post-venta; con la finalidad de lograr su satisfacción y por lo menos cubrir sus requerimientos.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCALÁ, Walter.
2008. "Enfoque de procesos. Material de enseñanza. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Instituto para la Calidad.
- ARVELO, Ángel F.
1998. "Capacidad de los procesos industriales: Métodos estadísticos exigidos por las normas ISO-9000". 1ra. Edición. Universidad Católica Andrés Bello. Ciudad: Caracas, Venezuela. 187pp.
- BARBA, ERIC. Seis sigma, una iniciativa de Calidad Total, 2001.
- BERNATE, Germán. Su mejor regalo: una queja de su cliente. Tomado de: <http://www.gestiopolis.com/canales/demarketing/articulos/no%206/sumejorregalo.htm>, 2009
- BESTERFIELD, Dale H.
1995. "Control de calidad". 3ra Edición. Ciudad: México. Prentice-Hall.
- CARDER, Jhon. (2003). Análisis de Kano. Recuperado de: http://www.isixsigma.com/dictionary/Kano_Analysis-263.htm
- CICLO DE DEMING. Tomado de: <http://www.implementacionsig.com/index.php/generalidades-sig/55-ciclo-de-deming>. Acceso en: 07 Julio de 2013.
- CROSBY, Philip.
1979. "Quality is Free: The Art of Making Quality Certain". 1ra Edición. U.S. Editorial Mentor. 270pp.
- CÓRDOVA, Manuel.
2003. "Estadística: Descriptiva e Inferencial". Lima – Perú: Editoría MOSHERA S.R.L.

- DIAGRAMA DE PARETO. Tomado de: <http://asq.org/learn-about-quality/cause-analysis-tools/overview/pareto.html>. Acceso en: 20 Enero 2013.
- ECKES, George.
2006. "El Six Sigma para todos". Colombia: Editorial Norma.
- ESCALANTE VÁZQUEZ, Edgardo J.
2003. "Seis-Sigma: Metodología y Técnicas". 1ra. Edición.
Ciudad: Limusa-México.
- EVANS, James R.
LINDSAY, William M.
2006. "Administración y Control de la Calidad". 7ma edición.
México D.F.: Cengage Learning.
- EVALUACIÓN DE FUENTES DE VARIACIÓN (2010). Disponible en:
www.calidad.ugto.mx
- FIERROS LINO S.A. (2008). Disponible en:
<http://www.fierroslino.com/pintura.html>. Acceso en: 15 de Septiembre de 2011.
- GOETSCH, David. DAVIS, Stanley.
2006. "Quality Management". 5ta Edición. Prentice Hall, NJ.
Cloth, 832pp.
- GITLOW, Howard S.
2005. "Six-sigma for green belts and champions: foundations,
DMAIC, tools, cases, and certification". Upper Saddle
River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- GONZALES, Carlos.
2007. "La Calidad se hace, no se controla". CD-ROM. ISBN:
978-84-936255-2-8 Depósito Legal: J-58-2008.
Editorial Planeta.

- GRÁFICO DE CONTROL. <http://www.iesdonbosco.com/>. Consulta: 25 de julio de 2013.

- INTER-REGIONAL COOPERATION FOR NEW PRODUCT DEVELOPMENT (NPD-NET).
<http://npd-net.urenio.org/index.php?lang=&pgid=1>. Consulta: 18 de Mayo de 2012.

- JOHNSON, Perry L.
1997. *“ISO 14000: The Business Manager’s Complete Guide to Environmental Management”*. 1ra Edición. Editorial Wiley. 245pp.

- KRAJEWSKI, Lee.
RITZMAN, Larry.
2006. *“Administración de operaciones”*. 8va Edición. México D.F.: Prentice-Hall.

- LEVINE, David.
KREHBIEL, Tomothy.
BERENSON, Mark.
2008. *“Estadística para la Administración”*. 4ta Edición. México D.F. Prentice hall.

- MALDONADO, José Ángel.
2011. *“Gestión de Procesos”*. Diagrama de Ishikawa. Universidad de Málaga.
Enlace: http://www.eumed.net/libros-gratis/2011e/1084/causa_efecto.html

- MICRÓMETRO DE CAPAS PT-200: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS. Visto en: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-espesores/micrometro-pt-200.htm>. Acceso: Julio 2012.

- MINTZBERG, Henry.
2004, 2005. *“Managers, not MBAs”*. 1ra Edición. San Francisco: “ReadHowYouWant” Edition. 400pp.

- MONTGOMERY, Douglas.
2004. *“Diseño y análisis de experimentos”*. 2da Edición.
México: Limusa Wiley.
- MONTGOMERY, Douglas.
RUNGER, George.
2009. *“Probabilidad y Estadística Aplicado a la Ingeniería”*.
3ra. Edición, Ciudad: Mexico DF.
- KERRI, Simon (2012). Diagrama de SIPOC. Disponible en:
<http://www.isixsigma.com/library/content/c010429a.asp>.
- NORMA OHSAS 18001 (2007). Análisis Modal de Fallos y Efectos. Disponible
en: <http://norma-ohsas18001.blogspot.com/2012/12/el-metodo-amfe.html>
- PASCUAL CALDERÓN. EMILSEN, *Mejora De Procesos En Una Imprenta Que
Realiza Trabajos De Impresión Offset Empleando Six Sigma*. Tesis para optar
el Título de Ingeniero Industrial. Lima, Marzo de 2009.
- PINTURA ELECTROSTÁTICA. Propiedades, usos y ventajas. Enlace:
<http://www.deutschlandpc.com.mx/>
- PISTOLA DE PULVERIZACIÓN ELECTROSTÁTICA: ESPECIFICACIONES
TÉCNICAS. Visto en: [http://guiamexico.com.mx/empresas/powder-coating-
mexico-equipos-de-aplicacion-de-pintura-electrostatica.html](http://guiamexico.com.mx/empresas/powder-coating-mexico-equipos-de-aplicacion-de-pintura-electrostatica.html). Acceso: Julio
2012.
- PORTER, Michael.
1989. *“Competitive Advantage”*. 1ra Edición. New York.
Editorial *“The Free Press”*
- PROCESS QUALITY ASSOCIATES INC. “The Evolution of Six-Sigma”.
Enlace: <http://www.pqa.net/ProdServices/sixsigma/W06002009.html>

- REVOLUCIONES INDUSTRIALES (2010). Disponible en:
<http://www.revolucionesindustriales.com/industrias-caseras/soldaduras/>.
Acceso en: 24 de Septiembre de 2011.
- TENNANT, Geoff.
2001. *“Six Sigma: SPC and TQM in Manufacturing and Services”*. Editorial Gower House. 3ra Edición, GU11 3HR, England. Pág.25.
- VELASCO, Juan.
2008. *“Gestión de la calidad”*. Madrid: Pirámide.
- WILKINSON, Leland
2006 *Revising the Pareto Chart. “The American Statistician”*.
Volúmen 60. Nro.4 Pág. 332-334.

Otra información colocada pertenece a datos obtenidos por la empresa en la que se aplicará la mejora y entrevistas con encargados de las áreas de bazar de los diferentes supermercados de Lima.