

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY  
DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**Reducción de costos por variación en uso de materiales utilizando la metodología DMAIC en procesos de moldeo de piezas de plomo.**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD**

**POR:**

**BERNARDINO GARCIA ESPINOSA**

**MONTERREY, N.L.**

**DICIEMBRE DE 2007**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY**

**CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**

Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por el Ing. Bernardino García Espinosa sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias en Sistemas de Calidad y Productividad**

**Especialidad en Sistemas de Productividad y Optimización**

Comité de Tesis:

---

Dr. Jesús Salvador Arreola Risa  
Asesor

---

Dr. José Guadalupe Ríos Alejandro  
Sinodal

---

Dr. Salvador García Lumbreras  
Sinodal

Aprobado:

---

Dr. Francisco Ángel Bello  
Director del Programa de Graduados en Ingeniería  
Diciembre, 2007

Agradeciendo a Dios por la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado se dedica este trabajo a mi hijo Bernardino y mi esposa Marcela, mi inspiración y motivación. Agradeciendo el eterno apoyo y ejemplo de mis padres Bernardino y Elia y el cariño de mis hermanos Juan Ángel y Brenda.

Gracias a mis profesores y compañeros de trabajo que me han ayudado a elaborar la presente investigación.

## Capitulo I: Introducción

- 1.1 Antecedentes
- 1.2 Planteamiento General del Problema
- 1.3 Objetivo de la Investigación.
- 1.4 Preguntas de investigación
- 1.5 Hipótesis
- 1.6 Justificación
- 1.7 Método de investigación
- 1.8 Alcance
- 1.9 Resultados esperados
- 1.10 Conclusiones.

## Capitulo II: Marco Teórico

- 2.1 Tipos de costos
- 2.2 Variación en uso de materiales
- 2.3 Costo de Pobre Calidad
- 2.4 Estrategias de Mejora Continua
- 2.5 Estrategia de mejora significativa Seis Sigma
- 2.6 Métrica Seis Sigma
- 2.7 Capacidad de Procesos
- 2.8 Pruebas de Hipótesis
- 2.9 Partes de un acumulador y proceso de moldeo de rejillas de plomo

## Capitulo III: Etapa de Definición

- 3.1 Seleccionar Característica Crítica para la calidad
- 3.2 Identificar el Costo de la Pobre Calidad
- 3.3 Conclusiones

## Capitulo IV: Etapa de Medición

- 4.1 Definir el estándar de desempeño
- 4.2 Analizar el sistema de medición.
- 4.3 Diagnosticar la capacidad del proceso.

- 4.4 Definir los objetivos de desempeño
- 4.5 Conclusiones

#### Capitulo V: Etapa de Análisis

- 5.1 Identificar las fuentes de Variación
- 5.2 Tamizar las causas potenciales
- 5.3 Conclusiones

#### Capitulo VI: Etapa de Mejora

- 6.1 Contrarrestar causas significativas,
- 6.2 Establecer las Tolerancias de Operación.
- 6.3 Conclusiones

#### Capitulo VII: Etapa de Control

- 7.1 Establecer controles del proceso.
- 7.2 Diagnostico final del proceso
- 7.3 Determinar capacidad del proceso
- 7.4 Conclusiones.

#### Capitulo VIII: Discusión de resultados

- 8.1 Evaluación financiera de los resultados
- 8.2 Posibles replicas del proyecto

#### Capitulo IX: Conclusiones

## Capítulo I: Introducción.

Jurán notó que los trabajadores y los supervisores se comunicaban en el lenguaje de las cosas: unidades, defectos, etc. Desafortunadamente los problemas de calidad expresados en estos términos tienen poco impacto en la alta dirección de las empresas que generalmente están más enfocados en el desempeño financiero de la organización. Sin embargo si la magnitud de los problemas de calidad se expresa en términos monetarios, los ojos de la alta gerencia se enfocarán en la calidad. Los costos de la pobre calidad son aquellos asociados con las actividades para prevenir la mala calidad y los incurridos como resultado de haber ofrecido un producto o servicio de mala calidad. (Evans & Lindsay, 2005)

La información acerca del costo de la pobre calidad tiene diversas utilidades: ayuda a los administradores a evaluar la importancia relativa de los problemas de calidad y así identificar las mayores áreas de oportunidad para la reducción de costos. Puede ser útil para presupuestar los costos para actividades de control. Así mismo puede ser utilizado como una medida de desempeño para evaluar el éxito de la organización en objetivos de calidad.

La pobre calidad de los procesos tiene un alto costo. Procesos que se concibieron sin los mecanismos y medidas adecuadas para mantenerlo bajo control están condenados a trabajar bajo la zozobra de la ineficiencia, mala calidad y de los altos costos operativos.

El costo de pobre calidad siempre es pagado por alguien, puede ser el cliente, los proveedores o la organización. Quien termine pagándolo y si lo hace recurrentemente optará por buscar otras alternativas en donde invertir su dinero. Pérdida de clientes, rendimiento y utilidades es el costo de tener procesos sin control y fuera de lo que originalmente fueron especificados.

En un ambiente de alta competitividad en las industrias, en donde las principales directrices de las organizaciones están enfocadas hacia la reducción de costos,

mejora de la calidad y mejoramiento continuo, es necesario definir estrategias que aseguren lo anterior para preservar y mejorar posición y la rentabilidad del negocio.

### 1.1 Antecedentes

Grandes sumas de dinero se pierden cada año en diversas industrias porque existen productos que se fabrican, empaican y comercializan con mayor cantidad de material que el originalmente requerido por el cliente. El exceso de material suministrado que resulta de la diferencia de la cantidad especificada y la cantidad real consumida para fabricarlo se conoce como variación en uso de materiales. Esta diferencia en el contenido del producto no es pagada por el cliente lo que representa un costo enorme para organizaciones que incurren en esta falta de control.

Este problema contable se puede encontrar en industrias en donde el peso o cantidad del material es una variable del costo del producto. Industrias productivas como las cementeras, metalmecánica, automotriz, alimenticia y de bebidas entre muchas otras, pueden estar sujetas a este tipo de desperdicio.

El uso de la metodología seis sigma puede ser implementado para lograr mejoras significativas en la reducción de variación en uso de materiales.

### 1.2 Planteamiento general del problema.

Procesos de fabricación, inyección, vaciado, empaque, entre muchos otros están sujetos a posibles variaciones en la cantidad de material utilizado para su fabricación. En el caso particular de moldeado de piezas de plomo para la industria automotriz, el problema consiste en que el sobrepeso promedio de 0.4 gramos en piezas que se producen en volúmenes mayores a las 16,000,000 piezas mensuales representan cerca de 208,292 USD mensuales.

### 1.3 Objetivos de investigación.

## Objetivo general

El objetivo de la presente investigación es presentar mediante un caso de estudio la utilidad práctica del uso de las disciplinas y herramientas estadísticas y de control que ofrece seis sigma para el desarrollo exitoso de un proyecto de disminución de variación en uso de materiales.

## Objetivos específicos

Demostrar que los costos incurridos por el concepto de variación en uso de materiales aplica a diversas industrias.

Demostrar el potencial de la metodología DMAIC para reducir significativamente la variación en uso de materiales.

Ejemplificar la importancia de la utilización de metodologías estadísticas avanzadas para generar nuevos niveles de desempeño y controles que permitan ahorros en consumo de materiales.

## 1.4 Preguntas de investigación

¿Se pueden resolver problemas de variación en uso de materiales utilizando metodología seis sigma?

¿Que estrategia de mejora significativa se recomienda para realizar un proyecto exitoso de disminución de variación en uso de materiales?

¿Cuáles pudieran ser las mejores prácticas para reducir la variación en uso de materiales en procesos continuos?

## 1.5 Hipótesis

Al reducir la variación en uso de materiales se reducen los costos operativos.

Al aumentar la capacidad de proceso de variables de peso o contenido de material en un producto se reducen los costos operativos.



## 1.6 Justificación

Grandes cantidades de dinero se pierden cada día en la industria por no tener controles adecuados en procesos de fabricación, vaciado y empaque de materiales. Cada producto se debe de fabricar en o empacar en un volumen especificado, sin embargo como en cada proceso, existe el fenómeno de la variación y en ocasiones el producto se produce o empaca con una cantidad mayor a la especificada. Lo anterior ocasiona grandes costos pues el exceso de material, no lo paga el cliente y es un costo en el cual incurre la organización.

Se estima que el costo anual que representa fabricar mas de 16 millones de rejillas mensuales con un sobrepeso promedio 0.4 gramos por rejilla es de 208,292 USD.

El nivel de competitividad que existe en las industrias, no permite que las empresas derrochen recursos, de ahí la importancia de implementar acciones de mejora en procesos en donde se pueda presentar variación en uso de materiales.

El conocimiento y la experiencia adquiridos en la presente investigación se pueden replicar en otros procesos. Tales procesos en pueden ser en industrias diversas en donde el contenido de material en el producto puede ser reducido sin sacrificar el desempeño del producto fabricado. También en procesos en donde es conocido que la cantidad de material utilizado para fabricar un producto excede la cantidad requerida por el cliente.

## 1.7 Método de Investigación

El presente es un caso de estudio en donde en un principio se presentará un marco teórico de los conceptos principales de la investigación y posteriormente, se presentara el desarrollo de un proyecto exitoso con el cual se ha logrado reducir la diferencia entre la cantidad de plomo contenida en rejillas de acumuladores y la cantidad especificada. Lo anterior haciendo uso extensivo de herramientas

estadísticas para el análisis de fuentes de variación y del desempeño de los procesos presentados.

Además se presentará en el presente, una base de aplicación de Seis Sigma y la metodología DMAIC para proyectos de reducción de variación en uso de materiales.

### 1.8 Alcance

Los conceptos presentados en el marco teórico tienen un amplio alcance pues pueden ser aplicados en diversas industrias en donde se busquen mejoras significativas mediante la implementación de proyectos de seis sigma utilizando metodología DMAIC. El concepto de variación en uso de materiales puede ser aplicado en las industrias en donde la cantidad de material consumido para la fabricación juega un papel importante en las finanzas de la organización.

Particularmente el caso de estudio se realiza en un proceso de fabricación de piezas de plomo moldeado para la industria automotriz.

### 1.9 Resultados Esperados

Con la culminación del presente trabajo de investigación se pretende tener documentado el proyecto DMAIC mediante el cual es posible establecer los controles que permiten reducir significativamente la variación y la media del peso del material del proceso de moldeo de rejillas de plomo, así como la definición de las tolerancias que permitan un control adecuado de peso de rejilla.

Así mismo al finalizar la presente investigación se espera contar con un resumen o guía de réplica para ser aplicado para reducir la variación en uso de materiales en otros procesos o industrias.

### 1.10 Conclusiones de la Introducción.

En el presente capítulo se ha presentado un escenario sobre el cual se plantea el problema, los objetivos de investigación y alcances de la presente tesis. Así mismo se han definido los resultados a los cuales se pretende llegar a la conclusión de la misma.

En el siguiente capítulo se presentarán las bases teóricas, tecnicismos y explicaciones sobre las cuales se fundamentarán los conceptos de la presente investigación.

## Capítulo II: Marco Teórico

En esta sección de la investigación se presentarán las bases sobre las cuales se detallará la tesis. Lo más importante es la explicación del concepto de Variación en Uso de Materiales y su reflejo en los costos de las organizaciones así como un detalle sobre la metodología seis sigma y sus aplicaciones.

### 2.1 Tipos de Costos

Existen Diferentes tipos de costos como se muestra a continuación:

**COSTOS REALES.-** Son costos históricos que se han incurrido en un período anterior.

**COSTOS PREDETERMINADOS.-** Es el sistema en el cual se clasifican los costos con anticipación el inicio de actividades de producción, a fin de determinarlos, clasificarlos y controlarlos. Se clasifican en:

**COSTOS ESTIMADOS.-** Los costos estimados representan la cantidad que según la empresa, costará realmente un producto o la operación de un proceso, durante cierto período.

**COSTOS ESTÁNDAR.-** Los costos estándar son costos científica y técnicamente predeterminados que sirven de base para medir la actuación real

### 2.2 Variación en uso de materiales (VUM)

La diferencia entre el costo real y el estándar, contablemente se le denomina variación. Contablemente, la variación en uso de materiales (VUM) se define como la diferencia entre la cantidad estándar de materiales que se deben de utilizar para el número de unidades producidas y la cantidad real utilizada. La VUM es un indicador de la eficiencia de un proceso de manufactura para transformar materia prima en producto terminado. (Blocher, Stout, Cockins & Chen, 2007)

Existen dos tipos de VUM, la merma y el desperdicio. La merma es todo aquel material que físicamente se separa o tira durante el proceso y el desperdicio es todo el material que se agrega de más a un producto o se pierde en el proceso y no se puede localizar después de realizado un inventario.

Un ejemplo en un proceso de fundición de piezas de plomo. La merma sería la escoria de plomo que se genera en las superficies del crisol que están expuestas al aire y se oxidan. Esta escoria se separa para su reciclaje. El desperdicio sería el material que se pierde al fabricar piezas con sobrepeso. El total del material agregado de más al producto no lo paga el cliente y se incurre en un desperdicio.

Si el fabricante utiliza realmente más materiales directos que la cantidad estándar de materiales requerida para los productos fabricados, la compañía tendrá una VUM desfavorable. Si la cantidad de materiales directos usados realmente es menor que la cantidad estándar para los productos producidos, la compañía tendrá una VUM favorable. La cantidad de una variación favorable y desfavorable se registra en la cuenta de materias primas del libro mayor general. (Los títulos de cuenta alternativos incluyen la variación de la cantidad de los materiales directos o la variación de la eficacia de los materiales directos.)

### 2.3 Costo de la Pobre calidad.

Los costos de la pobre calidad son aquellos que están asociados a cualquier actividad que no haga que los productos o proceso no salgan bien a la primera oportunidad. Los costos de pobre calidad incluyen aquellos en los cuales se incurre al inspeccionar, corregir, reprocesar, o bajar de precio productos que no cumplen con especificaciones y se detectan dentro de la organización. También los costos en los cuales se incurren cuando productos que no cumplen especificaciones salen al mercado como los costos debido a quejas de clientes, retorno de mercancía, garantías y otros posibles costos legales. (Evans & Lindsay, 2005)

Cuando un proceso no es hábil ni capaz de estar bajo control estadístico es muy posible que se incurra recurrentemente en este tipo de costos. En el caso particular de este proyecto, el costo de la mala calidad es el costo en el cual se incurre por producir rejillas con un sobrepeso de 0.4 gramos por pieza.

#### 2.4 Estrategias de Mejora Continua

Existen estrategias de mejora continua que fomentan la reducción de la variación y costos, incremento en productividad y rentabilidad, reducción de defectos, incremento en capacidad de procesos, cuya puesta en marcha esta centrada en satisfacer las necesidades de los clientes. En estos proyectos es necesario involucrar a personal a lo largo de toda la organización en todas las áreas principalmente las de servicio y productivas, e incluso proveedores para su desarrollo exitoso.

La implementación exitosa de los programas de mejora continua esta influenciada por diversos factores que afectan el desempeño final del mismo. Factores culturales, geográficos, educativos, tecnológicos, financieros y administrativos son variables para un ambiente propicio para el desarrollo de una cultura de mejora continua.

Dos de los principales factores humanos que afectan el resultado de un proyecto de mejora son el compromiso que debe de tener la Dirección para fomentar una cultura de mejora continua y seleccionar y entrenar a las personas indicadas para ejecutar los proyectos. En ambos casos las personas deben de ser agentes de cambio, capaces de tomar decisiones con el conocimiento de los hechos y con evidencia a la mano. Debe de ser personas respetadas dentro de la organización.

#### 2.5 Estrategia de mejora significativa Seis Sigma

Seis Sigma es una estrategia de negocios que ayuda a la organización a ser más eficiente y a reducir costos enfocándose en mejoras significativas en procesos, servicios y productos clave. En esta simple definición seis sigma es una iniciativa

estratégica para eliminar y prevenir desperdicio y defectos en una organización para crear un mejor valor para los clientes y los accionistas. Mediante el uso intensivo de herramientas estadísticas y bajo el liderazgo de la innovación de la alta gerencia, esta iniciativa consiste en lo siguiente: Reconocer áreas de oportunidad críticas de mejora potenciales. Definir objetivos de mejora en un proyecto. Identificar, eliminar y prevenir las causas de variación en el desempeño deseado. Realizar acciones que permitan una mejora en el desempeño. Implementar controles que aseguren una mejora sostenida. (Pande, Neuman & Cavanagh, 2000)

El termino seis sigma se basa en una medida estadística que equivale a 3.4 errores por un millón de oportunidades. La meta última de todas las organizaciones que han adoptado seis sigma debe ser alcanzar niveles de capacidad de seis sigma en aquellos proceso críticos independientemente del área funcional de los mismos.

La estructura humana de Seis-Sigma se compone de la siguiente manera:

1. Campeones: Gerentes, Directores o Líderes de área, quienes proveen dirección estratégica y recursos con respecto a los proyectos a realizar. Su liderazgo es importante para la asignación de recursos o remoción de barreras que impidan el desarrollo exitoso de proyectos seis sigma.
2. Maestros Cinta Negra: Personal seleccionado experto en uso de herramientas estadísticas avanzadas capacitado para ejercer su liderazgo para reconocer oportunidades de mejora potenciales. Los maestros cinta negra han sido Cintas Negra, ahora coordina y capacita a éstos en su desarrollo como expertos en Seis-Sigma.
3. Cintas Negra: Personal con las habilidades necesarias de liderazgo y conocimiento certificado para entender y aplicar la metodología Seis-Sigma, a la vez que motivan y dirigen equipos en el desarrollo de proyectos de mejora significativa. También se pueden encargar de capacitar a los Cintas Verde. Se recomienda que

100% de su tiempo sea enfocado a su participación como líderes de proyectos Seis-Sigma.

4. Cintas Verde: Personal entrenado en seis sigma pero enfocado a sus actividades cotidianas diferentes a Seis Sigma, dedican parte de su tiempo a integrarse con Cintas Negra para participar en proyectos. Además pueden desarrollar un proyecto a la vez utilizando la metodología para lograr mejoras en procesos de su área de trabajo.

5. Dueños de Proceso. Jefes de área responsables del proceso en donde habrá de desarrollarse el proyecto seis sigma. Como responsables del área habrán de aportar su conocimiento y liderazgo para implementar las mejoras una vez seleccionadas.

6. Equipo de trabajo. Generalmente esta integrado por los usuarios, responsables y expertos en el proceso como lo pueden ser los operadores, supervisores y personal de soporte. Su experiencia en el proceso son de mucha ayuda para encontrar las fuentes de variación e implementar los controles y mejoras.

La metodología tradicional para la implantación de un proyecto utilizando metodología seis sigma, consiste en las siguientes fases:

## DEFINIR

Durante esta fase se identifica el área de oportunidad así como los factores críticos para la calidad y se define el objetivo de mejora. Es importante la participación de la Dirección para poder identificar oportunidades de proyectos en aspectos que pueden ser críticos para el cliente o para mejorar indicadores de la organización. El compromiso con la mejora de parte de la Dirección es muy importante para delimitar claramente el alcance del proyecto, determinado que se va a hacer, quien lo va a hacer y en cuando lo va hacer.



Al enunciar el problema es necesario describirlo en términos de operación para facilitar posteriores análisis. Un buen enunciado del problema debe de identificar a los clientes y las características críticas a la calidad a cumplirse que tengan un mayor impacto en el desempeño del producto o servicio, describir el nivel actual de desempeño, la naturaleza de los errores o quejas del cliente, identificar indicadores de desempeño relevantes, compararse con las mejoras prácticas o niveles de desempeño y estimar costos o utilidades por alcanzar niveles significativamente mejores después de haber utilizado la metodología.

Algunas de las principales herramientas utilizadas durante la fase definir son las siguientes: Declaración del problema, voz del cliente, QFD, benchmark, COPQ, Plan de proyecto, Gráfica y análisis de Pareto, Definición de equipo de trabajo. Matriz de características críticas para el cliente.

## MEDIR

En esta fase se elige específicamente que es lo que se va a medir a lo largo del proyecto y se estima el desempeño actual del producto o proceso a mejorar utilizando métrica seis sigma. Una vez elegido que es lo que se va a medir, se debe de identificar cuales son las fuentes de los datos y preparar planes de muestreo para posteriormente realizar las mediciones de desempeño. Una vez obtenidas las mediciones de desempeño, durante esta fase de la metodología DMAIC, se enfoca en como el sistema de medición actual impacta en el desempeño de las características críticas para el cliente (CTQs). Para lograr lo anterior el Black Belt debe de asegurar la repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición.

Una vez validado el sistema de medición actual, durante esta fase, el equipo seis sigma debe de planear y ejecutar mediciones de desempeño a lo largo del proyecto para evaluar los requerimientos del cliente o la Dirección a lo largo del tiempo. Además se certifica o corrige el sistema de medición del mismo y se especifica un compromiso de mejora en términos de métrica seis sigma.

Antes de conocer los indicadores que se utilizan en la metodología para evaluar el desempeño de los procesos es necesario conocer las siguientes definiciones:

Unidad: Un artículo que es procesado o el producto o servicio que se entrega al cliente.

Defecto: Una falla en el cumplimiento de los requerimientos del cliente o al estándar de desempeño.

Defectivo: Una unidad que contiene un defecto.

Oportunidad de defecto: Ya que muchos de los productos o servicios tienen múltiples requerimientos, también pueden tener diversas oportunidades para tener un defecto.

Algunas métricas seis sigma típicamente usadas para evaluar el desempeño de los procesos son presentadas en el siguiente capítulo.

Principales herramientas utilizadas durante la fase de medición: Diagrama de Proceso SIPOC, Gráficas de control, Análisis del Sistema de medición, estudios de linealidad, repetibilidad, etc. Pruebas de bondad de ajuste, gráficos de control, cálculo de capacidad de proceso, cálculo de nivel sigma, estimación de defectos por millón de oportunidad. Definición de Meta estimada de mejora.

## ANALIZAR

Durante esta fase se identifican las fuentes potenciales de variación y las variables de entrada y causas que más afectan al desempeño del producto o proceso a mejorar. Durante la fase analizar, el Black Belt junto con el equipo de trabajo debe enfocarse en porque los defectos, errores o excesiva variación del proceso ocurre. Generalmente las causas de la variación se atribuyen a factores como los siguientes:

Conocimiento deficiente acerca del funcionamiento del proceso.

Inconsistencia en la manera de hacer las cosas y falta de entrenamiento.

Falta de conocimiento de las expectativas del cliente o la meta del proceso.

Falta de controles para evitar la generación de los errores o defectos.

Materia prima defectuosa utilizada en el proceso.  
Sistemas de medición ineficiente o descalibrado.

Usualmente las causas potenciales son identificadas entre todo el equipo mediante herramienta básicas de calidad como diagramas causa efecto, 5 porqués o lluvia de ideas. Posteriormente el black belt debe de llegar a conclusiones estadísticamente razonables. Las principales causas de variación identificadas como las potenciales causas raíz deben de ser sometidas a pruebas estadísticas para que con suficiente evidencia se puedan confirmar o descartar como motivo del resultado indeseable de desempeño.

Algunas de las principales herramientas utilizadas durante la fase analizar son las siguientes: Diagrama causa(s) – efecto(s), matriz causa efecto, AMEF, análisis exploratorios, diferentes pruebas de hipótesis estadísticas, lista de variables clave del proceso, lista de salidas críticas del proceso.

## MEJORAR

Durante esta fase, se identifican bajo que parámetros las fuentes de variación encontradas como significativas emiten un resultado óptimo. Lo anterior lo logra el Black Belt junto con el equipo de mejora mediante la generación de ideas y medidas para contrarrestar o eliminar los problemas identificados en la fase analizar. El equipo debe determinar las soluciones para controlar las principales variables de entrada del proceso, se cuantifica su impacto y se compara con la meta. La creatividad del equipo es muy importante ya que las soluciones pueden requerir pensar fuera del razonamiento tradicional de resolver problemas. Una vez generado las suficientes posibles maneras de resolver los problemas el equipo elige aquellas cuyo resultado sea mas promisorio y se mas factible su implementación.

Implementar las mejoras el proceso puede cambiar aspectos técnicos o de organización del mismo. Para implementar exitosamente las soluciones se deben repartir responsabilidades entre los miembros del equipo, por lo que resulta

conveniente el uso de técnicas de administración de proyectos para planear la ejecución de las mejoras. El liderazgo del Black Belt y el compromiso del dueño del proceso es muy importante para cumplir con el plan de mejora. En caso de algún retraso el Black Belt deberá notificar al Champion para que éste destine los recursos necesarios para que se cumpla a tiempo el compromiso de mejora.

Algunas de las principales herramientas utilizadas por los Black Belts para mejorar los procesos durante esta etapa son: Diseño de experimentos, pruebas de errores, diseñar tolerancias, AMEF, comprobación de hipótesis, plan de implementación de soluciones.

## CONTROLAR

Durante el desarrollo de la fase controlar, el Black Belt junto con el equipo de trabajo deberá controlar las fuentes de variación, documentar y se estandarizar las prácticas, implementar controles para asegurar el resultado a largo plazo de la mejora. El hecho de sostener la mejora implica colocar las herramientas necesarias para que las variables clave permanezcan dentro de rangos en los cuales su influencia en el desempeño del proceso no emita resultados indeseables. Los controles pueden incluir el establecimiento de nuevo estándares y procedimientos de trabajo, entrenamiento, uso de gráficos de control y precontrol, nuevas tolerancias de operación, listas de verificación, así como la implementación de artefactos que aseguren que el desempeño del proceso no caerá con el tiempo.

Al término de la fase controlar el Black Belt debe de evaluar el desempeño final del proceso. Una vez implementadas las mejoras y controles al proceso, el desempeño final se compara contra el desempeño inicial para evidenciar la mejora en el proceso. Se recomienda publicar los resultados y felicitar a los miembros del equipo comprometiéndolos a sostener la mejora y a usar los controles.

Al término de la etapa controlar, el Black Belt documenta su proyecto y las lecciones aprendidas del mismo, para posteriores réplicas en procesos similares de la misma organización.

Los Black Belts típicamente recurren a las siguientes herramientas durante la fase controlar: Plan de control, gráficos de control y precontrol, ayudas visuales, procedimientos e instructivos de trabajo estandarizado, difusiones y minutas, Poka-yokes, mantenimiento productivo, calculo de capacidad de proceso, nivel sigma y DPMO.

Seis sigma integra el enfoque en los requerimientos de los clientes con el uso intensivo de herramientas estadísticas y metodologías de calidad y administración para el desarrollo exitoso de proyectos de mejora significativa. El éxito de Seis Sigma se basa en que plantea los beneficios de su implementación en términos monetarios e integra muchas herramientas de calidad así como técnicas estadísticas, de liderazgo y de administración de proyectos que han sido probadas y validadas a través de los años. El desarrollo de proyectos emprendidos por la estructura humana del modelo de seis sigma permite a la organización emprender diversos proyectos simultáneamente.

## 2.6 Métrica Seis Sigma

Durante el transcurso de la metodología, resulta conveniente utilizar diversos indicadores de desempeño que permiten conocer como ha evolucionado un proyecto.

Estos indicadores básicos son los siguientes:

DPMO:	Defectos por millón de oportunidades.
PPM:	Partes por millón

Desviación estándar: Medida de dispersión de una muestra o población que representa el promedio de las diferencias de los elementos de una muestra contra la media de la muestra.

Nivel Sigma: Nivel de desempeño de un proceso en función del número de desviaciones estándar que este tiene dentro de los límites de especificación del mismo.

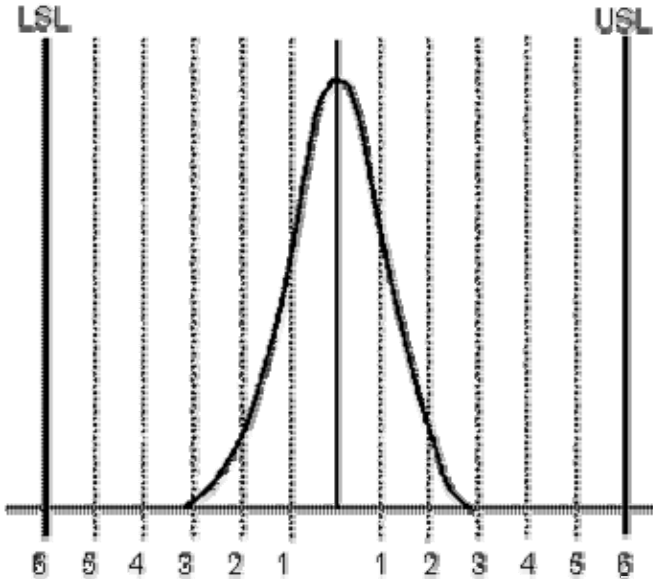


Figura 1. Proceso seis sigma.

DPMO (Defectos por millón de Oportunidades)

$$DPMO = DPO \times 1,000,000$$

$$DPO = \frac{\text{Cantidad de defectos}}{\# \text{ de unidades} \times \# \text{ de oportunidades}}$$

La tabla 1 muestra el nivel sigma que corresponde a diferentes PPM o DPMO.

Nivel Sigma	PPM/ DPMO
6	3.4
5	233
4	6,210
3	66,807
2	308,538

Tabla 1. Nivel sigma vs. PPM

## 2.7 Capacidad de Proceso

La capacidad de un proceso consiste en la habilidad que tiene una secuencia de actividades productivas para cumplir con las especificaciones de un producto. (Taylor, 2005).

La manera de calcular la capacidad de un proceso es la siguiente:

$$\text{Capacidad de proceso (Cp)} = \frac{LSE - LIE}{LSC - LIC}$$

$$\text{Limite Superior de Control (LSC)} = \bar{X} + 3s / \sqrt{n}$$

$$\text{Limite Inferior de Control (LIC)} = \bar{X} - 3s / \sqrt{n}$$

*LSE = Límite superior de especificación*

*LIE = Límite inferior de especificación*

*$\bar{X}$  = media muestral*

*s = desviación estándar muestral*

Los índices de capacidad de proceso miden que tan bien embonan los requerimientos de un producto con las capacidades de su proceso productivo. Conforme aumenta el valor Cp, mejor es la habilidad de un proceso para fabricar dicho producto. Los índices de capacidad de procesos indican la manufacturabilidad de un producto utilizando cierto proceso productivo. Su utilidad es importante para identificar oportunidades de mejora. (Montgomery, 1997)

El numerador de la fórmula es la diferencia entre los límites de la tolerancia del diseño del producto, por lo que cambiarlos esta fuera del alcance del proceso operativo ya que representan las necesidades del cliente o el diseño. El denominador corresponde a los límites de control del proceso y como su calculo lo indica, tanto la media como la desviación estándar están en manos del proceso por lo que es posible controlarlos. Nótese que la desviación estándar representa todas las fuentes de variación del proceso, natural, del sistema de medición y cualquier otra variable que pudiese alterar los límites de control. La figura 2 muestra de manera gráfica, como se comporta un proceso dentro de los límites de especificación.

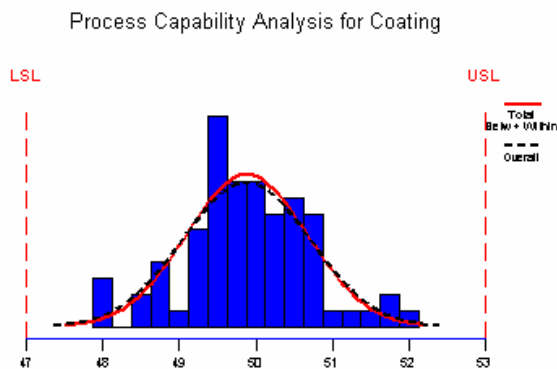


Figura 2. Proceso dentro de límites de especificación.

© All Rights Reserved. 2000 Minitab, Inc.

Para que un proceso tenga la habilidad de cumplir con las especificaciones de diseño, no solo es necesario que esté bajo control estadístico, también es indispensable que el producto que se procesa, esté dentro de las tolerancias de diseño.

## 2.8 Pruebas de Hipótesis

Una hipótesis estadística es una afirmación que acerca de una característica de una o más poblaciones. Al realizar pruebas de hipótesis, existen dos hipótesis que se contradicen y el resultado de la prueba es aceptar o no aceptar alguna de ellas.



La hipótesis nula denotada como  $H_0$  es una afirmación de una característica de una o más poblaciones que inicialmente se asume como verdadera. La hipótesis alterna denotada como  $H_a$ , es la aseveración contraria a  $H_0$ .

La hipótesis nula puede ser rechazada a favor de la hipótesis alterna solo en el caso de que exista suficiente evidencia estadística para afirmar que  $H_0$  es falso. En caso de que no exista suficiente evidencia estadística la hipótesis nula permanece como aseveración verdadera. (Devore, 2000)

### 2.9 Partes de un acumulador y proceso de moldeo de rejillas de plomo.

Un acumulador automotriz suministra energía para encender el sistema de ignición de un automóvil. También suministra la energía necesaria cuando el requerimiento eléctrico del vehículo excede la capacidad del alternador. Las partes de un acumulador se muestran en la tabla 2:

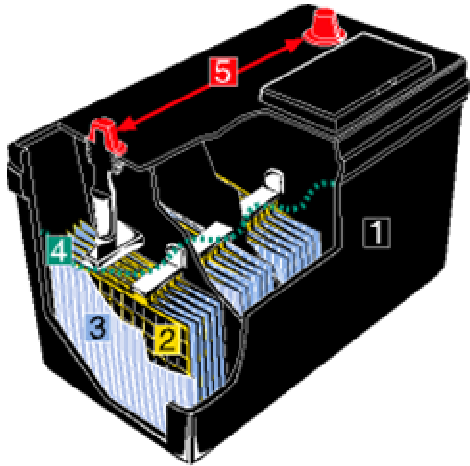
1. Contenedor Plástico	 <p>www.bci.org</p>
2. Placas positivas y negativas hechas de plomo. Nota, las rejillas es el esqueleto de estas placas.	
3. Separadores fabricados de materiales sintéticos porosos.	
4. Electrolito. Solución de ácido sulfúrico y agua mejor conocido como ácido de batería.	
5. Terminales. El punto de conexión entre la batería y el vehículo.	

Tabla 2. Componentes de un acumulador.

Una rejilla de un acumulador consiste en un bastidor mallado de plomo cuya función es de retener el material activo de las placas. También sirven para conducir la electricidad de las placas a las terminales de batería. Existen rejillas para placa positiva y rejillas para placa negativa, en el caso de este caso de estudio, el proyecto se ha realizado en rejillas para placa positiva. La figura 3 muestra una rejilla positiva empastada dentro de su separador.

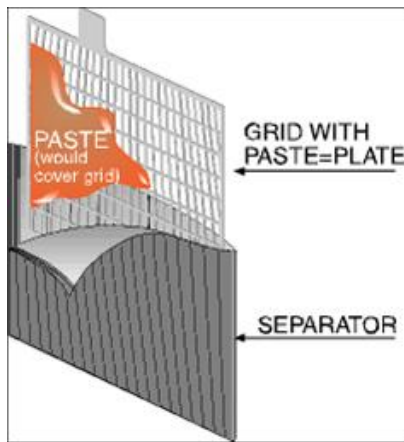


Figura 3. Placa y rejilla positiva. [www.bci.org](http://www.bci.org)

El proceso de moldeo de rejillas positivas es de los más básicos para la fabricación de acumuladores automotrices. Existen diferentes procesos para fabricar rejillas, en el caso particular de esta investigación se considera el moldeo de rejillas por gravedad. En este proceso, el plomo fundido proveniente de un crisol, se alimenta a través de tuberías a una cuchara la cual vierte el material en las cavidades de un molde. El plomo líquido antes de solidificarse, llena las cavidades del molde formando dos rejillas, una vez solidificado el plomo, se abre el molde y se expulsa la rejilla para luego ser cortada de los extremos para eliminar el marco de las venas del molde. La rejilla posteriormente se agrupa para luego ser entarimada y pasar al siguiente proceso. En la figura 4 se muestra una maquina rejilladora como las que típicamente se utilizan en la industria de acumuladores.



Figura 4. Máquina rejilladora. [www.osha.gov](http://www.osha.gov)

Una útil herramienta para conocer los procesos son los diagramas SIPOC. Por sus siglas en ingles, SIPOC significa proveedores, entradas, proceso, salidas y cliente. La siguiente figura muestra un diagrama SIPOC del proceso.

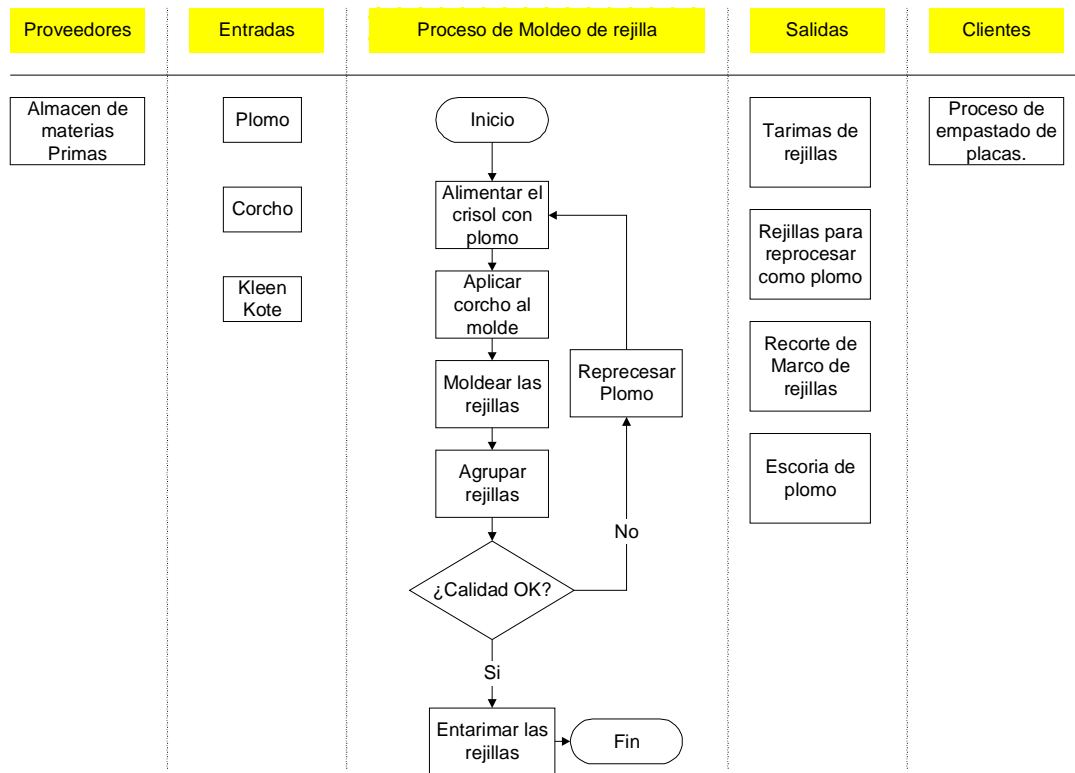


Figura 5. Diagrama SIPOC proceso de fabricación de rejilla.

En el caso particular de este caso de estudio, las fronteras del proceso aparecen en el diagrama SIPOC en la columna del proceso de moldeo de rejilla, como se muestra en la figura 5.

### Capitulo III Etapa Definición.

Por motivos de confidencialidad se omite el nombre de la organización en donde se llevó a cabo el proyecto. En esta empresa se fabrican más de 2 millones de baterías automotrices al año, se requiere de una producción mensual de rejillas del orden de 16 millones de piezas. Ante una situación de aumento en los costos del plomo, el cual se ha triplicado en los últimos 18 meses, los dirigentes de la empresa han detectado la urgencia de optimizar el uso de este recurso en sus procesos sin demeritar las capacidades eléctricas de las baterías automotrices. Dentro de los procesos seleccionados para emprender dichas mejoras se encuentra el proceso de moldeo de rejillas de plomo.

#### 3.1 Selección de las características críticas para la calidad (CTQ's).

La identificación precisa de los requerimientos reales de los clientes es un factor muy importante en la definición del problema. En la medida en que se tenga precisión en conocer lo que realmente quiere el cliente, es posible poder implementar medidas que permitan asegurar su nivel de satisfacción.

En el caso particular de este proyecto al tratarse de un proyecto estratégico de reducción de costos, el cliente es la Dirección de Operaciones y su principal inquietud es realizar la misma o más rejillas utilizando menos plomo que el que actualmente es consumido para fabricarlas.

Las características críticas para el cliente para es proceso son las que aparecen en la tabla 3:

<b>Variable</b>
Cumplir programa de producción
Que las rejillas producidas cumplan con los requisitos de calidad
Trabajar dentro de especificaciones en peso de

plomo pero debajo de la media de especificación.
Bajar el nivel de escoria de plomo al fundirlo.
Elevar la productividad en el área
Mantener nivel bajo de reproceso de rejilla
Reducir el costo unitario de producción

Tabla 3. Características críticas para el cliente del proceso de fabricación de rejillas.

Estas representan las necesidades reales del cliente, en este caso el Champion del proyecto quien tiene como principal prioridad el reducir el costo unitario de producción de rejillas y trabajar dentro de las especificaciones de peso de plomo pero dentro de los límites de especificación.

### 3.2 Identificar el Costo de Pobre Calidad

El plomo es un metal no ferroso que se utiliza en diversas industrias. El precio de este metal el mercado ha triplicado en los últimos 18 meses, como se muestra en la figura 6.



Figura 6. Precios de plomo Nov 2004, nov 2007. [www.lme.com](http://www.lme.com)

El costo del plomo en el mercado de metales, London Metal Exchange (LME) el día 21 de noviembre de 2007 fue de 2,979 USD por tonelada, como se muestra en la tabla 4.

LME Official Prices (US\$/tonne) for 21 Nov 2007		LME Official Opening Stock (in tonnes)	
	LEAD	DATE	LEAD
CASH BUYER	2,979.00	21 Nov 2007	42700
CASH SELLER & SETTLEMENT	2,980.00		
3-MONTHS BUYER	2,980.00		
3-MONTHS SELLER	2,985.00		
15-MONTHS BUYER	2,872.00		
15-MONTHS SELLER	2,877.00		
27-MONTHS BUYER	N/A		
27-MONTHS SELLER	N/A		

Tabla 4. Costo del plomo al día 21 de Nov 2007. [www.lme.com](http://www.lme.com)

La producción mundial de plomo se distribuye casi uniformemente entre América, Asia y Europa, como se muestra en la figura 7.

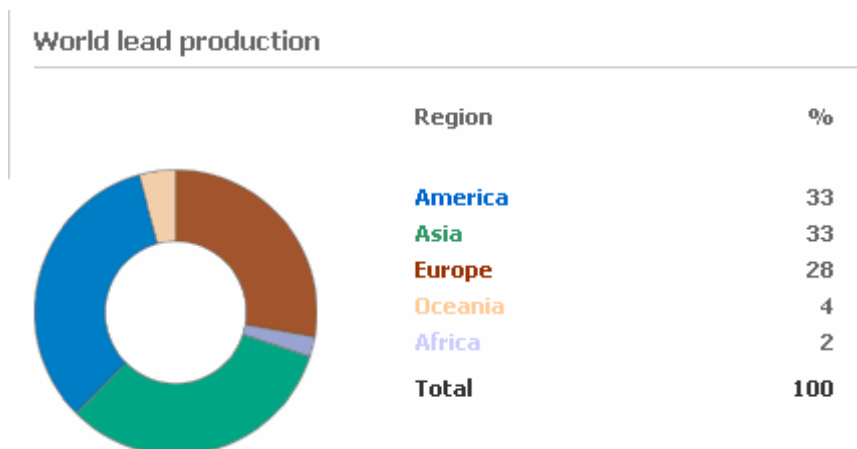


Figura 7. Producción mundial de plomo. [www.lme.com](http://www.lme.com)

Las industrias que acaparan el plomo para su consumo son la industria de baterías, entre ella la de baterías automotrices. Ver figura 8.

#### Industrial consumption

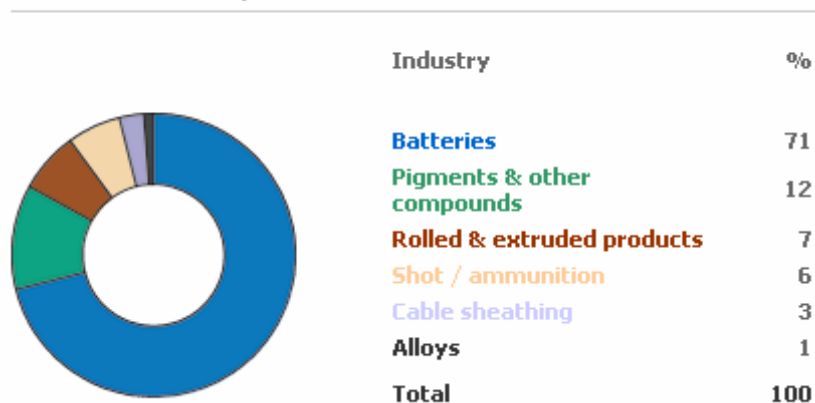


Figura 8. Consumo de plomo por industria. [www.lme.com](http://www.lme.com)

En la tabla 5, se muestra una relación del costo en el que se incurre por trabajar rejillas con sobrepeso de plomo.

Producción Promedio mensual	16,000,000.00	Piezas
Sobrepeso promedio mensual	0.0040	Kg
Costo del Plomo	2.979	USD / kg
Costo de Pobre calidad mensual	\$208,292	USD

Tabla 5. Costo de pobre calidad por producir rejillas arriba de su peso nominal.

En promedio la empresa pierde cerca de \$190,656 USD mensuales por el hecho de producir rejillas con un peso 0.004 Kg. mayor al nominal.



Los beneficios de esta investigación, por lo tanto, radican en la reducción del peso de rejilla cuya meta es de trabajar al menos 0.5 gramos por debajo de la media nominal, sin demeritar las capacidades eléctricas del acumulador.

### 3.3 Conclusiones

Durante el desarrollo del presente capítulo se ha presentado el motivo de la definición del proyecto de mejora significativa. Se han identificado las características críticas para la calidad. Así mismo se ha identificado el costo de pobre calidad que representa el trabajar con el desempeño actual en el proceso.

En el siguiente capítulo, fase medir del proyecto, se describirán las variables del proceso, su desempeño actual, estudios de capacidad y se analizará el sistema de medición del mismo.

## Capitulo IV: Etapa de Medición

Para emprender cualquier programa de mejora significativa, es muy importante conocer el desempeño actual de cada proceso. Comúnmente se dice que proceso que no se mide, no se puede mejorar. Para lograrlo es necesario identificar cual es el estándar de desempeño actual del proceso, validar el sistema de medición, diagnosticar la capacidad actual del proceso y finalmente definir los objetivos de desempeño a los cuales se puede comprometer.

El proceso detallado para moldear rejillas de plomo se muestra en la figura 9:

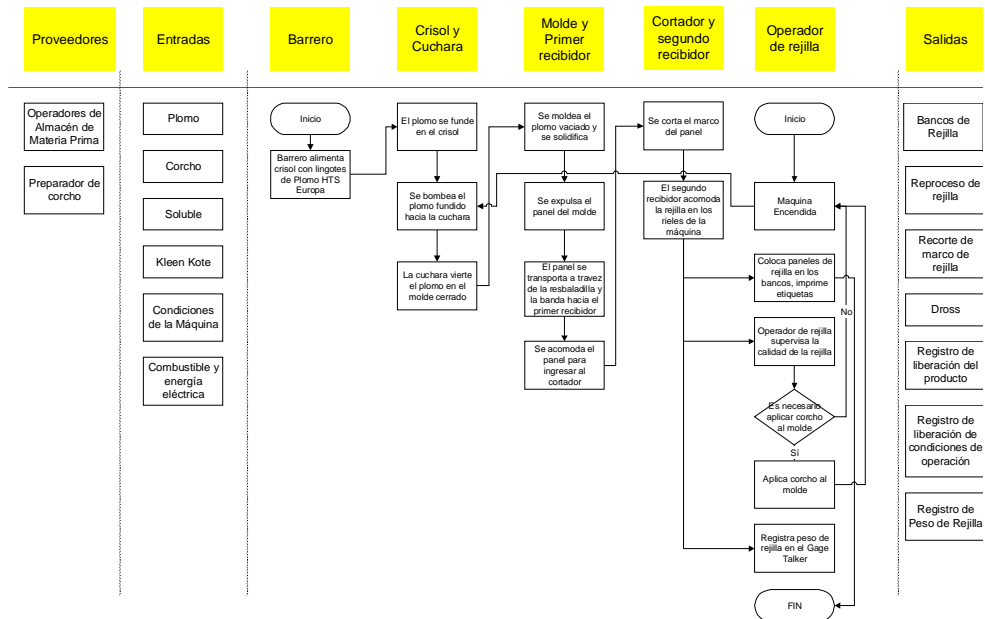


Figura 9. Diagrama SIPOC detallado proceso de fabricación de rejilla.

Los subprocesos en donde se pueden hacer modificaciones en el proceso para mejorar el desempeño del proceso en peso de rejillas comprenden las actividades acotadas entre el barrero, crisol y cuchara, molde y primer receptor, segundo receptor y cortador y operador de rejilla. Ver figura 9.

#### 4.1 Definir el estándar de desempeño

En la organización se tienen registros del peso de rejilla, los cuales se capturan con una frecuencia de 2 registros por hora por cada una de las 18 máquinas. En promedio se cuentan con más de 15,000 registros mensuales los cuales se almacenan en una base de datos para su posterior análisis. La base de datos cuenta con un software que permite llevar un control estadístico del proceso de rejillas. Se utiliza una gráfica I-MR para desplegar el comportamiento del peso de cada máquina.

En la figura 10 se muestra el desempeño al momento de la definición de este proyecto del peso de rejilla.

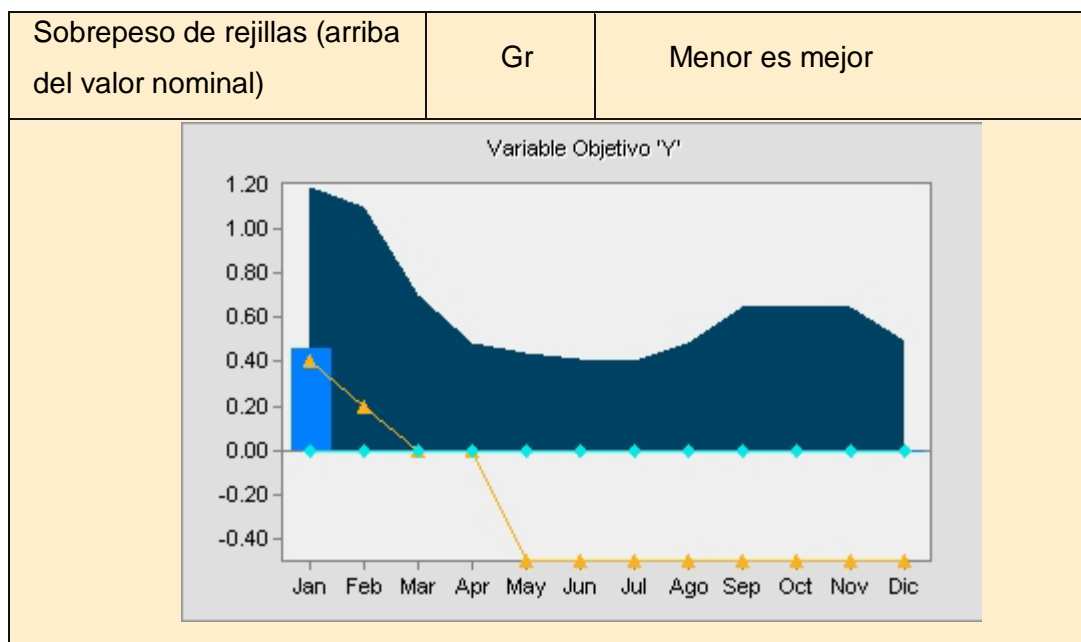


Figura 10. Sobrepeso histórico de rejillas.

Como se puede observar, la tendencia general del peso de rejilla es a la baja, sin embargo está por encima del peso nominal, por lo que históricamente se han presentado costos por encima del presupuesto asignado. El presupuesto se

realiza en base a la demanda requerida, el peso nominal y el costo del plomo. La figura muestra que el peso real se ha comportado mayor al peso nominal.

#### 4.2 Analizar el sistema de medición.

Con la intención de validar la manera en que se capturan los datos en el sistema de control estadístico, se tomo una muestra aleatoria de 15 rejillas las cuales se empacaron en unas bolsas marcadas para que luego fueran pesadas en dos ocasiones no consecutivas por dos distintos operadores. Se realizó un estudio Gage RR verificando si el sistema de medición es confiable.

Como se muestra en la figura 11 y tabla 6, la principal fuente de variación entre las mediciones es debido a la variación parte a parte.

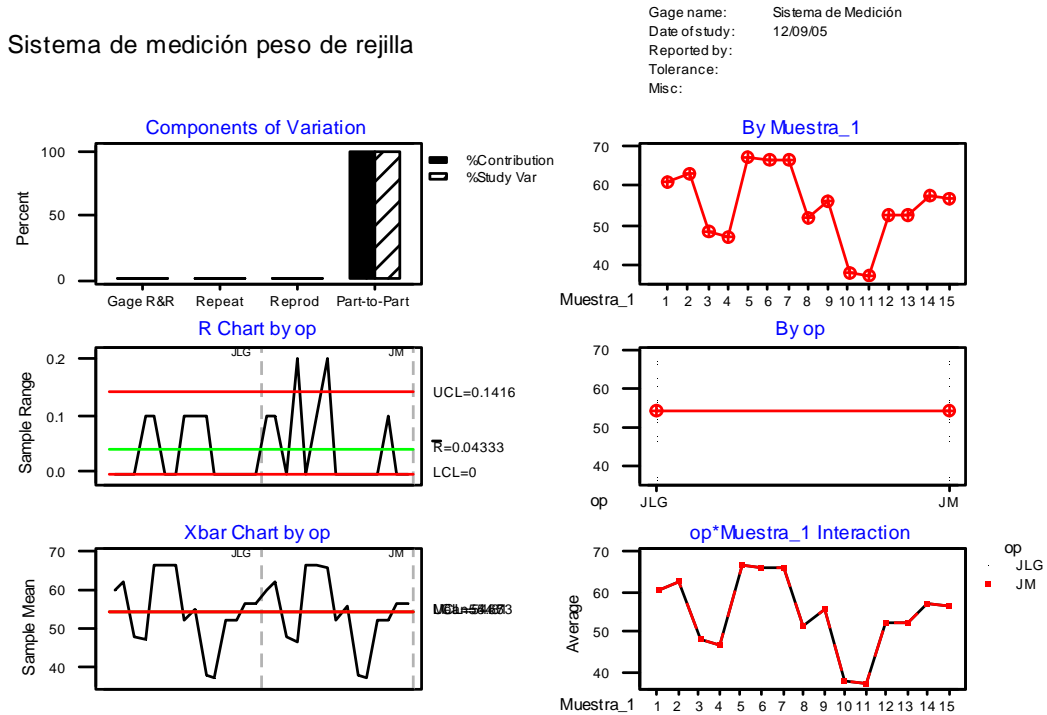


Figura 11. Gage r&r. sistema de medición peso de rejillas.

### Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)	
Total Gage R&R	0.003	0.00	
Repeatability	0.003	0.00	
Reproducibility	0.001	0.00	
op	0.001	0.00	
Part-To-Part	91.282	100.00	
Total Variation	91.285	100.00	

Source	StdDev (SD)	Study Var (5.15*SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.05890	0.3034	0.62
Repeatability	0.05380	0.2770	0.56
Reproducibility	0.02399	0.1236	0.25
op	0.02399	0.1236	0.25
Part-To-Part	9.55415	49.2039	100.00
Total Variation	9.55433	49.2048	100.00

Number of Distinct Categories = 229

Tabla 6. Gage r&r. sistema de medición peso de rejillas

Debido a que casi el 100% de la variación encontrada se puede atribuir a la variación entre piezas muestreadas, se concluye que método de medición del peso de rejillas es válido. El instrumento de medición y la capacidad de los operadores son confiables estadísticamente.

#### 4.3 Diagnóstico de la capacidad del proceso.

Para calcular la capacidad de proceso se obtuvieron datos de la historia reciente del proceso. Los datos corresponden al promedio diario de sobre peso de rejilla correspondientes a 83 días previos al análisis de los mismos por lo que se puede concluir que son datos de largo plazo y tienen en si las posibles variaciones naturales y asignables que se pueden presentar en el mismo.

Como se muestra en la figura 12, la muestra tiene un comportamiento de una función de probabilidad normal, lo cual facilita el análisis de capacidad del proceso bajo estudio. Lo anterior se puede concluir debido a que el valor del estadístico p para la prueba de normalidad de Anderson Darling es de 0.548.

## Prueba de Normalidad Peso de Rejilla

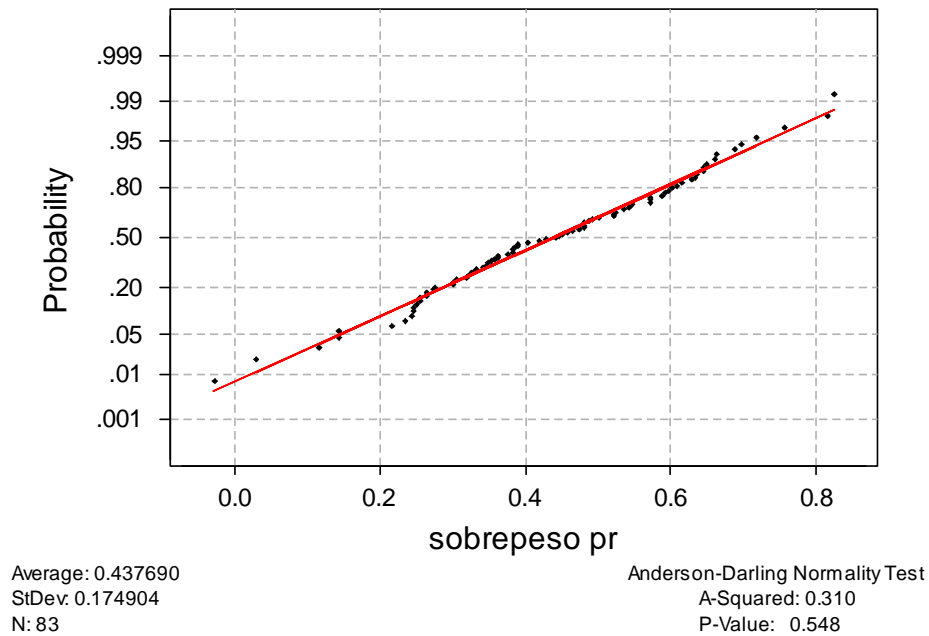


Figura 12. Prueba de normalidad peso de rejilla.

Para estimar la capacidad del proceso, se consideran como límites de especificación -4 gramos debajo de la media nominal y 0 gramos para saber que tan hábil es el proceso de trabajar dentro de especificaciones pero del lado bajo de la tolerancia. Una vez comprobada la normalidad de los datos se procede a estimar la capacidad de proceso como se muestra en la figura 13:

## Capacidad de Proceso Datos de Largo Plazo Peso de Rejilla

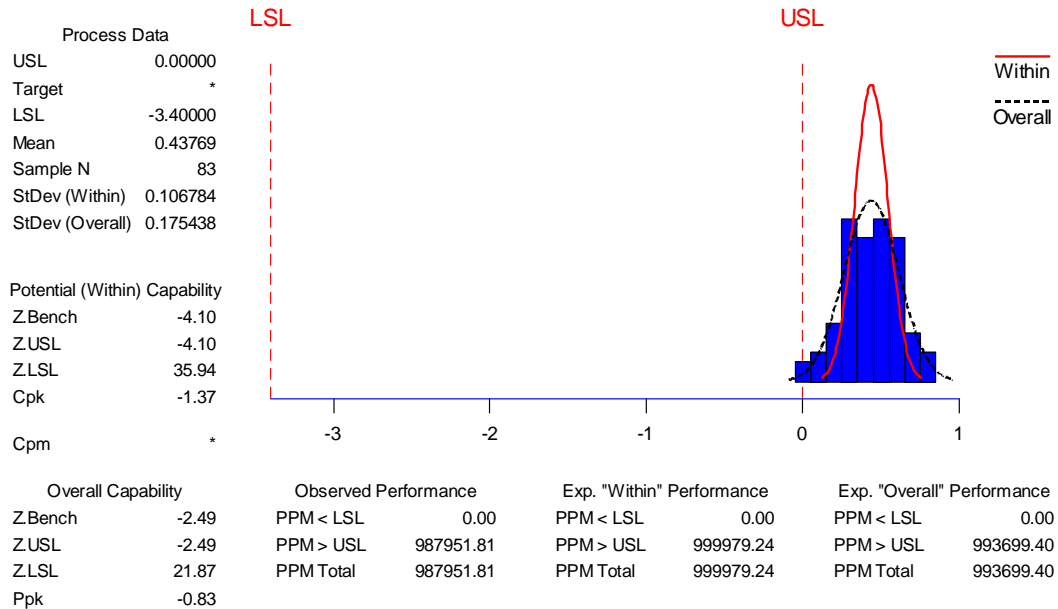


Figura 13. Capacidad de proceso inicial peso de rejilla.

### Desempeño Inicial

$$Z_{cp} = -2.49 - 1.5 = -3.99$$

$$Ppm = 993,700$$

### 4.4 Definir los objetivos de desempeño

Después de analizar los datos del desempeño actual del proceso, se procedió a definir la meta a la cual se pretende llevar el proceso. Junto con el champion y el dueño del proceso se analizaron datos de las demás plantas y se decidió llevar el promedio de sobrepeso de rejilla a 0 gramos como máximo. Es decir centrar el proceso en la media nominal. Para tener una unidad de medida común para todos los tipos de rejillas, los cuales tienen diferentes especificaciones de peso, se ha decidido trabajar con la variable sobrepeso, la cual se calcula de la siguiente manera: Ver figura 14.

$$\text{Sobrepeso} = \text{peso real} - \text{peso especificación}$$

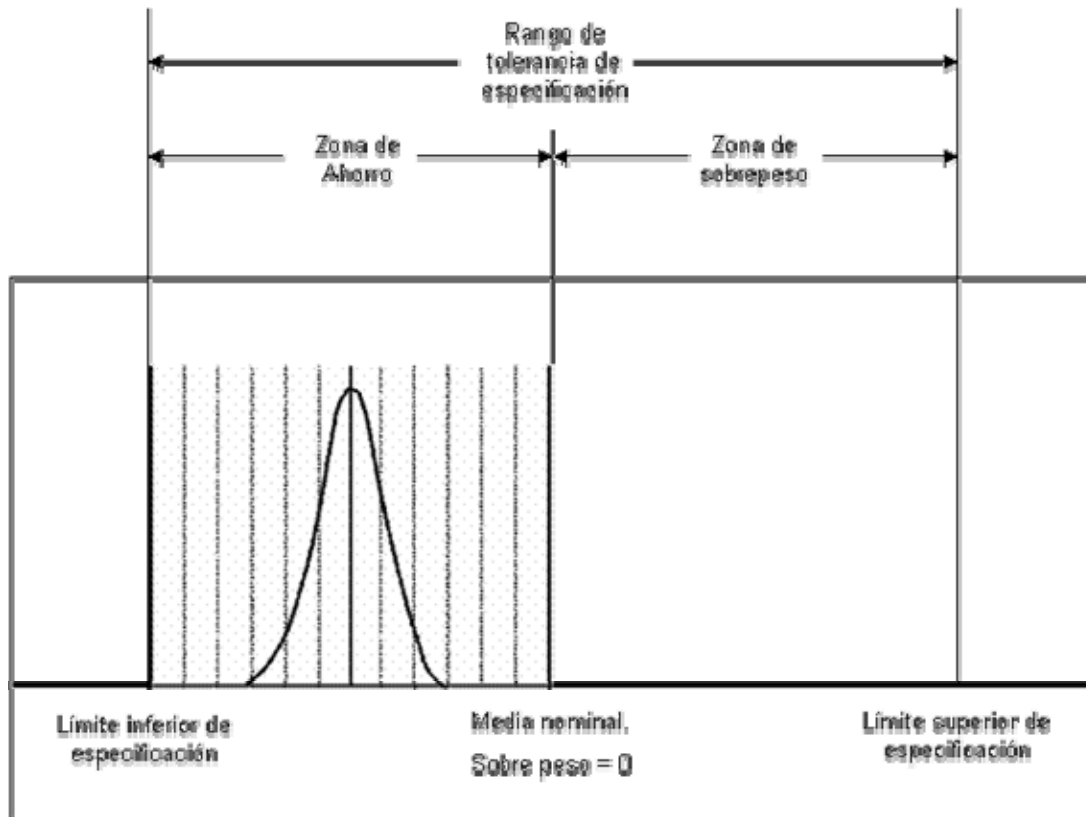


Figura 14. Zona de ahorro y de sobrepeso por variación en uso de materiales dentro de la especificación de peso.

Cabe señalar que en una rejilla con peso mas bajo que el nominal pero dentro de límites de especificación no demerita las capacidades eléctricas de las baterías.

Esta meta, se puede definir de la siguiente manera utilizando métrica seis sigma:

$$Z_{cp} = -1.5$$

$$\text{PPM} = 500,000$$

Si se mantuviera la misma variación en el proceso y se desplaza la población hacia el peso nominal, la capacidad del proceso quedaría de la siguiente manera:  
Ver figura 15.



## Capacidad de Proceso Datos de Largo Plazo Peso de Rejilla

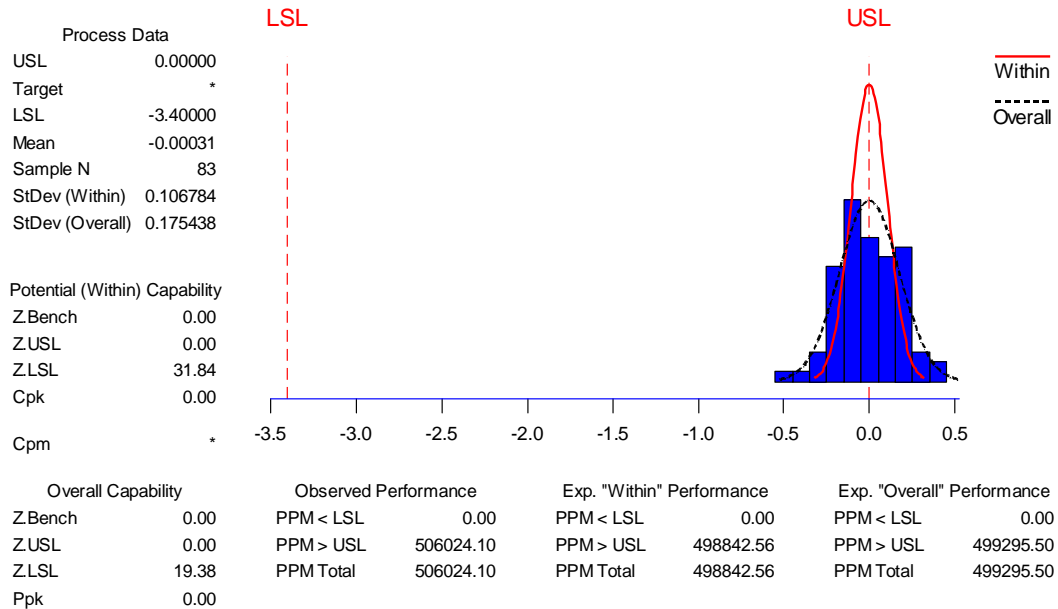


Figura 15. Capacidad de proceso objetivo de mejora.

### 4.5 Conclusiones

En esta etapa del proyecto ha sido muy importante conocer el proceso desde un punto de vista estadístico, detallar un mapa en donde es posible visualizar las actividades y pasos del mismo. También se obtuvo información de la historia del peso de rejilla y su desempeño reciente. Se validó el sistema de medición que se utiliza para capturar el peso de rejilla en la base de datos de la empresa. Utilizando esta información se diagnosticó el desempeño actual del proceso, además de esto y tomando como referencia las mejores practicas de las demás plantas en este indicador, se definió el objetivo de mejora a la cual se puede comprometer el equipo.

La importancia de esta etapa radica en verificar que el sistema de medición es correcto, puede suceder el caso en que con el hecho de corregir el sistema de medición, se logran mejoras significativas en el proyecto.

En el siguiente capítulo se presentarán las variables que ejercen mayor influencia en el desempeño de peso de rejilla. Se presentarán evidencias estadísticas para tamizar esas fuentes de variación y así posteriormente, poder controlarlas.

## Capitulo V: Etapa de Análisis

A partir de la etapa de análisis comienzan las etapas clave para un proyecto Seis Sigma. En esta fase del proyecto, se investiga el proceso a mejorar para conocer su comportamiento, que variables son las principales fuentes de variación, que causas emiten el resultado no deseado del proceso, etc. El uso intensivo de herramientas estadísticas en esta etapa permite emitir juicios acertados acerca de aquellas variables que en un principio sospechamos tienen una influencia en el proceso, ya sea para aceptar o descartar las hipótesis que tengamos de ellas.

### 5.1 Identificar las fuentes de Variación

#### Diagrama Causas - Efectos

Esta herramienta también conocida como diagrama de Ishikawa, es utilizada con la intención de explorar posibles causas con ayuda de las personas que están inmersas en el proceso. Para la realización del diagrama de Causa y Efecto, se contó con la participación de 6 operadores y el Ingeniero de proceso. Es importante contar con la experiencia de estos miembros del equipo para que las posibles mejoras a implementarse salgan de sus principales inquietudes. Ellos como expertos del proceso y principales usuarios del mismo conocen a profundidad las posibles causas del desempeño actual.

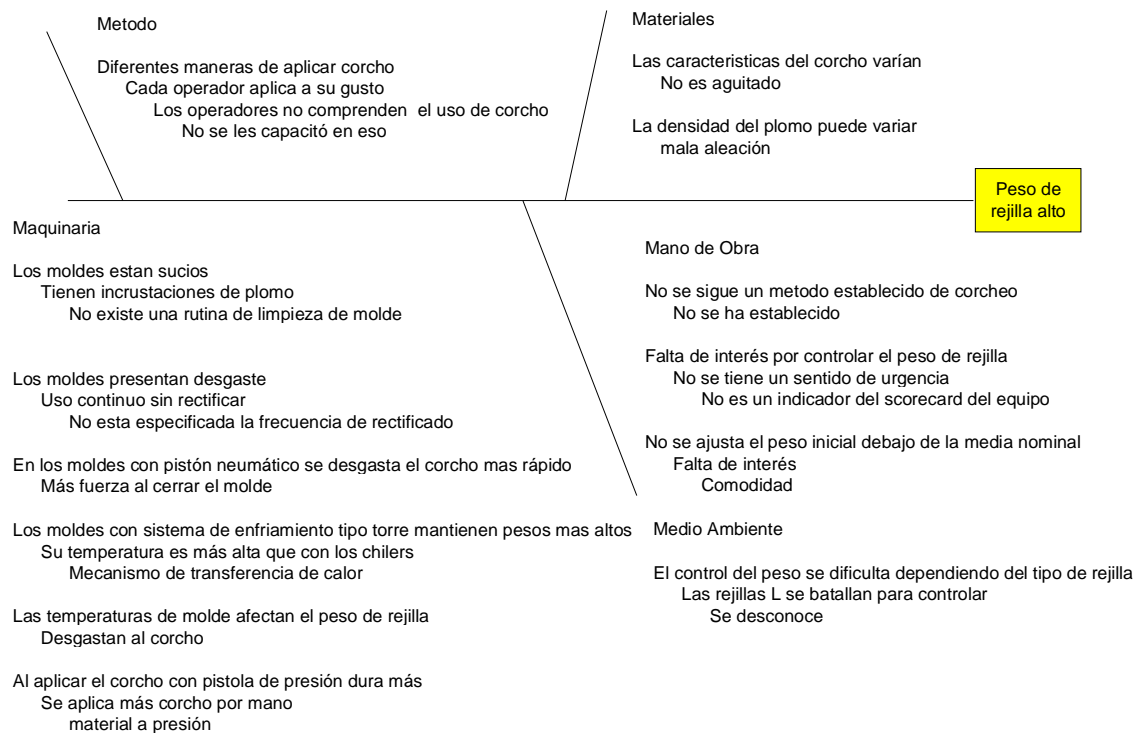


Figura 16. Diagrama de causa sobrepeso de rejilla.

En el diagrama de causas - efectos de peso alto de rejilla, mostrado en la figura 16, se menciona recurrentemente el efecto que tiene el estado del corcho y la manera de aplicarlo para lograr el peso de rejilla deseado. Así mismo se observan diferentes causas como el estado y condiciones de los moldes, la habilidad de los operadores y las temperaturas de operación de los moldes.

#### Causa # 1 Método de Corchado

El método de corchado es el conjunto de actividades y pasos que el operador realiza para aplicar una capa de corcho al molde durante la operación. El corcho tiene la función de aislar térmicamente el plomo líquido del molde, con la intención de que el primero no se solidifique al contacto con el molde sino que fluya dentro de las cavidades hasta llenarlas antes de previo a su solidificación. Según el manual de las maquinas el corcho también funciona para controlar el peso del producto. Ver figura 17.

Vistas frontales del molde al terminar cada uno de los siguientes pasos clave del procedimiento

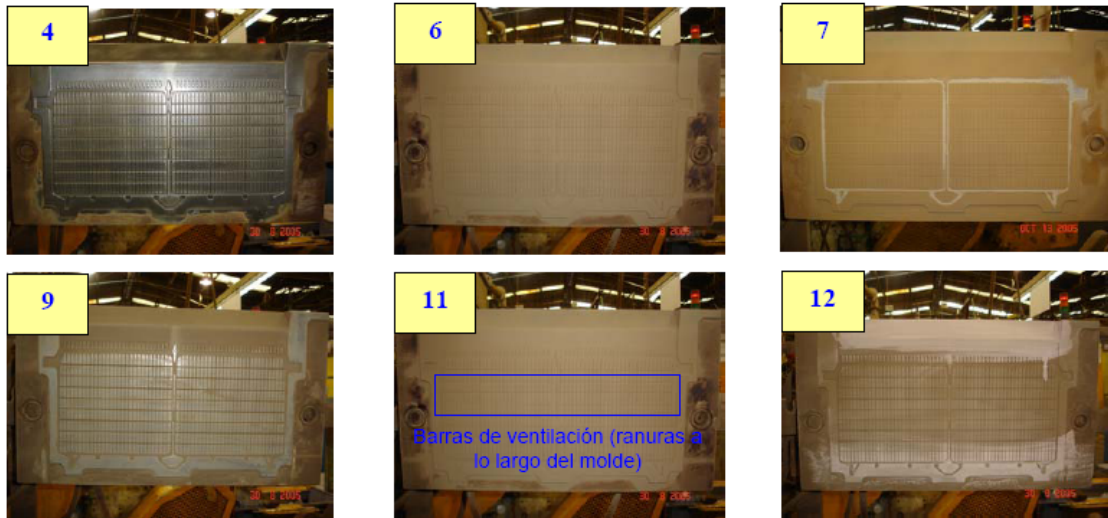


Figura 17. Molde de rejilla con corcho.

Hipótesis Nula: El peso de rejilla es el mismo aplicando 20 manos de corcho que aplicando 16 manos de corcho.

Hipótesis Alterna: El peso de rejilla es diferente mismo aplicando 20 manos de corcho que aplicando 16 manos de corcho.

Toma de datos:

Se identificó al método de corchado 1 como la aplicación de 16 manos. Después de aplicar corcho al molde se tomó el promedio del peso de las primeras 50 rejillas durante 15 corchadas iguales.

Se identificó al método de corchado 2 como la aplicación de 20 manos. Después de aplicar corcho al molde se tomó el promedio del peso de las primeras 50 rejillas durante 15 corchadas iguales.

## Two-Sample T-Test and CI: Corchado 1, Corchado 2

Two-sample T for Corchado 1 vs Corchado 2

	N	Mean	StDev	SE Mean
Corchado 1	15	92.53	1.57	0.40
Corchado 2	15	87.92	1.10	0.28

Difference =  $\mu$  (Corchado 1) -  $\mu$  (Corchado 2)

Estimate for difference: 4.60867

95% CI for difference: (3.59180, 5.62554)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 9.33 P-Value = 0.000 DF = 25

## Test for Equal Variances: Peso versus Corchado

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

Corchado	N	Lower	StDev	Upper
Corchado 1	15	1.09984	1.56708	2.65612
Corchado 2	15	0.76911	1.09585	1.85742

F-Test (normal distribution)

Test statistic = 2.04, p-value = 0.193

Levene's Test (any continuous distribution)

Test statistic = 1.99, p-value = 0.169

Tabla 7. Prueba de Hipótesis cantidad de manos de corcho.

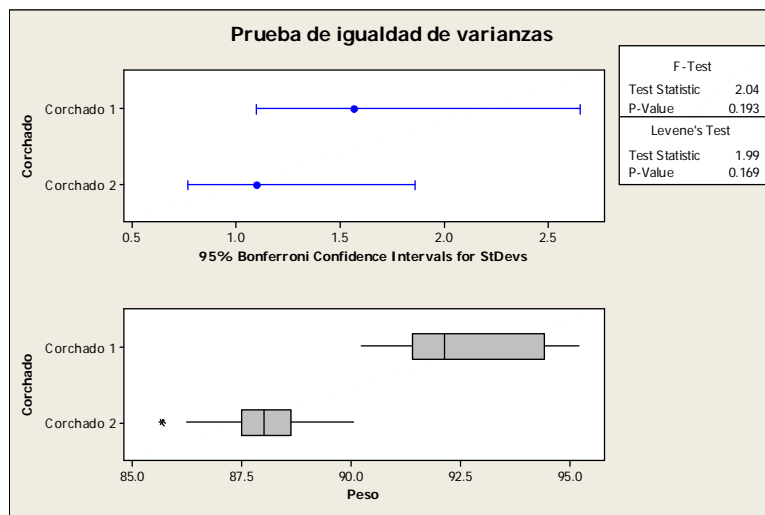


Figura 18. Prueba de igualdad de varianzas y diagrama de cajas por tipo de corchado.

Se puede afirmar que existe evidencia de que el método de corchado y el número de manos por corchada es significativo estadísticamente.

#### Causa # 2. Pistola de Corchado

Existen dos tipos de sistemas de aspersión de corcho para los moldes, la pistola y vaso de succión y la pistola y vaso de presión. Los dos tipos de artefactos que también son utilizados en la industria de la pintura y carpintería difieren en la cantidad de corcho por unidad de tiempo que se aplica. La tabla 8 muestra una fotografía y las principales diferencias entre los dos sistemas.


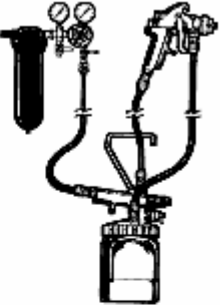
	Sistema de Succión	Sistema de Presión
<b>Figura</b>		
<b>Flujo nominal</b>	10 – 12 oz / min	30 oz / min
<b>Duración de la corchada</b>	2 horas promedio.	3 horas promedio.
<b>Posición del vaso</b>	Justo en la pistola, hay que cargar el vaso para aplicar corcho.	Vaso remoto puede ser colocado en portavasos o ser colgado, permitiendo aplicar corcho sin la necesidad de cargar el vaso.
<b>Adherencia de corcho</b>		Se percibe una mayor adherencia de corcho por ser aplicado a presión. Los operadores dicen que el corcho es más duro al quitarlo con la espátula. Esto ayuda a mantener el peso por más tiempo.
<b>Peso de rejilla</b>	La rejilla sube de peso 2 gramos por hora	La rejilla sube de peso 1 gramo por hora

Tabla 8. Comparación de sistemas de aspersión de corcho.

Hipótesis Nula: El peso de rejilla es el mismo utilizando vaso de presión y utilizando vaso de succión.

Hipótesis Alternativa: El peso de rejilla es diferente utilizando vaso de presión y utilizando vaso de succión.

Toma de Muestra: Se tomaron datos de 13 días de operación del mismo operador utilizando vaso de succión (320 datos) y 10 días usando vaso de presión (351 datos).

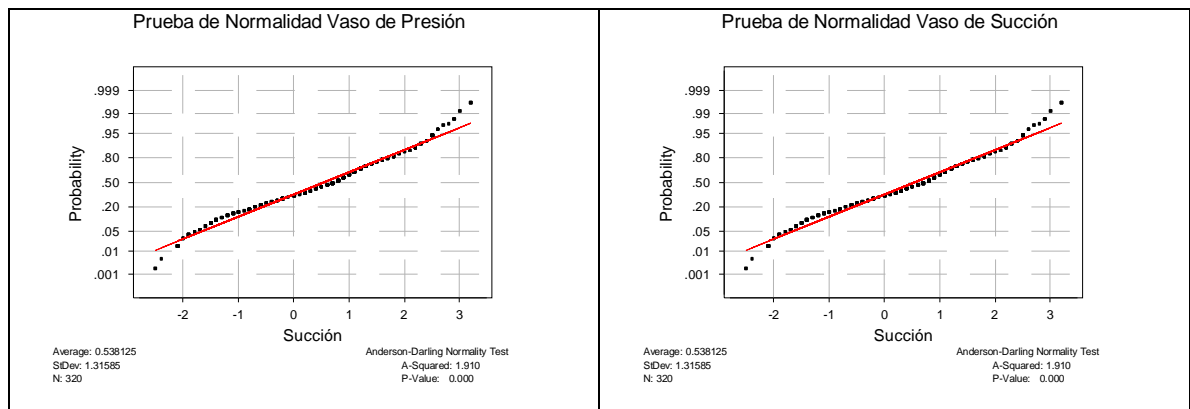


Tabla 9. Pruebas de normalidad a muestras por tipo de sistema de aspersión.

Como se observa en la tabla 9, los datos no se comportan con una distribución normal por lo que se decide comparar ambas mediante Mann – Whitney para medianas.

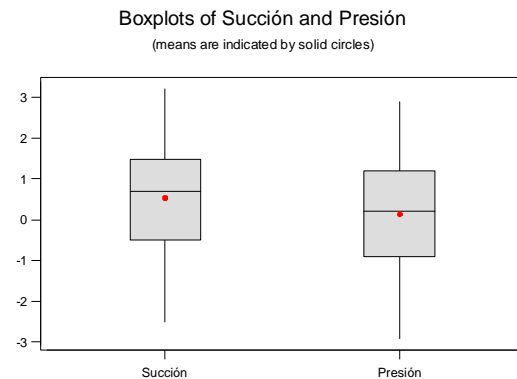


Figura 19. Diagrama de cajas de muestras por tipo de sistema de aspersión.



### **Mann-Whitney Test and CI: Succión, Presión**

Succión N = 320 Median = 0.7000  
Presión N = 351 Median = 0.2000  
Point estimate for ETA1-ETA2 is 0.4000  
95.0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (0.1999,0.6000)  
W = 116980.5  
Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0.0002  
The test is significant at 0.0002 (adjusted for ties)

Tabla 10. Prueba de Hipótesis sistemas de aspersión.

Estadísticamente se puede concluir que existe una diferencia significativa entre el peso de rejilla utilizando vaso de succión y utilizando vaso de presión.

En el caso particular de esta prueba en donde la diferencia estadística se estima con un nivel de confianza del 95% entre 0.199 y 0.60 gramos, en la práctica esta diferencia es mucha por lo que se implementa de inmediato el uso de la pistola de presión para controlar el peso de rejilla. En el capítulo VI de la presente investigación se profundiza en los beneficios de uso de la pistola de presión, específicamente en la tendencia de sobrepeso más lenta que la pistola de succión.

#### **Causa # 3. Tipo de pistón de Molde**

Actualmente hay máquinas cuyo mecanismo de apertura y cierre de molde actúan con energía neumática o energía hidráulica. Con la intención de verificar el desempeño en peso de corcho entre las dos tipos de mecanismos se realiza la siguiente prueba de hipótesis.

Hipótesis Nula: La mediana de peso de rejilla es la misma en máquinas con pistón hidráulico que con máquinas con pistón neumático.

Hipótesis Nula: la mediana de peso de rejilla es diferente en máquinas con pistón hidráulico que con máquinas con pistón neumático.

Toma de datos:

Se tomaron datos correspondientes a 40 días de operación de 3 máquinas con pistón hidráulico y se compararon con datos correspondientes a 40 días de operación de 3 máquinas de pistón neumático.

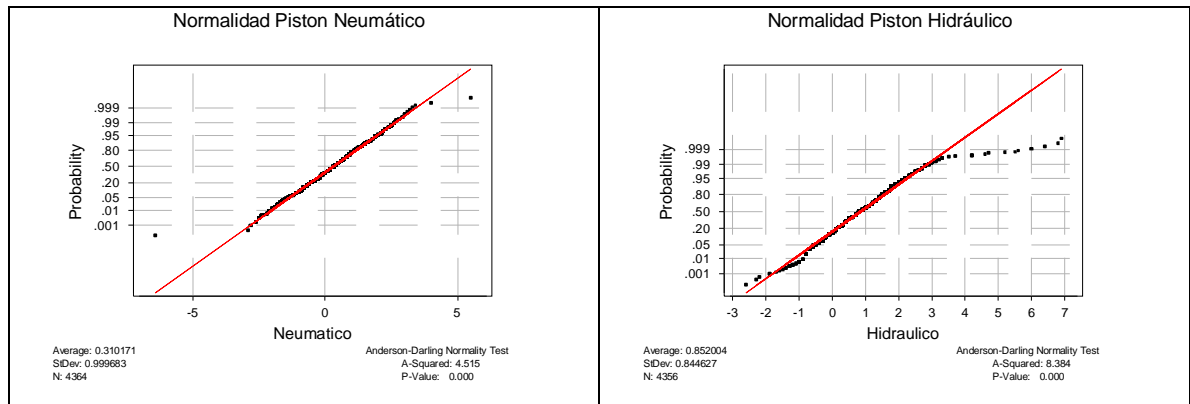


Tabla 11. Pruebas de normalidad a muestras por tipo de pistón de molda.

Debido a que las muestras de ambas poblaciones se comportan con una distribución no normal, ver tabla 11, se procede a realizar la prueba de Mann – Whitney para medianas.

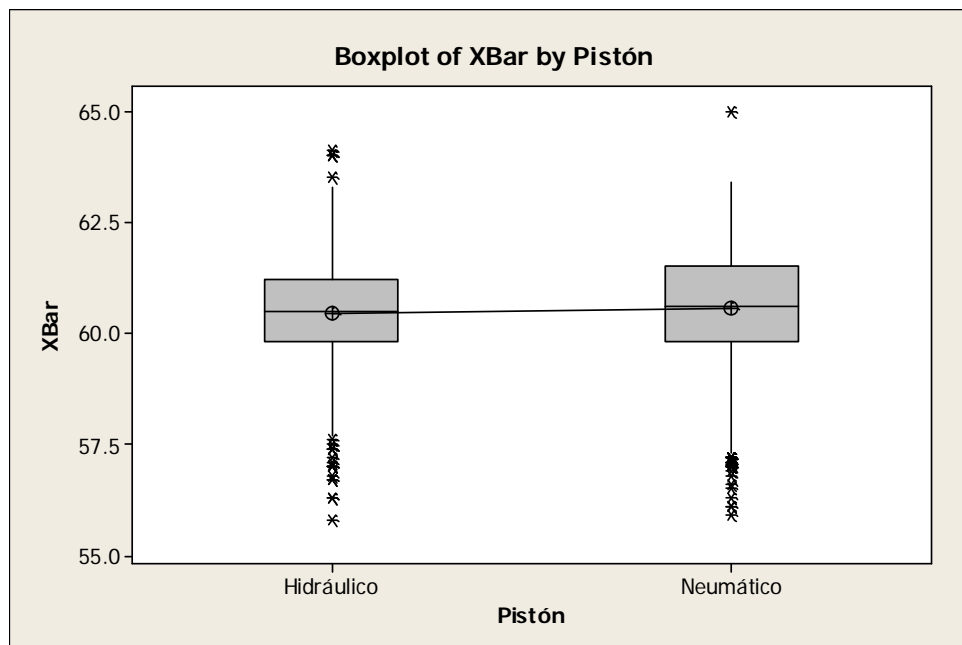


Figura 20. Diagrama de cajas de muestras por tipo de pistón de molde.

## Two-Sample T-Test and CI: XBar, Pistón

Two-sample T for XBar

Pistón	N	Mean	StDev	SE Mean
Hidráulico	4513	60.460	0.948	0.014
Neumático	4052	60.54	1.30	0.020

Difference = mu (Hidráulico) - mu (Neumático)

Estimate for difference: -0.084420

95% CI for difference: (-0.133192, -0.035648)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = -3.39 P-Value = 0.001 DF = 7326

## Mann-Whitney Test and CI: XBar\_Hidráulico, XBar\_Neumático

	N	Median
XBar_Hidráulico	4513	60.500
XBar_Neumático	4052	60.600

Point estimate for ETA1-ETA2 is -0.100

95.0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-0.200,-0.100)

W = 18736609.5

Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0.0000

The test is significant at 0.0000 (adjusted for ties)

Tabla 12. Pruebas de Hipótesis tipo de pistón de molde.

En el caso de esta prueba por tomar muestras muy grandes, superiores a 4,300, también es válido realizar la prueba de medias sin la necesidad de comprobar igualdad de varianzas.

Estadísticamente, se puede concluir que existe una diferencia significativa entre el peso de rejilla en maquinas con pistón hidráulico y maquinas con pistón neumático. Y en la práctica la diferencia que con un 95% se puede afirmar es entre 0.50 y 0.59 gramos resulta muy importante en la práctica.

## Gráfica de Efectos Principales

La grafica de efectos principales se utiliza para diagnosticar efectos y magnitudes en la media de diferentes factores. Los puntos de la gráfica son las medias de la

variable de respuesta en varios niveles de cada factor, además se grafica una línea como referencia a la media de la media muestral.

Aprovechando los datos históricos que se tienen en la base de datos de gage Talker, en la cual se puede rastrear información de operador, tipo de rejilla, molde y maquina, se realizó la gráfica de efectos principales en la media. Ver figura 21.

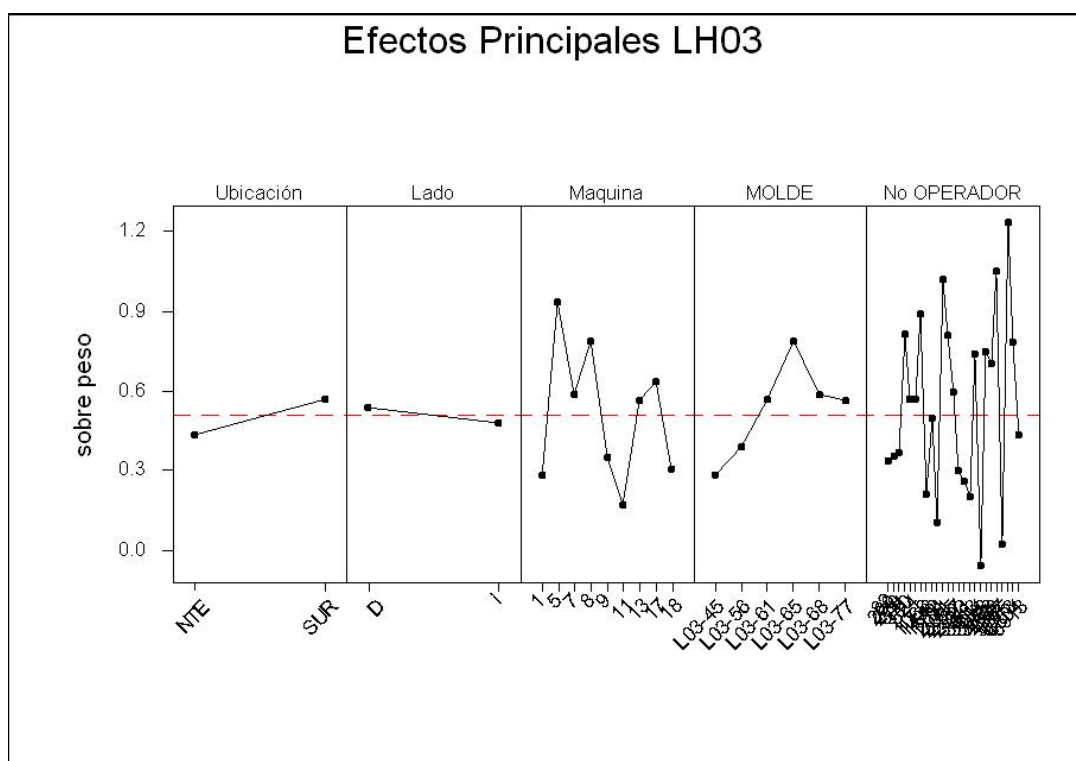


Figura 21. Gráfica de efectos en el peso de rejilla.

La gráfica de efectos principales nos revela que existe variación en el desempeño del peso de rejilla asociado al número de operador y al molde instalado para operar. La variación que se le pudiera a tribuir a la maquina, más bien es el resultado de la variación existente en el molde. A continuación se explican cada uno de los efectos de los diferentes niveles de los factores en la media de peso de rejilla.

Causa #4. Efecto Ubicación (Tipo de enfriamiento de Molde)

La ubicación de la maquina se separa en lado norte y lado sur, las maquinas del lado norte cuentan con sistema de enfriamiento tipo chiller, mientras que las maquinas del lado sur cuentan con sistema de enfriamiento tipo torre de enfriamiento. El sistema de enfriamiento chiller, tiene más habilidad para controlar la temperatura de los moldes pues se trata de un sistema de refrigeración en el cual se puede definir la temperatura a alcanzar automáticamente. El sistema de torre de enfriamiento logra bajar la temperatura mediante cascadas de agua que se encuentran en el ambiente, por lo que la temperatura del sistema depende mucho de la temperatura ambiental para su función. Gráficamente en este factor ubicación representa una oportunidad de .2 gramos entre sus dos factores.

Hipótesis Nula: El peso de rejilla en maquinas del lado norte (sistema de enfriamiento tipo chiller) es el mismo que el peso de rejillas del lado sur (sistema tipo torre de enfriamiento).

Hipótesis Alterna: El peso de rejilla en máquinas del lado norte (sistema de enfriamiento tipo chiller) es diferente al peso de rejilla en máquinas del lado sur (sistema tipo torre de enfriamiento).

Toma de datos: Se tomaron datos del mismo operador y del mismo tipo de rejilla para producción realizadas del lado norte (16 dato, 1 turno) y del lado sur (72 datos, 4 turnos).

Nivel de significancia: 0.05

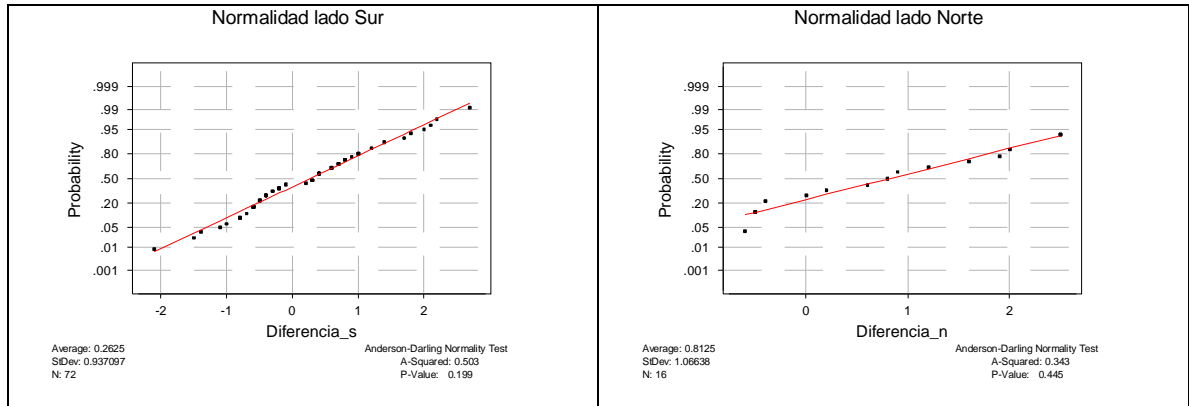


Tabla 13. Pruebas de normalidad a muestras por ubicación de la máquina.

### Two-Sample T-Test and CI: Diferencia, Ubicación

Two-sample T for Diferencia

Ubicación	N	Mean	StDev	SE Mean
norte	16	0.81	1.07	0.27
sur	72	0.263	0.937	0.11

Difference =  $\mu$  (norte) -  $\mu$  (sur)

Estimate for difference: 0.550

95% CI for difference: (-0.052, 1.152)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 1.91 P-Value = 0.071 DF = 20

### Power and Sample Size

2-Sample t Test

Testing mean 1 = mean 2 (versus not =)

Calculating power for mean 1 = mean 2 + difference

Alpha = 0.05 Sigma = 1.07

Diferencia	Sample Size	Power
0.55	16	0.2907
0.55	72	0.8650

Tabla 14. Prueba de Hipótesis ubicación de maquina rejilladora.

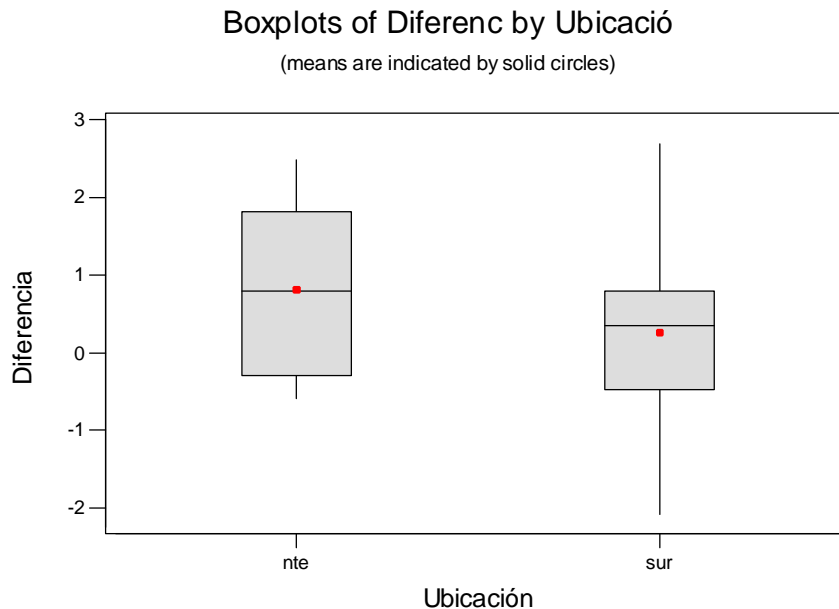


Figura 22. Diagrama de cajas de muestras por ubicación de máquina rejilladora. Estadísticamente no existe evidencia para afirmar que exista diferencia entre los pesos de rejilla de las producciones del lado sur y del lado norte.

#### Causa # 5. Efecto lado del Molde

El efecto lado del molde pareciera no tener mucha influencia en el peso de la rejilla. En sus niveles más alto y más bajo no existe gran diferencia como para concentrarnos en esta posible fuente de variación.

Hipótesis Nula: El peso de rejilla en maquinas del lado izquierdo del molde es el mismo que el peso de rejillas del lado derecho del molde.

Hipótesis Alterna: El peso de rejilla en maquinas del lado izquierdo del molde diferente al peso de rejillas del lado derecho del molde.

Toma de datos: Se tomaron 22 datos del mismo operador y del mismo molde para cada uno de los lados del molde.

Nivel de significancia: 0.05

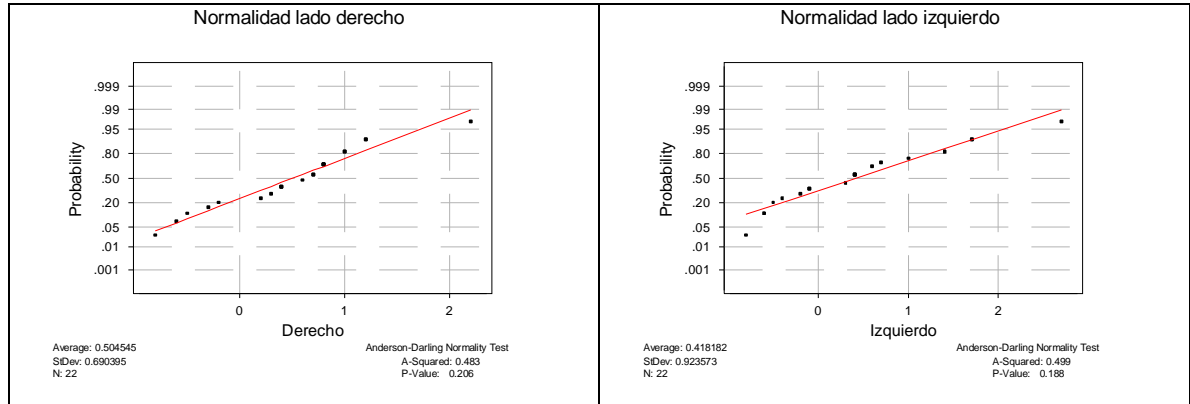


Tabla 15. Pruebas de normalidad a muestras por lado del molde.

Ambas muestras se comportan con una distribución normal, como se muestra en la tabla 15, por lo que se procede a realizar una prueba de igualdad de medias.

### Two-Sample T-Test and CI: Diferencia, Lado

Two-sample T for Diferencia

Lado	N	Mean	StDev	SE Mean
D	22	0.505	0.690	0.15
i	22	0.418	0.924	0.20

Difference =  $\mu(D) - \mu(i)$

Estimate for difference: 0.086

95% CI for difference: (-0.411, 0.584)

T-Test of difference = 0 (vs not =): T-Value = 0.35 P-Value = 0.727 DF = 38

Tabla 15. Prueba de hipótesis por lado del molde.



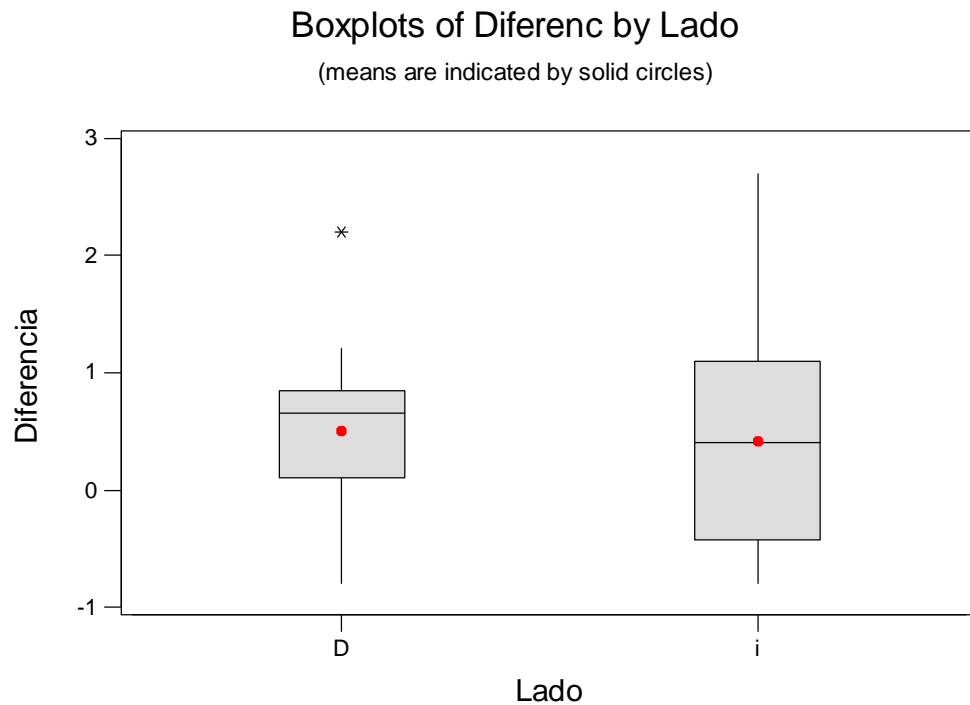


Figura 23. Diagrama de cajas de muestras por lado del molde.

Estadísticamente se puede concluir que no existe una diferencia significativa para afirmar que existe diferencia entre los pesos de rejilla de los dos lados de un mismo molde.

#### Efecto maquina

Aunque el efecto máquina pareciera ser una importante fuente de variación, esta variación es el resultado de la variación que ejercen los operadores los cuales están fijos en sus respectivas maquinas, así como los moldes los cuales pueden ejercer una influencia en las condiciones de operación debido a su estado superficial.

#### Causa #6 Efecto Operador

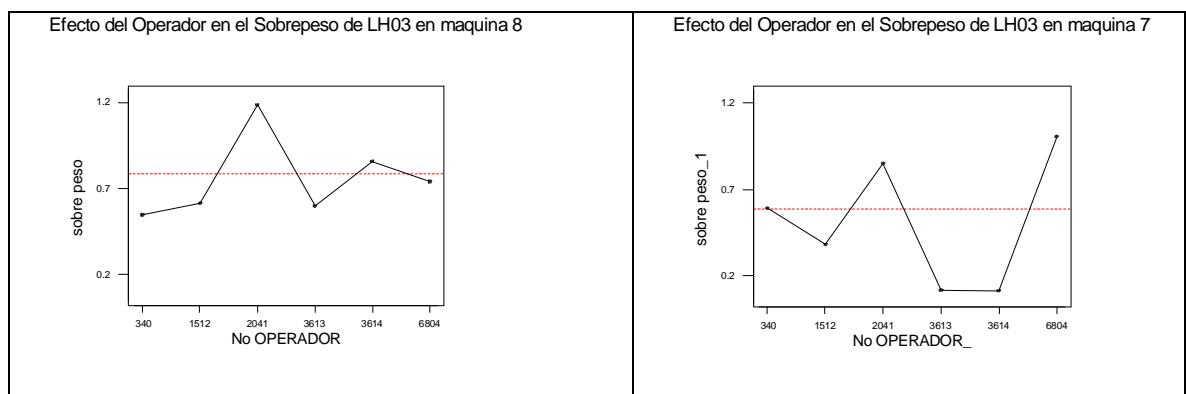
Sin duda el efecto que presenta mayor variación entre sus distintos niveles es el operador. La importante variación que se observa en esta gráfica deja en evidencia la urgencia de emprender un programa de capacitación para que los operadores comprendan la función de corchar los moldes y la importancia que esta tiene para lograr los objetivos del proyecto.

Hipótesis Nula: Las medias de peso de rejilla entre los operadores de una misma máquina y molde son iguales.

Hipótesis Alternativa: Por lo menos una de las medias de peso de rejilla entre los operadores de la misma máquina y molde son diferentes.

Nivel de significancia = 0.05

Elección de la muestra: la prueba se realizó en dos máquinas que son operadas por los mismos operadores. Posteriormente se realizó una ANOVA para verificar los operadores de cada máquina trabajan con el mismo nivel de desempeño de peso de rejilla.



Count of sobre peso			
Tipo	Maquina	No OPERADOR	
LH03	7.00	1512	
		2041	
		340	
		3613	
		3614	
	6804		
	7 Total		
	8.00	1512	
		2041	
		340	
3613			
3614			
6804			
8 Total			
LH03 Total			
Grand Total			

En las gráficas anteriores se puede observar que el operador juega un papel significativo para el desempeño del sobrepeso de rejilla.

Así mismo las condiciones generales de la máquina y del molde parecieran jugar un papel importante. Los operadores de la máquina 8, con 526 capturas, obtuvieron un promedio de 0.59 gramos sobre la media nominal. Los mismos operadores en la máquina 7 realizaron 548 capturas con un promedio de cerca 0.79 gramos arriba de la media.

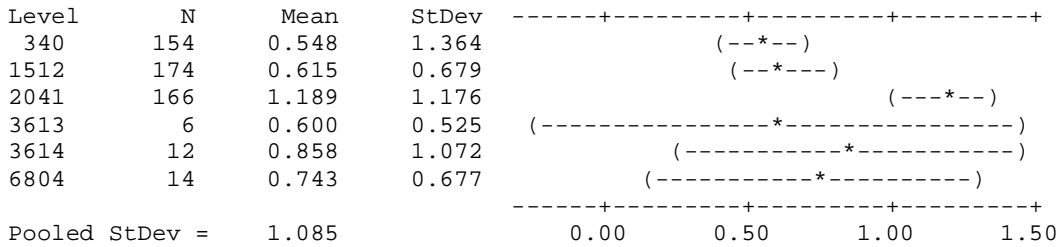
Tabla 16. Efectos de los operadores en el peso de la rejilla.

### One-way ANOVA: sobre peso versus No OPERADOR Maquina 8

Analysis of Variance for sobre peso

Source	DF	SS	MS	F	P
No OPERA	5	41.07	8.21	6.97	0.000
Error	520	612.58	1.18		
Total	525	653.65			

Individual 95% CIs For Mean  
Based on Pooled StDev



### One-way ANOVA: sobre peso\_1 versus No OPERADOR\_1 Maquina 7

Analysis of Variance for sobre peso

Source	DF	SS	MS	F	P
No OPERA	5	30.35	6.07	5.32	0.000
Error	542	618.83	1.14		
Total	547	649.18			

Individual 95% CIs For Mean  
Based on Pooled StDev

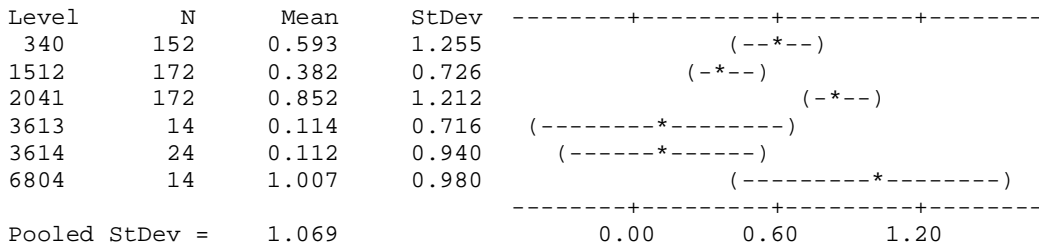


Tabla 17. Anova de peso de rejilla por operador.

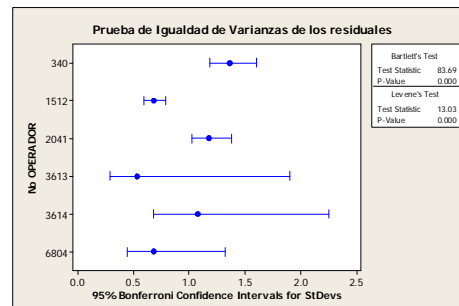
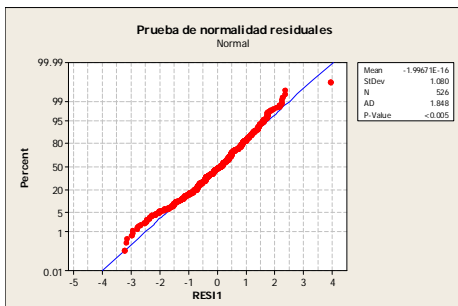


Tabla 18. Prueba de normalidad y prueba de igualdad de varianzas para el análisis de residuales.

No se puede afirmar que existe evidencia estadística de que por lo menos un operador tiene diferente desempeño en la media de sobrepeso que los demás operadores, ya que no se cumplen los supuestos de normalidad y de igualdad de varianzas de residuales por operador (ver tabla 18). Sin embargo, en la práctica se observa que tanto en la maquina 7 como en la máquina 8, los operadores tienen diferentes desempeño en el control del peso de rejilla por lo que el equipo ha decidido que el operador es un factor significativo en el desempeño de peso de la rejilla. Para confirmar esta aseveración se realiza una prueba no paramétrica de 2 medianas. Ver tabla 19.

### Kruskal-Wallis Test: sobre peso versus No OPERADOR

Kruskal-Wallis Test on sobre peso

No OPERADOR	N	Median	Ave Rank	Z
340	154	0.7000	239.0	-2.38
1512	174	0.7500	231.3	-3.42
2041	166	1.3000	322.3	6.03
3613	6	0.3500	229.3	-0.56
3614	12	0.8000	264.8	0.03
6804	14	0.5000	249.8	-0.34
Overall	526		263.5	

H = 37.14 DF = 5 P = 0.000

H = 37.19 DF = 5 P = 0.000 (adjusted for ties)

Tabla 19. Prueba de igualdad de medianas por tipo operador.

## 5.2 Tamizar las causas potenciales

Las fuentes de variación que se han identificado y el método empleado para hacerlo se muestra en la tabla 20.

Causa	Prueba	Hipótesis nula.	Resultado
Método de Aplicación de corcho.	T para medias	La media de peso de rejilla es la misma utilizando el método de corcheo A y el método de corcheo B.	Se rechaza la Hipótesis nula.
Tipo de Pistola para aplicar	Mann - Whitney	La mediana de peso de rejilla es la misma utilizando vaso de presión que	Se rechaza la

corcho.	Para Medianas	utilizando vaso de succión para la aplicación de corcho.	Hipótesis nula.
Tipo de pistón del sistema de apertura y cierre de molde.	Mann – Whitney Para Medianas	La mediana de peso de rejilla es la misma utilizando maquina con pistón de molde hidráulico o pistón de molde neumático.	Se rechaza la Hipótesis nula.
Tipo de sistema de enfriamiento de molde.	T para medias	La media de peso de rejilla es la misma utilizando molde con tipo de enfriamiento tipo chiller que utilizando molde con tipo torre de enfriamiento.	No se rechaza la Hipótesis nula.
Lado de la cara del molde.	T para medias	La media de peso de rejilla es la misma del lado derecho de la cara del molde que del lado izquierdo de la cara del molde.	No se rechaza la Hipótesis nula.
Habilidad operativa del trabajador.	ANOVA	Las medias de peso de rejilla entre los operadores son iguales.	Se rechaza la Hipótesis nula.

Tabla 20. Matriz de las pruebas de hipótesis para cada causa potencial.

### 5.3 Conclusiones

Como en todo proyecto realizado mediante la metodología seis sigma, ha sido importante la utilización extensiva de conceptos y técnicas estadísticas para emitir juicios sobre las variables estudiadas. La colaboración de los principales usuarios del proceso como lo son el dueño del proceso, el ingeniero del proceso y los operadores del área ha sido muy valiosa para identificar las variables que más influencia ejercen sobre el peso de rejilla y para la realización de las pruebas en piso.

Al finalizar la fase de analizar fue posible darse cuenta que las principales variables que afectan al peso de rejilla son el método de corcheo, el tipo de sistema de aplicación de corcho empleado, el tipo de pistón del sistema de apertura y cierre de moldes y la más importante la habilidad operativa de cada trabajador.

En la siguiente fase se mostraran las acciones necesarias para mejorar el desempeño de peso de rejilla que habrán de realizarse para alcanzar los estándares definidos para la realización de este proyecto, así como una breve explicación de cada una de ellas y un plan de ejecución de las mismas.

## Capitulo VI: Etapa de Mejora

Dentro de los proyectos de Seis Sigma, se espera que durante la etapa de mejora se realicen los cambios al proceso que nos permitan un cambio significativo que lleve al mismo a niveles a los cuales nunca había estado recurrentemente. En esta etapa puede ser necesaria la realización de inversiones para la compra de equipo o recursos necesarios para lograr la mejora.

El apoyo y compromiso del equipo de mejora es muy importante en esta etapa para poder cumplir con el compromiso de mejora, por lo que el liderazgo del Black Belt en esta etapa es muy importante para mantener la unión y el ánimo del equipo para lograr los resultados deseados.

Una vez identificadas las variables que ejercen mayor influencia en el peso de rejilla durante la etapa de analizar, es necesario entrar a la etapa mejorar con la intención de ver de que manera se pueden aprovechar o erradicar las fuentes de variación en el desempeño. A lo largo de la etapa mejorar se podrán identificar los niveles óptimos de algunos factores en los cuales se pueden obtener los resultados de mejora esperados. Así mismo las acciones que habrán de emprenderse para este propósito habrán de definirse y con sus respectivos responsables y fechas de compromiso.

### 6.1 Contrarrestar causas significativas.

Las principales causas encontradas durante la fase analizar son las siguientes:

- Tipo de Pistola para aplicar corcho
- Método de aplicación de corcho
- Habilidad Operativa del trabajador.
- Tipo de pistón del sistema de apertura y cierre de molde.



Como se puede observar las primeras tres causas tienen que ver con la capacidad del operador y el sistema empleado para la aplicación de corcho. Dado lo anterior se tomo la decisión de contrarrestar las causas de la siguiente manera.

Utilización de pistola de presión para la aplicación de corcho.

Una de las mejoras a implementarse corresponde a la compra de pistolas de presión para la aplicación de corcho. Este artefacto, a diferencia de la pistola de succión que tradicionalmente se utiliza para la aplicación de corcho, emite el fluido a una mayor razón. Los operadores perciben una mayor adherencia en el molde por lo que el corcho dura más y el peso de rejilla tarda mas en aumentar conforme avanza la operación normal de la producción.

En la tabla 21 se muestran tendencias de aumento de peso utilizando vaso de presión y vaso de succión.

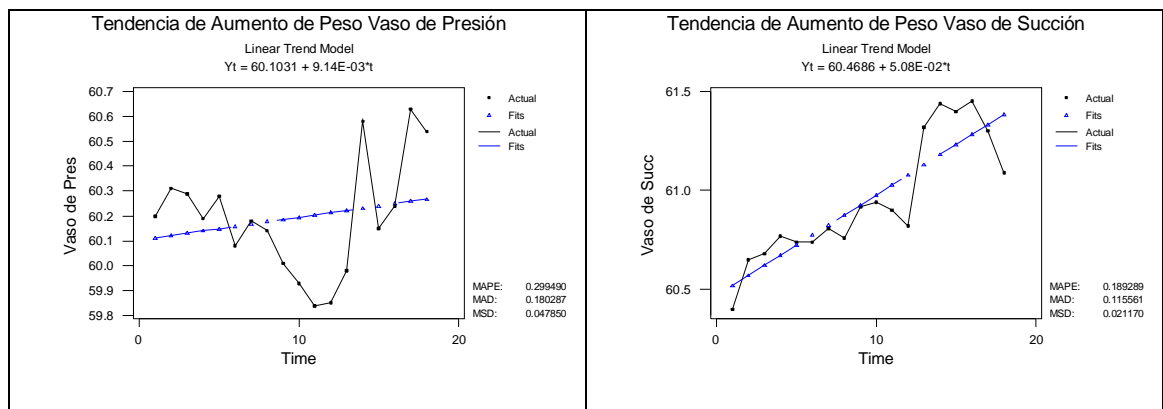


Tabla 21. Gráficas de tendencias de aumento de peso por tipo de aspersión.

Mejorar Método de aplicación de corcho.

Con la intención de encontrar los niveles óptimos para aplicación de corcho utilizando sistema de presión, se realizó un Diseño de experimentos en donde participaron tres factores en dos niveles. Los Factores involucrados y los niveles son los siguientes: Ver tabla 22.

Factor (unidad de medida)	Nivel bajo	Nivel Alto
Presión de Vaso (psi)	10	20
Presión de Red (psi)	40	80
Manos de Corcho (pasadas)	10	20

Tabla 22. Factores y niveles a incluirse en el experimento.

Se realizó un diseño factorial completo con tres réplicas dando un total de 24 corridas.

### Factorial Design

Full Factorial Design

```

Factors:      3   Base Design:      3, 8
Runs:        24   Replicates:      3
Blocks:      none Center pts (total): 0

```

Tabla 23. Diseño del experimento.

StdOrder	RunOrder	CenterPt	Blocks	Presión de Vaso	Presión de Red	Manos de Corcho	Peso de Rejilla
1	1	1	1	5	40	10	-1
2	2	1	1	10	40	10	-1.5
3	3	1	1	5	60	10	-2
4	4	1	1	10	60	10	-2.5
5	5	1	1	5	40	20	-2.9
6	6	1	1	10	40	20	-3.3
7	7	1	1	5	60	20	-3
8	8	1	1	10	60	20	-3.7
9	9	1	1	5	40	10	-1.2
10	10	1	1	10	40	10	-1.4
11	11	1	1	5	60	10	-2
12	12	1	1	10	60	10	-2.2
13	13	1	1	5	40	20	-2.9
14	14	1	1	10	40	20	-3
15	15	1	1	5	60	20	-3.6
16	16	1	1	10	60	20	-4
17	17	1	1	5	40	10	-0.9
18	18	1	1	10	40	10	-1.1
19	19	1	1	5	60	10	-2.2
20	20	1	1	10	60	10	-2.2
21	21	1	1	5	40	20	-2.7
22	22	1	1	10	40	20	-3.4
23	23	1	1	5	60	20	-3.2
24	24	1	1	10	60	20	-3.6

Tabla 24. Resultado de las corridas del experimento.

Las corridas se realizaron en la misma maquina corriendo el mismo tipo de rejilla operando con el mismo molde y trabajador. El peso de rejilla corresponde al promedio de 50 rejillas de los primeros 10 minutos de operación después de la aplicación de la corchada.

## Fractional Factorial Fit: Peso de Reji versus Presión de V, Presión de R, ...

Estimated Effects and Coefficients for Peso (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		-2.479	0.03827	-64.78	0.000
Presión	-0.358	-0.179	0.03827	-4.68	0.000
Presión	-0.742	-0.371	0.03827	-9.69	0.000
Manos de	-1.592	-0.796	0.03827	-20.79	0.000
Presión*Manos de	0.258	0.129	0.03827	3.37	0.003

Analysis of Variance for Peso (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	3	19.2713	19.2713	6.42375	182.73	0.000
2-Way Interactions	1	0.4004	0.4004	0.40042	11.39	0.003
Residual Error	19	0.6679	0.6679	0.03515		
Lack of Fit	3	0.0613	0.0613	0.02042	0.54	0.663
Pure Error	16	0.6067	0.6067	0.03792		
Total	23	20.3396				

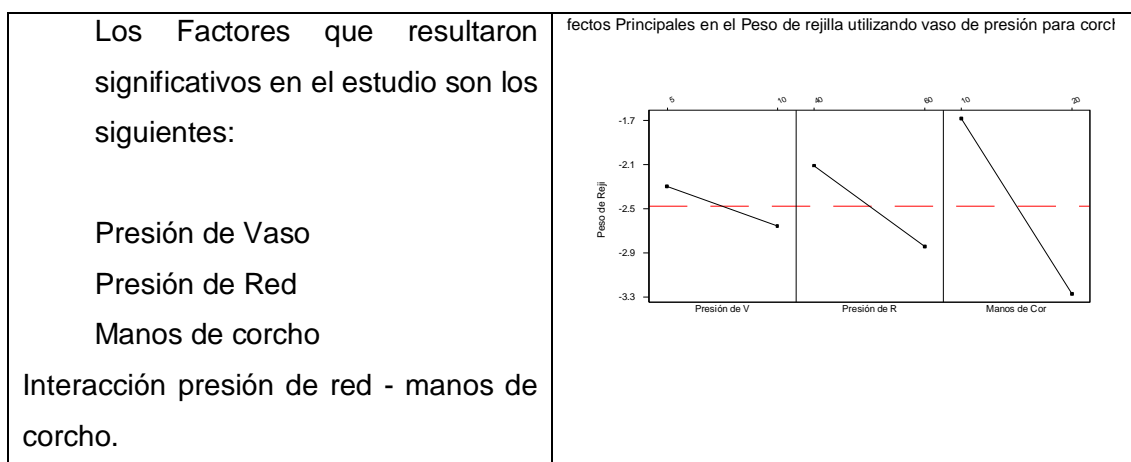
Estimated Coefficients for Peso using data in uncoded units

Term	Coef
Constant	4.23750
Presión	-0.0716667
Presión	-0.0758333
Manos de	-0.288333
Presión*Manos de	0.00258333

Alias Structure

I  
 Presión  
 Presión  
 Manos  
 Presión\*Manos

Tabla 25. Coeficientes de la Regresión del DOE.



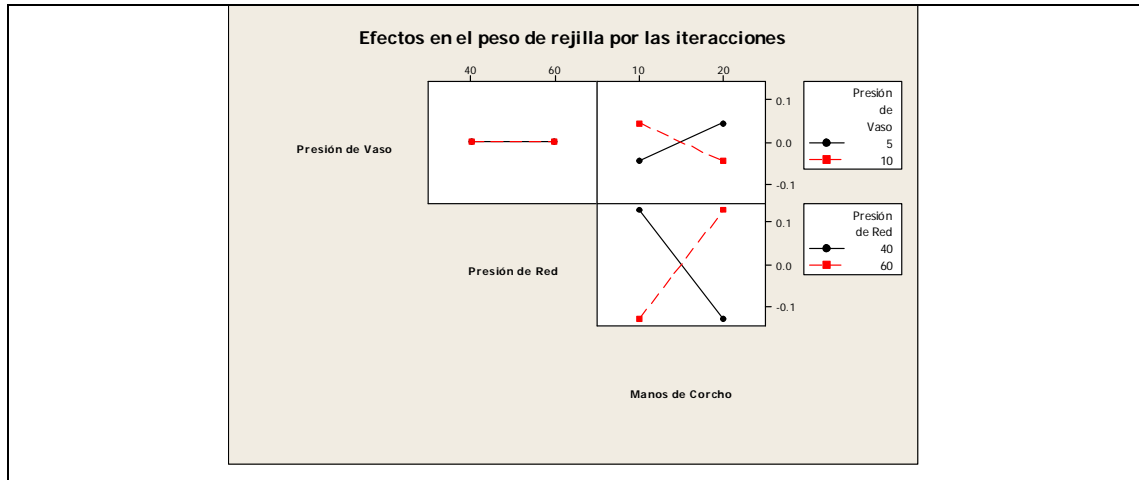


Tabla 26. Factores significativos en el peso de la rejilla.

Tomando en cuenta los factores significativos identificados en el DOE se realiza la siguiente regresión:

**Regression Analysis: Peso de Reji versus Presión de V, Presión de R, ...**

The regression equation is

$$\text{Peso de Rejilla} = 4.24 - 0.0717 \text{ Presión de Vaso} - 0.0758 \text{ Presión de Red} - 0.288 \text{ Manos de Corcho} + 0.00258 \text{ PRed} * \text{Manos}$$

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4.2375	0.6277	6.75	0.000
Presión	-0.07167	0.01531	-4.68	0.000
Presión	-0.07583	0.01210	-6.27	0.000
Manos de	-0.28833	0.03903	-7.39	0.000
PRed * M	0.0025833	0.0007654	3.37	0.003

S = 0.1875      R-Sq = 96.7%      R-Sq(adj) = 96.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	4	19.6717	4.9179	139.90	0.000
Residual Error	19	0.6679	0.0352		
Lack of Fit	3	0.0613	0.0204	0.54	0.663
Pure Error	16	0.6067	0.0379		
Total	23	20.3396			

Durbin-Watson statistic = 2.32

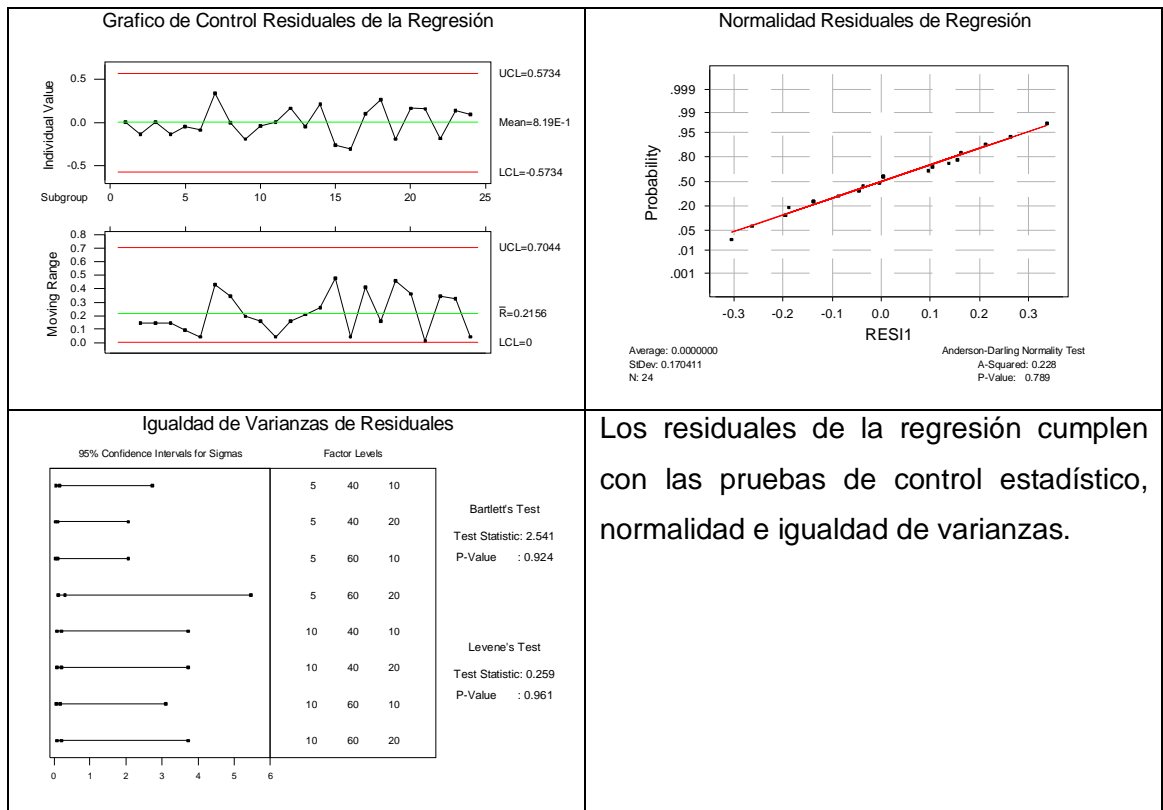
No evidence of lack of fit (P > 0.1)

S = 0.187493 R-Sq = 96.7% R-Sq(adj) = 96.0%

PRESS = 1.06571 R-Sq(pred) = 94.76%

Tabla 27. Regresión del experimento.

La regresión cumple con las pruebas p para sus predictores, así como la prueba de falta de ajuste. El modelo estadístico explica el 96.0% del desempeño del peso de rejilla en los niveles analizados.



Los residuales de la regresión cumplen con las pruebas de control estadístico, normalidad e igualdad de varianzas.

Tabla 28. Análisis Residual.

Una vez validado el modelo de regresión para el peso de rejilla se procede a encontrar los niveles óptimos de operación para obtener de -1 gramo de diferencia de peso de rejilla a -1.37 gramos contra el valor nominal.

Los niveles de operación de los factores son los siguientes:

Presión de Vaso: 5 a 10 psi

Presión de Red: 40 psi  
 Manos de Cocho: 10 pasadas.

New D 0.95833	Hi Cur Lo	Presión 10.0 [5.0] 5.0	Presión 60.0 [40.0] 40.0	Manos de 20.0 [10.0] 10.0
Peso de Targ: -1.0 $y = -1.0042$ $d = 0.95833$				

Tabla 29. Niveles de los factores para obtener un resultado de -1 gramo debajo de la media nominal.

New D 0.00000	Hi Cur Lo	Presión 10.0 [10.0000] 5.0	Presión 60.0 [40.0] 40.0	Manos de 20.0 [10.0] 10.0
Peso de Targ: -1.0 $y = -1.3625$ $d = 0.00000$				

Tabla 30. Niveles de los factores para obtener un resultado óptimo de peso de rejilla.

## Response Optimization

### Parameters

	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	
Import						
Dif vs nomin	Target	-1.2	-1	-0.8	1	1

### Global Solution

Presión de V =	5
Presión de R =	40
Manos de Cor =	10

### Predicted Responses

Dif vs nomin = -1.05417, desirability = 0.72917

Composite Desirability = 0.72917

Tabla 31. Parámetros introducidos al modelo de regresión.

Se tomo de dar un margen de operación de 5 psi a la presión del vaso ya que este cuenta con un manómetro que puede ser fácilmente ajustado por operador.

Para confirmar la utilidad práctica del uso de la pistola de presión antes de ser implementado a escala completa en todas las máquinas, se compraron 3 sistemas de presión y se trabajaron con ellos en 3 de las 18 máquinas. Después de 1 mes de operación, una vez comprobada su efectividad, se desplegó la mejora al resto de las máquinas.

Mejorar sistema de apertura y cierre de moldes.

La mejora en el sistema de apertura y cierre de moldes corresponde a la causa en la cual se encontró que los sistemas neumáticos tienen un mejor desempeño en peso de rejilla que los sistemas hidráulicos. Ante la evidencia que presentó el Champion tomo la decisión de homologar todos los sistemas a pistón neumático como lo sugiere el fabricante del equipo.

Las condiciones de operación para el cierre y apertura de moldes son las del manual del equipo y quedan a reserva de la empresa por motivos de confidencialidad.



Con la intención de asegurar la implementación de las mejoras se convocó al equipo de trabajo para elaborar un plan de actividades tanto para la Difusión del Instructivo de trabajo como para la instalación de los pistones neumáticos. En los planes, se especifican fechas compromiso y responsables para cada actividad. Los planes de implementación de las mejores son similares a los que se muestran en las figura 24 y 25.

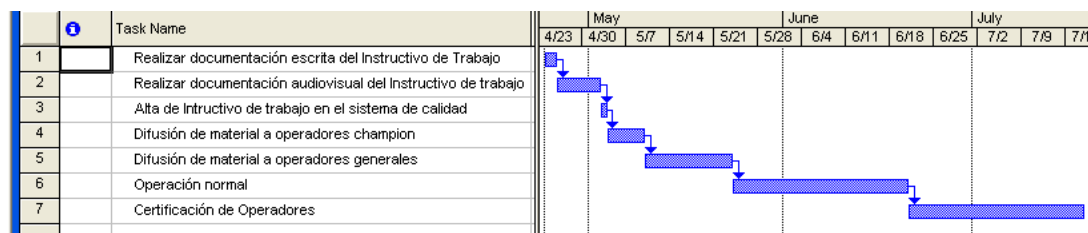


Figura 24. Plan de certificación de operadores.

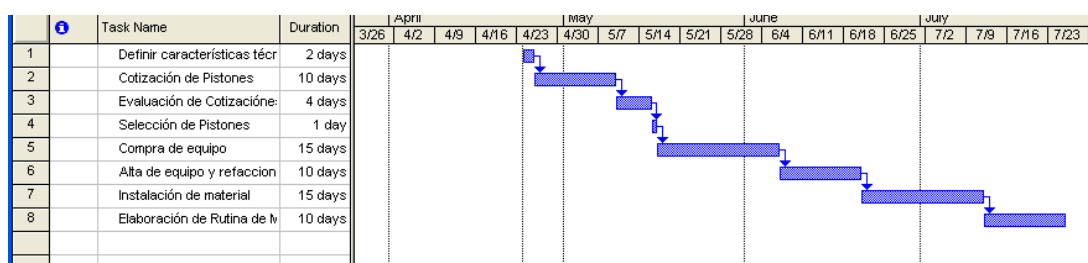


Figura 25. Plan de cambio de pistones para molde.

## 6.2 Establecer las Tolerancias de Operación.

Como se había establecido, las mejoras a implementarse corresponden a la utilización de sistema de presión para la aplicación de corcho, difusión de un instructivo de trabajo para su utilización y la instalación de pistones neumáticos para el sistema de apertura y cierre de moldes.

La tabla 32 muestra la manera en que fueron contrarrestadas las causas más significativas al bajo desempeño de peso de rejilla.

Causa	Manera de Contrarrestar su efecto.
Método de Aplicación de corcho.	Utilización de pistola de presión para

Tipo de Pistola para aplicar corcho.	aplicación de corcho, encontrar condiciones optimas de operación y difusión y certificación en el método de corchado.
Habilidad operativa del trabajador.	
Tipo de pistón del sistema de apertura y cierre de molde.	Encontrar condiciones óptimas de operación e instalación de pistones neumáticos.

Tabla 32. Acciones para contrarrestar cada causa significativa.

### 6.3 Conclusiones

Durante esta etapa del proyecto se han implementado las mejoras que nos permitirán alcanzar los niveles de desempeño de peso de rejilla comprometidos al momento de la definición del proyecto. Se han elaborado estudios en los cuales hemos podido identificar los niveles óptimos de algunos de los factores que mayor influencia han ejercido en el peso de rejilla. Además se han definido actividades, fechas de compromiso y responsables para asegurar la implementación completa de las mejoras. Durante esta etapa ha sido muy importante la colaboración comprometida de todo el quipo de trabajo quienes han hecho suyo este proyecto y empiezan a ver con entusiasmo que las mejoras implementadas empiezan a surtir resultados en la “y” del proyecto. Algunos operadores que en un principio se mostraban escépticos de las pruebas y análisis realizados ahora se han motivado al ver que el control del peso de rejilla resulta ser más fácil de lo que ellos pensaban.

El siguiente capitulo servirá como marco para ver que tipo de controles se han implementado para asegurar la mejora perdure. Así mismo se mostrará un diagnostico del desempeño final del proceso utilizando métrica seis sigma. Finalmente se realizarán algunas conclusiones de la realización del proyecto.

## Capitulo VII: Etapa de Control

Durante la etapa anterior del proyecto se han definido para cada fuente de variación, las maneras para contrarrestar su efecto en el desempeño de peso de rejilla.

La etapa de control es el periodo del proyecto en el cual es necesario implementar los mecanismos mediante los cuales la mejora podrá ser mantenida a través del tiempo. La robustez de los controles implementados debe ser tal que la mejora perdure independientemente de otros factores que pudieran afectar al proceso. Es importante la documentación en sistemas de calidad o en rutinas de mantenimiento de cada una de las acciones realizadas y si es posible que los controles sean auditables para que no puedan ser removidos.

### 7.1 Establecer controles del proceso.

Elaboración de material de capacitación e instructivo de trabajo.

La elaboración de un instructivo de trabajo para la aplicación de corcho mediante pistola de presión fue realizada en dos formatos uno audio visual en formato DVD para ser presentado ante operadores de nuevo ingreso y re certificaciones de habilidades. Y otro en el formato oficial de instructivo de trabajo para ser colocado en las carpetas de operación de los trabajadores para su consulta y auditoria.

Difusión de material de capacitación.

La difusión de ambos materiales se realizo a todos los operadores del área. Y se dio de alta en el sistema de calidad para asegurar que todo el pernal de nuevo ingreso también sea capacitado y certificado en la materia. La difusión inicialmente fue para los operadores champion quienes entre sus funciones se encuentra el capacitar al resto de los operadores en el manejo de y operación de la maquinaria. Una vez certificados los operadores champion, por parte del Ingeniero de

procesos, estos capacitaron al resto del personal para que después fueran certificados por el Ingeniero de Proceso como lo exige el procedimiento correspondiente. El material de difusión también se publicó en los espacios correspondientes como lo marcan los procedimientos vigentes. La figura 26 muestra un fragmento del instructivo de trabajo dado de alta.

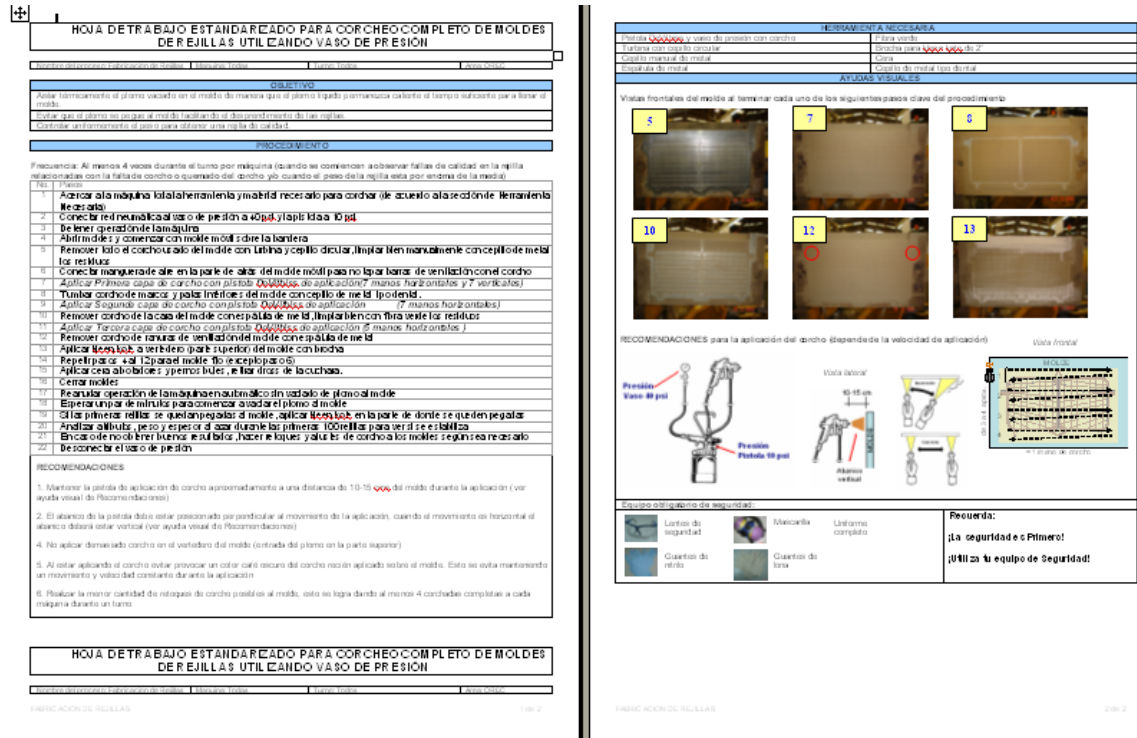


Figura 26. Instructivo de trabajo para aplicación de corcho.

Establecer Peso de Rejilla como Indicador de equipo de alto desempeño.

Una vez difundido los instructivos de trabajo y certificado el 100% de los trabajadores en el dominio del método de corchado con vaso de presión, se ha decidió instaurar el indicador de peso de rejilla en el scorecard del equipo para darle un seguimiento recurrente. Además al ser parte del scorecard, el equipo operativo debe de cumplir con la meta de desempeño definida por el Champion para poder acceder a un bono variable por el cumplimiento en el objetivo de desempeño en indicadores de Scorecard.

Seguimiento semanal al indicador del peso de rejilla por operador.

La base de datos del peso de rejilla ha sido programada para que emita reportes por operador semanales. Con la ayuda de estos documentos, el dueño del proceso retroalimenta a los operadores según su desempeño para que aquellos quienes tienen algún problema para mantener el peso de rejilla bajo control pueden ser identificados para ayudarlos a mejorar. La figura 27 muestra de manera gráfica la información con la que el dueño del proceso retroalimenta a cada operador.

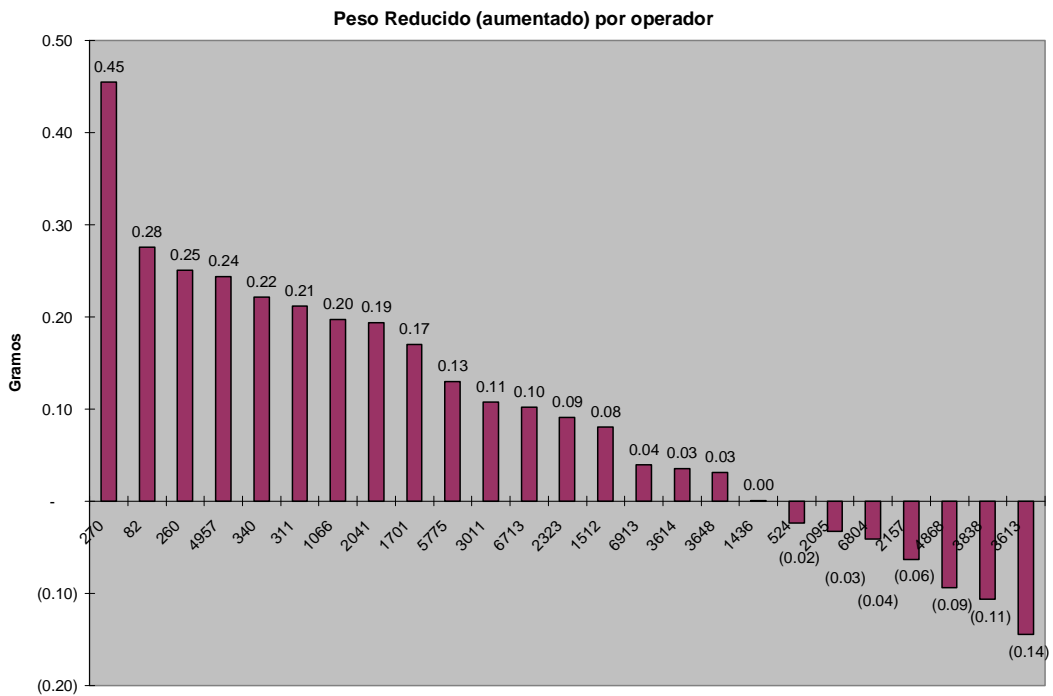


Figura 27. Gráfica de sobrepeso de rejilla por operador.

#### Alta de pistones neumáticos en almacén de refacciones

Con la intención de asegurar el abasto de pistones y sus respectivas refacciones y conexiones se dieron de alta los diversos números de parte de estos componentes en el almacén de refacciones. Cada equipo ha sido de alta especificando el

fabricante, modelo, punto de reorden y demás información necesaria para que el equipo no falte al momento de ser requerido.

Alta de rutina de mantenimiento preventivo a pistones neumáticos.

Fue dada de alta una rutina de mantenimiento preventivo para asegurar el buen funcionamiento de los pistones neumáticos instalados. Dichas rutinas especifican la frecuencia del mantenimiento, así como las actividades a realizarse durante cada preventivo. También se definieron las frecuencias de cambio de pistones y componentes del sistema de apertura y cierre de moldes.

Gráficos de precontrol de peso de rejilla.

Se programo la base de datos para que se desplegara en la pantalla una gráfica de precontrol la cual de manera visual alerta a los operadores si se esta trabajando con un peso de rejilla alto para los estándares pretendidos. Ver figura 28.

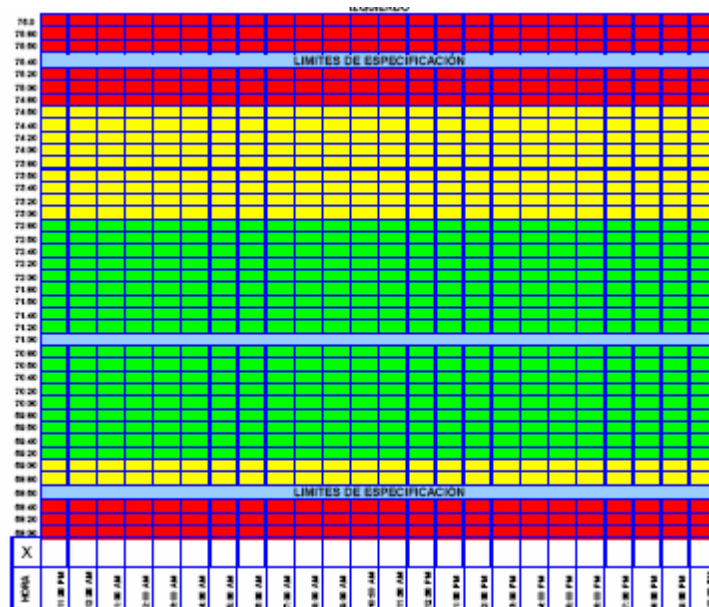


Figura 28. Gráfica de precontrol peso de rejilla.

Documentación del proyecto y compartir lecciones aprendidas.

Una vez concluidas las actividades de mejora y control se procedió a documentar el proyecto en los formatos correspondientes para su difusión a las áreas en donde se puedan replicar las prácticas emprendidas en el mismo.

Reconocimiento al equipo de trabajo.

No solo durante la etapa de control del proyecto se realizaron diversos eventos en reconocimiento al equipo de trabajo y los operadores de producción. Estos reconocimientos sirven para fomentar la toma de conciencia de los operadores acerca de la importancia de mejorar los indicadores operativos entre los cuales se encuentra el peso de rejilla, así como para propagar entre el equipo la confianza en seis sigma, metodología que una vez más ha demostrado ser útil para llevar los procesos operativos a niveles de desempeño que nunca habían sido logrados.

## 7.2 Diagnóstico final del proceso

Una vez implementadas las mejoras y después de un mes de operación, se consultó la base de datos de peso de rejilla para conocer el desempeño actual del proceso. A un mes de haberse implementado las mejoras, se obtuvo una gráfica de tendencias para observar hacia donde se dirige el comportamiento general del proceso. Dicha gráfica se muestra en la figura 29.

## Tendencia de peso de Rejilla Después de las mejoras

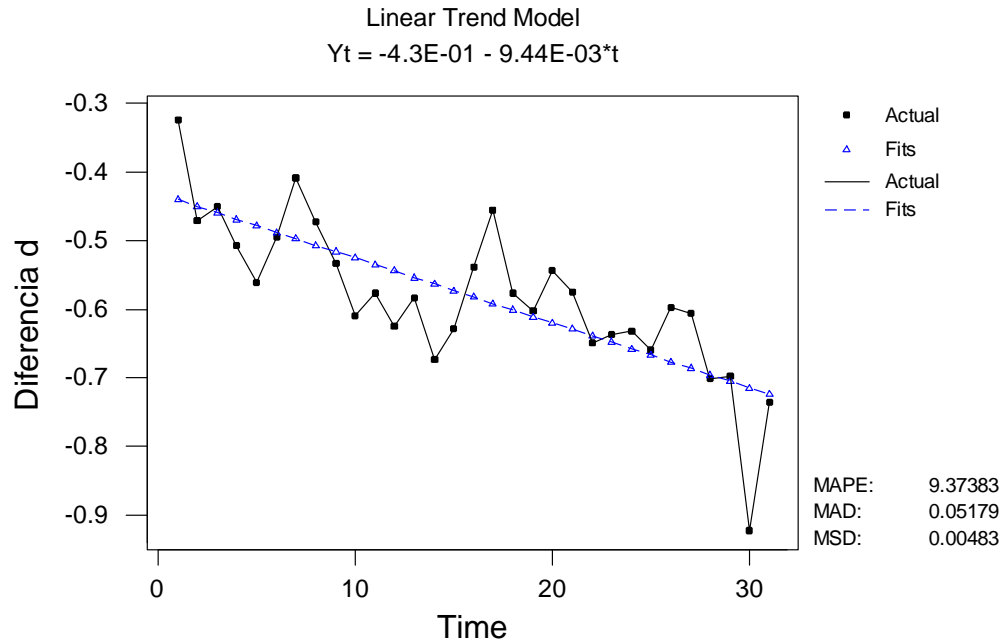


Figura 29. Tendencia de sobrepeso promedio de rejilla.

Como se puede observar, la tendencia general de la diferencia de peso contra el nominal es a la baja, al lográndose colocar al final del mes con una tendencia que marca 0.7 gramos debajo de la media nominal de especificación.

### 7.3 Determinar capacidad del proceso

Con la intención de estimar la capacidad de proceso, los promedios diarios de los últimos 31 días después de la implementación de las mejoras, son sometidos a una prueba de normalidad.



## Prueba de Normalidad Sobrepeso de rejilla Despúes

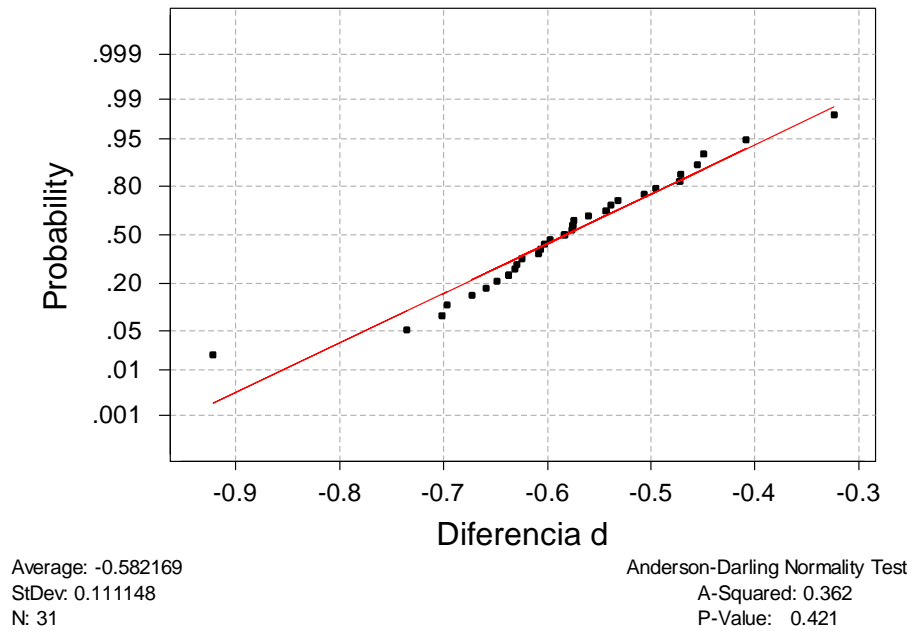


Figura 30. Prueba de normalidad sobrepeso de rejilla después de implementar las mejoras.

Como se observa en la prueba de normalidad, se puede concluir que la muestra de la población de los 31 días consultados tienen una distribución que se puede considerar con un comportamiento normal. Por lo que se puede continuar con el análisis de capacidad de proceso.

Para calcular la capacidad de proceso, los límites inferior y superior de especificación se fijan en -3.4 y 0 gramos de diferencia contra el peso nominal tal como se realizó al inicio del proyecto. Lo anterior representa el lado debajo de la meda nominal de la especificación del producto, por lo que no se sacrifica desempeño del producto con estas mejoras. La figura 31 muestra la Capacidad del Proceso.

### Capacidad de Proceso Después de haber Implementado las Mejoras

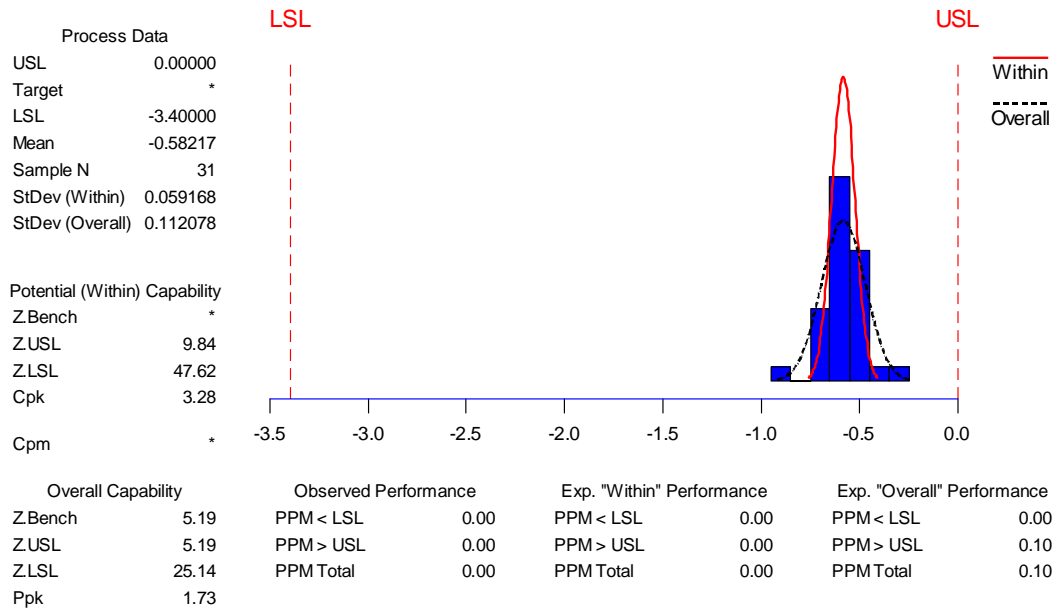


Figura 31. Capacidad del proceso después de haber implementado las mejoras.

$$Z_{cp} = 5.19 - 1.5 = 3.69$$

$$PPM = 1$$

	Antes	Después
Media	0.437	-0.58
Desviación Std	0.107	0.059
Z corto plazo	-3.64	3.69
PPM	993,700	1

Tabla 33. Comparación del peso de rejilla antes y después de la realización del proyecto.

Como se puede observar en la tabla 33, el cambio en el desempeño del peso de rejilla ha sido significativo y los controles han sido exitosos ya que la mejora ha logrado mantenerse, superando las expectativas iniciales con las que se definió el proyecto.

#### 7.4 Conclusiones

Durante la etapa controlar es necesario emprender las acciones necesarias que aseguren la permanencia recurrente de las mejoras implementadas. Es importante que los controles implementados se robustos y que sean capaces de resistir cambios en otros factores que pudieran afectar el desempeño del peso de rejilla. Durante esta etapa ha sido muy importante el convencimiento del equipo de trabajo en las mejoras implementadas y las aportaciones de los mismos para que los controles hayan sido dados de alta en sistemas de gestión de procesos auditables. Los controles debidamente documentados como los instructivos de trabajo y rutinas de mantenimiento son controles suaves que sin embargo dictan las secuencias de actividades necesarias para asegurar el funcionamiento de las mejoras. Los controles duros como los nuevos artefactos para aspersion de corcho y los nuevos pistones son mejoras físicas que han hecho posible llegar a niveles en los cuales el proceso nunca había estado. Finalmente con la ayuda de la métrica seis sigma ha sido posible comparar la capacidad del proceso inicial y la final y así darnos cuenta del impacto de las mejoras y controles en el proceso.

A lo largo del siguiente capítulo de la investigación se presentara una discusión de los resultados obtenidos, una evaluación financiera de la mejora, así como recomendaciones para posibles proyectos de reducción en variación en uso de materiales.

## Capitulo VIII: Discusión de resultados

El compromiso de mejora se ha superado, habiendo presupuestado una mejora de 500,000 ppm, se han logrado reducir las mismas a 1 ppm en el periodo analizado. Lo anterior ha motivado a los operadores a seguir cumpliendo con el indicador de peso de rejilla el cual es uno de los indicadores del scorecard del equipo.

Financieramente, el proyecto a sido un rotundo éxito en la organización ya que se han alcanzado niveles de desempeño que nunca se habían tenido y el costo de operación a disminuido al aprovechar más el plomo utilizado para la fabricación de las rejillas.

El uso de la metodología DMAIC de seis sigma ha demostrado ser una disciplina eficiente para mejorar procesos, erradicando de raíz las fuentes de variación que nos alejaban del desempeño deseado y aprovechando los factores que nos permiten lograr la meta definida.

Durante la etapa de Definición, lo más importante fue identificar que características eran las más importantes para el cliente, cual era el costo de la pobre calidad en el cual se estaba incurriendo por trabajar en el nivel en que se estaba y reunir al equipo de trabajo para darles a conocer los objetivos y alcances del proyecto.

Durante la etapa de Medición, lo mas importante ha sido conocer el nivel de desempeño actual del proceso, validar el sistema de medición del proceso y elaborar un diagnostico del nivel inicial del proceso utilizando métrica seis sigma.

Durante la etapa de Análisis, lo más importante ha sido identificar las variables que ocasionan variación o bajo desempeño en el proceso, priorizar esas variables para saber cuales eran las que mas impacto tienen en el proceso y así poder atacarlas.

Una vez realizada la etapa de mejorar hemos podido identificar en que niveles de los factores es posible lograr el desempeño propuesto para el proyecto. Lo más importante en esta etapa del proyecto ha sido que el equipo se convenció de las mejoras y estas empezaron a dar resultados.

Lo mas importante de la etapa Controlar ha sido la implementación de los mecanismos físicos y documentados que nos permiten sostener la mejora a lo largo del tiempo. En esta etapa como en todas ha sido muy importante la participación del equipo de trabajo para que los controles sean lo suficientemente robustos para resistir embates de fuentes de variación que pudieran afectar al proceso.

#### 8.1 Evaluación financiera de los resultados

La realización del presente proyecto ha permitido generar ahorros que han sido de gran importancia para la organización. En la tabla 34 se muestra un calculo de los ahorros que se estiman han sido generados por la implementación de las mejoras y controles del presente proyecto.

	Inicial	Final	Unidad de medida
Producción Promedio mensual	16,000,000	16,000,000	Piezas
Sobrepeso promedio mensual	0.00437	-0.0058	Kg
Costo del Plomo	0.87	0.87	USD / kg
COPQ	208,292	-276,451	USD

Tabla 34. Comparación económica antes y después de realizar el proyecto.

Beneficio Final = 208,292– (-276,451) = 484,743 usd MENSUALES.

Si este proyecto se replicara en otras 3 plantas de la organización, alcanzando el mismo nivel de desempeño que la planta en donde se ha desarrollado la mejora, el ahorro mensual sería de 1,939,000 usd mensuales.

## 8.2 Posibles replicas del proyecto

El uso de la metodología DMAIC para la realización de proyectos de variación en uso de materiales puede llevarse a cabo en diversos procesos e industrias. En realidad puede llevarse a cabo en cualquier proceso en el cual estén involucrados factores que puedan ser controlados para la reducción en uso de materiales. Se pueden definir proyectos de este tipo en cualquier proceso en donde el producto este utilizando más material del especificado o varíe significativamente.

Este tipo de fenómeno puede encontrarse en procesos de vaciado, empaçado, llenado, moldeado, inyección, etc., en donde la cantidad de material utilizado es un factor importante de control.

El uso de la metodología DMAIC puede ser replicado por personal capacitado en la misma ya sean green belts o black belts cuyo dominio de herramientas estadísticas sea fuerte.

## Capitulo IX: Conclusiones

Ante la creciente necesidad de hacer uso adecuado de los recursos por su constante incremento de precio y para asegurar el abasto para generaciones futuras, se puede concluir que estratégicamente, es un gran acierto definir y realizar proyectos de mejora continua enfocados en reducir la variación en uso de materiales. El uso correcto de las herramientas estadísticas y de control que se utilizan durante la elaboración de un proyecto Seis Sigma, son de gran utilidad para la reducción exitosa de variación en uso de materiales. La definición sistemática de proyectos de este tipo, fomenta un mejor control de los materiales y generar grandes ahorros, ya que al aprovecharse al máximo las materias primas para la elaboración de los productos, los costos operativos disminuyen drásticamente.

Respuesta a las preguntas de investigación.

¿Se pueden resolver problemas de variación en uso de materiales utilizando metodología seis sigma?

Si, la realización del presente proyecto demuestra la utilidad de la Metodología para efectuar exitosamente proyectos de este tipo.

¿Que procedimientos se recomiendan para realizar un proyecto exitoso de disminución de variación en uso de materiales?

Se recomienda en base a la experiencia de este proyecto, seguir procedimientos congruentes con la metodología DMAIC para la realización de proyectos de disminución de variación en uso de materiales.

¿Cuáles pudieran ser las mejores prácticas para reducir la variación en uso de materiales en procesos continuos?

Identificar las fuentes de variación en uso de materiales, realizar mejoras al proceso e implementar controles que nos permitan la permanencia de la mejora.

## Hipótesis

Al reducir la variación en uso de materiales se reducen los costos operativos.

Se demostró económicamente que es posible reducir los costos operativos al reducir la variación en uso de materiales.

Al aumentar la capacidad de procesos se reducen los costos operativos.

Estadísticamente se comprobó que al aumentar la capacidad de los procesos es posible reducir los costos operativos.



## Referencias.

Montgomery, Douglas C. Introduction to statistical quality control. Wiley. 3<sup>rd</sup> edition. 1997

Pande Peter S, Neuman Robert P, Cavanagh Roland R. The six sigma way: How GE, Motorola, and other top companies are honoring their performance. McGraw Hill. 2000

Evans James R, Lindsay William M. The management and control of quality. Thomson 6<sup>th</sup> edition. 2005.

Devore, Jay L. Probability and statistics for engineering and the sciences. Duxbury. 5<sup>th</sup> edition. 2000

Taylor, Wayne A. Optimization and variation reduction in quality. Taylor Enterprises. 2005.

Blocher, Stout, Cokins, Chen. Cost Management: A Strategic Emphasis. McGraw Hill 4<sup>th</sup> edition. 2007

MINITAB® Release 14.12.0 Statistical software

[www.osha.gov](http://www.osha.gov)

[www.lme.com](http://www.lme.com)

[www.bci.org](http://www.bci.org)