



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Vicerrectoría de Posgrados

e Investigación

Escuela de Ingeniería

Maestría en Sistemas Integrados de Manufactura y Estrategias de
Calidad

TITULO DE LA TESIS.

“Reducción del sobrepeso en la pastilla de Trident 6’s en Mondelez planta Puebla
mediante la aplicación de la metodología DMAIC para la disminución en los
costos del proceso en el segundo semestre del 2018

Tesis que para obtener el Grado de Maestro
en Sistemas Integrados de Manufactura y Estrategias de Calidad

Presenta

ING. LUIS MIGUEL RIOS MURIEL

Director

DR. HERTWIN MINOR POPOCATL

Puebla, México.

JUNIO, 2019



UPAEP – Secretaría General

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyla**

Tesis Digitales Restricciones de uso:

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Vicerrectoría de Posgrados

e Investigación

Escuela de Ingeniería

Maestría en Sistemas Integrados de Manufactura y Estrategias de
Calidad

Se aprueba la Tesis:

REDUCCIÓN DEL SOBREPESO EN LA PASTILLA DE TRIDENT 6'S EN
MONDELEZ PLANTA PUEBLA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA
METODOLOGÍA DMAIC PARA LA DISMINUCIÓN EN LOS COSTOS DEL
PROCESO EN EL SEGUNDO SEMESTRE DEL 2018

Comité de Revisión

Dr. HERTWIN MINOR POPOCATL

Director

Dr. OMAR AGUILAR MEJIA

Asesor

Dr. PRUDENCIO FIDEL PACHECO GARCIA

Asesor

Puebla, México.

JUNIO, 2019

RESUMEN

El presente trabajo muestra el análisis realizado en líneas de fabricación de goma de mascar para reducir la variación porcentual que se estaba presentando en el producto con el objetivo de disminuir las perdidas presentadas en el área las cuales representaban a su vez una de las perdidas principales de la compañía, para lo anterior fue conveniente primero realizar un muestreo que reflejara el estado actual del proceso para luego ejecutar un análisis a partir de herramientas estadísticas que nos permitió conocer los puntos críticos del proceso que posteriormente se atacaron con las medidas respectivas recomendadas al final del presente. Los resultados obtenidos demostraron que un ajuste en las variables críticas al igual que la modificación de partes en las maquinas ayudaron a que el producto se acercara al peso objetivo fijado por el área de calidad de la empresa y así erradicar gradualmente el problema que se venía presentando, de la misma manera se pudo observar una reducción del 3% en el sobrepeso que se venía presentando e igualar este indicador con el del resto de áreas de la planta en las cuales se encuentra más regulado.

ÍNDICE

1. Introducción	7
1.1 Planteamiento del problema.....	8
1.2 Objetivos.....	8
1.2.1 Objetivo general.....	8
1.2.2 Objetivos específicos	9
1.3 Descripción de la compañía.....	9
1.3.1 Ventajas competitivas	9
1.3.2 Portafolio.....	9
1.3.3 Metas y estrategias.....	10
1.3.4 Ubicación	10
2. Marco teórico	11
2.1 Calidad.....	11
2.2 Variabilidad de proceso	12
2.2.1 Tipos de variación.....	12
2.2.1.2 Causas especiales de variación	12
2.2.1.3 Causas comunes de variación	12
2.2.2 Medición de la variabilidad.....	13
2.3 Six sigma.....	14
2.3.1 DMAIC	15
2.3.1.1 Definir	15
2.3.1.2 Medir.....	16
2.3.1.3 Analizar.....	16
2.3.1.4 Mejorar.....	16
2.3.1.5 Controlar	17
2.4.1 La metodología DMAIC Six Sigma aplicada a un proceso de montaje.....	17
2.4.2 Mejora de proceso a través de Six Sigma con corrección Beta: un caso de estudio de una empresa manufacturera	18
2.4.3 Un enfoque DMAIC para mejorar la capacidad del proceso de fabricación del cigüeñal de un motor	19
2.4.4 Mejora de la capacidad del proceso a través de DMAIC para el mecanizado de llantas de aleación de aluminio.....	20
3. Caso de estudio	21

3.1 Metodología	21
3.1.1 Definir	21
3.1.1.1 Project Charter	21
3.1.1.2 Project Scope	21
3.1.1.3 SIPOC	21
3.1.1.4 Voz del consumidor y Voz del proceso (VOC y VOP)	22
3.1.1.5 Mejores Prácticas – Análisis de Riesgos.....	22
3.1.1.6 Estimación del beneficio.....	23
3.1.2 Medir.....	23
3.1.2.2 Elección del tamaño de muestra.....	24
3.1.2.3 Estudio de reproducibilidad y repetibilidad (R&R)	24
3.1.2.4 Desempeño actual del proceso.....	26
3.1.3 Analizar.....	27
3.1.3.1 Descripción del proceso	28
3.1.3.2 Análisis de Causa Raíz.....	28
3.1.3.3 Análisis de regresión.....	30
3.1.4 Mejorar.....	33
3.1.5 Controlar	35
3.1.5.1 Gráficos de control.....	35
3.1.5.2 Condiciones de operación	37
4. Conclusiones y Recomendaciones	39
4.1 Conclusiones.....	39
4.2 Recomendaciones	39
5. Anexos	40
5.1 Project Charter	40
5.2 Alcances del proyecto	40
5.3 Diagrama de proceso.....	41
5.4 Voz del consumidor y del proceso	41
5.5 Estimación del beneficio.....	42
5.6 Matriz de relaciones.....	42
5.7 Análisis de causa raíz.....	43
5.8 Carta de liberación de proyecto	44
Bibliografía	45

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de riesgos	22
Tabla 2. Variables de entrada	31
Tabla 3. Dimensiones de tableta y tira para análisis de regresión.....	31
Tabla 4. Medidas de primeras boquillas fabricadas	33
Tabla 5. Medidas de boquillas para segunda prueba.....	33
Tabla 6. Medidas de boquillas para tercera prueba.....	34
Tabla 7. Medidas de boquillas para cuarta prueba.....	34
Tabla 8. Condiciones de operación de línea Trident 6's.....	38
Tabla 9. Requerimientos del consumidor y del proceso	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Gráfico de curvas normales con medias iguales y diferenciales diferentes.....	13
Figura 2. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad.....	24
Figura 3. Capacidad actual del proceso	26
Figura 4. Descripción del proceso de fabricación.....	28
Figura 5. Diagrama de Causa - Efecto	29
Figura 6. Análisis de regresión múltiple L3.....	32
Figura 7. Análisis de regresión múltiple L4.....	32
Figura 8. Project Charter.....	40
Figura 9. Diagrama de alcances del proyecto	40
Figura 10. Diagrama de proceso	41
Figura 11. Estimación del beneficio del proyecto.....	42
Figura 12. Matriz de relaciones de variables	42
Figura 13. Análisis de causa raíz	43
Figura 14. Carta de liberación por Mondelez	44

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Vernier digital Absolute 150 mm.....	25
Imagen 2. Balanza Scout Pro SP601.....	25

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Porcentaje de sobrepeso entre Mayo y Agosto del año 2018.....	27
Gráfica 2. Porcentaje de sobrepeso a partir de semana 31	35
Gráfica 3. Informe de capacidad del proceso en semana 46.....	36
Gráfica 4. Informe de capacidad del proceso en semana 47	36
Gráfica 5. Informe de capacidad del proceso en semana 48.....	37

1. Introducción

Los programas de mejora continua desde hace varias décadas han venido siendo herramientas importantes que han contribuido significativamente a los procesos en las grandes organizaciones dado que el control de calidad es un factor de primera necesidad para los procesos productivos en la actualidad (Godinho Filho, 2011). A pesar de que existen diversos métodos para la aplicación de programas de mejora continua los problemas en la calidad del producto final persisten debido a que tiene cierto nivel de complejidad mantener una calidad total en los procesos, estos ocurren en las grandes organizaciones debido a las crisis financieras que pueden atravesar estas a causa de problemas en la industria a la cual pertenecen, tal es el caso de Toyota Motor Corp. que en el año 2010 se vio obligada a reducir sus costos para dar un enfoque más profundo al volumen debido a la crisis financiera global que inicio en el año 2008 y afecto a la industria automotriz ocasionando en esta empresa problemas de calidad en su productos por fallas sus diseños y procesos efectuando de esta manera llamados de revisión por apartarse en ese momento de su filosofía de calidad (Alfonso Jaime, 2015). En la empresa Mondelez Internacional planta Puebla en donde se producen gomas, caramelos y bebidas en polvo para todo el territorio mexicano y el resto de centro América el sobrepeso en la pastilla de goma de mascar ha sido un problema recurrente desde hace un par de años y desde que se logró identificar la magnitud de este problema los ingenieros de las áreas de mejora continua y Trident Slab han ejecutado estudios enfocados en la medición y análisis de los parámetros involucrados en el proceso como lo son las temperaturas y velocidades a las cuales se somete la goma durante todo el proceso para llegar a su tratamiento final o empaque, los parámetros que específicamente más contribuyen a que exista una variación en el proceso son las temperaturas que va tomando la goma en cada una de las maquinas por las cuales tiene que pasar dado que estas son las que le van dando la contextura que necesita tener la goma para llegar a sus especificaciones ideales de peso y dimensiones al final del proceso. A pesar de esto no se han tomado las medidas necesarias que van desde las modificaciones de la maquinaria hasta el cambio de cultura del personal involucrado en el proceso en cuanto a la aplicación de estándares que regulen la variación del proceso que se viene dando por la falta de estandarización en los parámetros mencionados anteriormente, es decir, que aún no se han logrado definir las temperaturas optimas y las modificaciones necesarias en las máquinas para obtener una mejora en las características de la goma que reflejen un acercamiento al peso y dimensiones que debe de tener esta al final del proceso. Tomando en cuenta lo anterior se hace conveniente replicar los métodos de medición utilizados en estudios anteriores ya que estos han permitido construir una base de datos amplia en distintos periodos de tiempo que han reflejado la consistencia del mismo problema en el proceso, pero adicional a esto se debe comenzar a aplicar métodos de mejora continua que contribuyan a generar un mejor análisis de la situación actual del proceso para tener una mayor visibilidad con respecto a este y proponer las mejoras que ayuden a reducir el sobrepeso que presenta la pastilla de Trident 6's acercándose gradualmente al peso optimo definido por el área.

1.1 Planteamiento del problema.

La variación en el sobrepeso de la pastilla de Trident 6's es la mayor dificultad que presenta el proceso de fabricación de Trident 6's en la línea modelo de Mondelez planta Puebla, este proceso debido a la variación que han venido experimentando las dimensiones de la pastilla de Trident 6's no ha mantenido constantes sus condiciones de operación y estas han sido modificadas en repetidas ocasiones por los ingenieros de procesos del área apoyados con los operadores con la intención de acercarse al peso ideal de la pastilla, estos intentos han tenido sus bases principalmente en la experiencia de los operadores en el proceso, es decir que ellos que conocen más a detalle sus máquinas y están capacitados en el manejo de las mismas pueden dar una opinión más precisa acerca de las modificaciones que pueden hacer para que el producto final tenga las dimensiones esperadas. A pesar de las modificaciones que proponen los operadores en el proceso fabricación de la goma las partes de las máquinas encargadas de dar la forma de la pastilla ya no vienen cumpliendo su función de sacar las medidas deseadas de esta ocasionando que el producto final no cumpla con las especificaciones optimas que se tienen establecidas en el área para tener un peso ideal en la pastilla que debe tener un largo de 32.26 mm, un ancho de 12.06 mm y un espesor de 3.71 mm, y por último el factor más importante que es el peso final de la pastilla que debe de ser de 1.70 g.

Este problema anualmente genera una pérdida de 240 kUSD, razón por la cual la compañía en el presente año tiene fijado como uno de sus principales objetivos de operación lograr la reducción del sobrepeso que está afectando la producción en esta área. Para cumplir con este objetivo la organización por medio del área de manufactura comenzó a desarrollar el presente proyecto de mejora continua para dar un enfoque especial al peso de la pastilla y lograr reducir este en un 4% para de esta manera llegar al peso ideal u objetivo que tiene definido el área de calidad.

1.2 Objetivos.

Teniendo en cuenta el problema descrito anteriormente se plantean los siguientes objetivos para el desarrollo del presente trabajo:

1.2.1 Objetivo general

Para tener una perspectiva global de lo que se quiere lograr en el trabajo se define el siguiente objetivo:

Reducir el sobrepeso en la pastilla de Trident 6's en Mondelez planta Puebla del 6% al 2% mediante la aplicación de la metodología DMAIC para la disminución en los costos del proceso durante el segundo semestre del 2018.

1.2.2 Objetivos específicos

En base al objetivo mencionado en el inciso anterior, se desglosan las actividades principales para lograr este y que se describen a continuación:

- Identificar los parámetros físicos críticos del proceso de fabricación de la goma mediante un diagnóstico técnico para la recolección de datos.
- Analizar los datos recolectados mediante la metodología DMAIC para la evaluación del impacto de los parámetros en el proceso de extrusión de la goma.
- Proponer las mejoras en la maquinaria involucrada en el proceso de extrusión mediante el análisis realizado con el método DMAIC para reducir el sobrepeso en la pastilla de Trident 6's.

1.3 Descripción de la compañía.

La empresa Mondelez Internacional es una multinacional de origen estadounidense dedicada a las industrias de la confitería, alimentación y bebidas la cual está compuesta de 6 marcas mundialmente conocidas adquiridas de la antigua Kraft Foods en el año 2012. Es reconocida en la actualidad por haber ocupado el tercer puesto en ventas netas durante el año 2017 entre las principales compañías de confitería en el mundo con un recaudo de 11560 mmd solo por detrás de Mars Inc y Ferrero Group. (www.statista.com, 2018)

1.3.1 Ventajas competitivas

En la actualidad la compañía Mondelez posee 6 ventajas significativamente competitivas enfocadas principalmente en el crecimiento rentable y sustentable las cuales son:

1. Tener categorías de rápido crecimiento
2. Contar con ubicaciones geográficas estratégicas de alto potencial
3. Poseer las marcas de snacks favoritas del mercado
4. Ser líderes en plataformas de innovación
5. Manejar rutas solidas en el mercado
6. Poseer talento y capacidades de clase mundial en sus recursos.

(Mondelez Internacional, México, 2018)

1.3.2 Portafolio

La empresa Mondelez Internacional cuenta con 9 principales marcas que son las que generan mayor valor a la compañía ya que por ejemplo en 2013 a partir de estas percibieron ventas anuales de hasta mil millones de dólares, estas marcas son:

- Cadbury
- Cadbury Dairy Milk
- Milka
- Nabisco

- Jacobs
- LU
- Oreo
- Tang
- Trident.

Adicional a las marcas anteriores, la compañía también cuenta con 53 marcas que generan cada una ventas anuales de más de 100 millones de dólares (Mondelez Internacional, México, 2018).

1.3.3 Metas y estrategias

La empresa Mondelez como potencia global en la industria de los snacks aprovecha sus ventajas competitivas mencionadas anteriormente para lograr dos metas fundamentales siendo la primera de estas generar un desempeño financiero del más alto nivel y la segunda y no menos importante ser un gran lugar para trabajar; para lograr alcanzar estas dos metas la empresa se basa en 5 estrategias que son:

- Liberar el poder de su gente
- Transformar el consumo de snacks
- Proteger el bienestar del planeta
- Conducir la eficiencia para impulsar el crecimiento
- Revolucionar sus ventas.

La aplicación de las herramientas anteriores tiene como objetivo principal mantener a la compañía altamente posicionada en el mercado conservando su competitividad y calidad en la industria de los snacks a nivel global.

1.3.4 Ubicación

La empresa Mondelez planta Puebla se encuentra situada en la carretera federal Puebla – Tehuacán 1031, corredor industrial la Ciénaga, Puebla, Puebla (Imagen 1).



Imagen 1. Fuente Google Maps.

2. Marco teórico

2.1 Calidad

El concepto de calidad se puede definir bajo cinco criterios principales

1. Bajo el criterio de juicio la calidad se encuentra asociada con algo que puede ser universalmente reconocible tal como una marca de muy alto nivel, logro o grado de excelencia.
2. Con base a los criterios de los productos la calidad se define en términos de alguna variable medible de un producto en particular, como por ejemplo la aceleración de un automóvil, la eficiencia de un motor o alguna característica similar.
3. Bajo el criterio del usuario el concepto de calidad se define a través de la aptitud para el uso del producto, es decir en base a los beneficios que el producto puede tener para ofrecerle al usuario.
4. Bajo el criterio de valor la calidad se encuentra vinculada al precio de adquisición del producto con respecto a su utilidad y satisfacción para el usuario
5. Con base a los criterios de fabricación la calidad se define de acuerdo al cumplimiento de las especificaciones iniciales del producto descartando o reprocesando de esta manera aquellos que no cumplan con las especificaciones iniciales (Jiang, 2015).

Tomando como base los enfoques de calidad citados anteriormente, en el presente trabajo podemos basarnos en estos para direccionar de una manera más sistemática el objetivo ya que al final lo que se busca es poder cumplir con los requerimientos del producto y generar un ahorro significativo para la compañía,

por esta razón es verdaderamente importante tener claros estos conceptos para poder guiar las actividades de la manera adecuada.

Durante el desarrollo del proyecto se van a utilizar diferentes herramientas de calidad que nos van a servir para identificar las causas de los problemas que se presentan durante el proceso y atacar estas con la acciones correspondientes así como a analizar los datos de los muestreos obtenidos durante el desarrollo del trabajo.

2.2 Variabilidad de proceso

De manera general es conveniente afirmar que la variabilidad está presente en todos los aspectos de nuestra vida suponiendo que a medida que se reduce la variación, se mejora la calidad. Pasando al contexto de la producción es evidente como las especificaciones de los productos se ajustan de acuerdo a las especificaciones de la competencia en el mercado. De esta forma es como entran a jugar un papel importante herramientas estadísticas como los gráficos de control, diagramas de causa y efecto y los análisis de capacidad del proceso para precisamente reducir la variabilidad inherente a cualquier proceso de producción (Manoj Kumar Sain, 2015).

Partiendo de la base de que la variación es inherente a cualquier proceso ya que no hay dos resultados iguales dentro del mismo, el objetivo de aplicar un método de mejora continua siempre va ser reducir esa variación presentada al mínimo posible en el que pueda operar el proceso normalmente identificando y atacando las causas principales que provocan dicha variación (Gomez, 2003).

2.2.1 Tipos de variación

La cantidad de variación en un proceso es el parámetro que nos demuestra lo que cualquier proceso es capaz de lograr y las especificaciones lo que se quiere lograr con el mismo. Antes de esto se debe comprender primero que los datos del proceso a analizar deben de seguir un orden cronológico ya bien sea por hora, diario, semanal, mensual, trimestral, anual o cualquier periodo de tiempo que considere adecuado el encargado del proceso para llevar a cabo su análisis de variación. Generalmente un proceso puede tener dos tipos de variación que puede ser debido a causas comunes o causas especiales que son las que en cierta medida provocan que un proceso llegue a ser inestable, por lo tanto se define como el objetivo de cualquier proceso identificar las causas de variación que tiene este para luego eliminarlas para darle estabilidad al mismo (Muralidharan, 2015).

2.2.1.2 Causas especiales de variación

Las causas especiales de variación o causas asignables son situaciones particulares dentro de un proceso que sitúan al mismo fuera de control y se caracterizan por existir un número pequeño de ellas pero que a la vez producen un efecto fuerte en el proceso ocasionando en este una variabilidad imprevisible, tal es el caso de un desajuste o falla en una máquina que puede de manera particular afectar el proceso e identificando esta falla como la causa principal de esta afectación o variación. Cabe resaltar que estas variaciones se pueden atacar de una manera sencilla ejecutando acciones específicas para que eviten una variación considerable en eventos futuros. (González Gaya C, 2013)

2.2.1.3 Causas comunes de variación

Las causas comunes de variación son aquellas inherentes al proceso y que generalmente se deben a situaciones que no son controlables por los operadores del proceso, por ejemplo las variaciones que pueden llegar a presentar las materias primas por las condiciones ambientales circundantes en el área de

procesamiento de cualquier producto. También en los procesos de servicio se pueden presentar este tipo de causas de variación cuando por ejemplo varían los datos de entrada de algún proceso o la variación presente en las operaciones realizadas por una computadora (Borrór, 2009).

La variación en un proceso se basa fundamentalmente en que las características finales de un producto están influenciadas por distintos factores que actúan de manera directa en el desarrollo del producto convirtiendo estos factores como parte importante del análisis de la variación de cualquier proceso. Partiendo de lo anterior es importante destacar que existen cinco principales fuentes de variación, las cuales son:

- **Hombres:** Experiencia, motivación, formación, instrucción, etc.
- **Máquinas:** Edad, calidad, estado de mantenimiento, etc.
- **Materiales:** Características dimensionales, físicas, heterogeneidad.
- **Métodos:** Efectividad, rendimiento.
- **Entorno:** Presión, temperatura, humedad, vibraciones, etc.

Para el presente proyecto se tiene claro desde el principio el estado actual de este indicador y como se ha venido comportando durante los últimos meses y años, esto con el propósito de identificar de manera más exacta los factores que más influyen en que se presente una alta variación en el proceso, por lo anterior es verdaderamente importante hacer especial énfasis en este concepto durante el desarrollo de todo el trabajo.

2.2.2 Medición de la variabilidad

Antes de definir como se mide la variabilidad en un proceso primero se debe entender que la variación es el grado en el que puede llegar a extenderse un conjunto de datos numéricos con respecto a un valor promedio determinado y la precisión es la capacidad que tiene un proceso para acercarse a ese valor objetivo o promedio (Muralidharan, 2015), es evidente que cuando un proceso posee una gran cantidad de datos estos gráficamente se pueden asemejar a una curva simétrica en forma de campana y de esta misma forma reflejar el valor promedio de una manera más sencilla tal como se ve en la figura 1 donde se muestra una gráfica de curva normales con la misma media y diferenciales diferentes.

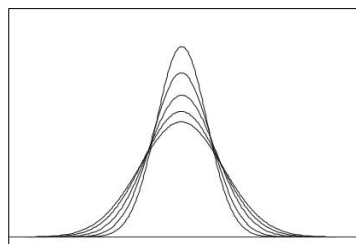


Figura 1. Gráfico de curvas normales con medias iguales y diferenciales diferentes

Teniendo en cuenta lo anterior existe una amplia cantidad de medidas para calcular la variación de un proceso como lo son el rango, la desviación media (MD), la desviación estándar (SD), el coeficiente de variación (CV), etc., las cuales se definen a continuación.

- **Rango (R):** El rango de un conjunto de valores se define como la diferencia entre los números más grandes y los más pequeños dentro de una muestra. Si X_1 y X_n son los números más pequeños y más grandes respectivamente dentro de una muestra entonces el rango de esta sería:

$$Rango = X_n - X_1 \quad (1)$$

- **Desviación media (MD):** La desviación media o promedio de un conjunto de datos $X_1, X_2, \dots, X_n$ se define como la relación de la diferencia absoluta de las observaciones de la media con respecto al número de observaciones, de la siguiente manera:

$$DM = \begin{cases} \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n}, & \text{para datos continuos} \quad (2) \\ \frac{\sum_{i=1}^n f_i |x_i - \bar{x}|}{\sum_{i=1}^n f_i}, & \text{para una distribución} \\ & \text{de frecuencia agrupada} \quad (3) \end{cases}$$

Donde $\bar{x}$ es la media aritmética de los datos.

- **Desviación estándar (SD):** Esta medida de dispersión es considerada como una de las mejores y más usadas durante el análisis de datos en un proceso, esta se define como la raíz cuadrada de la relación de la suma de los cuadrados de la media con respecto al número de datos y se denota con la letra σ , de la siguiente manera:

$$\sigma = \begin{cases} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}, & \text{para datos continuos} \quad (4) \\ \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n f_i}}, & \text{para una distribución} \\ & \text{de frecuencia agrupada} \quad (5) \end{cases}$$

- **Coefficiente de variación (CV):** Esta medida de dispersión se define como la relación existente entre la desviación estándar y la media de los datos de una muestra; el CV juega un papel importante al momento de definir la estabilidad de una muestra con respecto a otras dado que se expresa en porcentajes lo que hace que sea más fácil la comparación con otros conjuntos de datos y entre menor sea el coeficiente de variación mayor estabilidad tendrán los datos. Teniendo en cuenta lo anterior el CV lo podemos calcular de la siguiente forma:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} * 100 \quad (6)$$

(Muralidharan, 2015).

2.3 Six sigma

Seis sigma es un enfoque de gestión utilizado para lograr mejoras significativas en cualquier proceso de producción implementando principalmente el ciclo DMAIC para eliminar las fallas que se presentan en

este, poco a poco los departamentos de manufactura de las organizaciones han venido implementando esta estrategia con el fin de mejorar la productividad en sus procesos de fabricación y por ende la calidad de sus productos (Jagdeep Singh, 2014).

Durante las últimas décadas ha sido posible evidenciar como esta filosofía ha ayudado de manera significativa a las empresas en los procesos de mejora continua ya que por medio de la implementación de los métodos inmersos en esta filosofía le ha sido posible a las empresas que los aplican mejorar significativamente la capacidad de sus procesos en hasta cinco puntos porcentuales algo que verdaderamente requiere mucho trabajo y el desarrollo de muchas actividades que requieren de un control constante (Gijo, 2014).

El Seis Sigma como herramienta es el conjunto de técnicas que se utilizan para medir la tasa de defectos en un proceso lo cual es una gran ventaja de esta debido a que le permite al proceso identificar y eliminar las principales causas de estos defectos generando un ahorro representativo para cualquier organización, es conveniente destacar también que desde su introducción esta herramienta se ha logrado extender a casi todas las industrias de manera exitosa reforzando aún más el planteamiento de que es una de las filosofías de calidad más importantes que existen en la actualidad (Eom, 2015).

Para este trabajo va ser fundamental el uso de esta herramienta ya que nos va permitir conocer el estado del proceso de manera más detallada, los indicadores de capacidad del proceso y la tasa de defectos que se van a estar calculando regularmente serán esenciales en la identificación de los parámetros críticos de calidad y la acciones que se realizaran para modificar estos logrando gradualmente llegar al objetivo propuesto.

2.3.1 DMAIC

DMAIC es un enfoque compuesto de cinco pasos (Definir-Medir-Analizar-Mejorar-Controlar) que se aplica en los procesos de fabricación para reducir sus desviaciones y mejorar los niveles de capacidad. Este enfoque metodológico se puede considerar muy completo debido a que durante su desarrollo es posible aplicar diversas herramientas de calidad tales como los ACR (Análisis de causa raíz), AMEF (Análisis de modo de efecto de fallas) y demás análisis estadísticos que sirven como soporte principal del estudio de los procesos identificando las principales fallas que se presentan en estos y simplificando el planteamiento de las acciones convenientes para mejorarlos (Sharma G. , 2014).

2.3.1.1 Definir

En la parte de definir se debe de redactar un documento en el cual se indican los propósitos principales del proyecto respondiendo las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el problema en el cual se enfoca el proyecto?
2. ¿Qué resultados se desean lograr?
3. ¿Quién es el cliente afectado por el proceso y problema?
4. ¿Cuál es el proceso en el cual se está trabajando?

Al documentar estos parámetros del proyecto, el equipo encargado del proceso de mejora puede asegurarse de que su trabajo cumpla con las expectativas de la dirección general de la organización (Muralidharan, 2015).

2.3.1.2 Medir

La fase de medición debe de cumplir con cuatro objetivos principales que son vitales para el desarrollo del DMAIC. Primero que todo se debe garantizar que el proceso a estudiar este claramente definido, esto para asegurar que las herramientas a elegir en los siguientes pasos sean las adecuadas. Luego se debe de definir el medio más confiable para poder medir el proceso basado en los entregables y resultados que se esperan lograr con la aplicación del método. Seguido a esto se debe establecer un escenario base con los indicadores actuales del proceso para de esta manera poder cuantificar y verificar que los resultados de la aplicación del método hayan generado una mejora en el proceso. Finalmente se debe evaluar la confiabilidad de los datos del proceso para poder obtener conclusiones significativas con respecto a la implementación del DMAIC en este (Pyzdek T, 2010).

Las métricas utilizadas en esta fase se describen a continuación:

- Crítico para Calidad (CTQ): Describen los requisitos de calidad generales del proceso.
- Crítico para el costo (CTC): Describen el impacto del costo para el cliente.
- Crítico para el proceso (CTP): Son las variables de entrada claves en el proceso.
- Crítico para la seguridad (CTS): Describen las necesidades de los clientes con respecto a la seguridad. (Muralidharan, 2015).

2.3.1.3 Analizar

Después de haber definido el problema y medido los atributos del proceso, en la fase análisis se determinara lo que se puede hacer con respecto al problema y se comenzaran a tomar acciones para darle solución a este o lograr una mejora en el proceso en estudio. Para esto se debe establecer primero la capacidad del proceso, es decir lo que en el escenario base es capaz de realizar el proceso, que tan cerca y que tanto varía con respecto al objetivo que se tiene en este. Seguido a esto se tiene que definir un objetivo dentro del proceso y tomar las acciones necesarias que le permitan al proceso lograr este objetivo. Por último en la fase de análisis se deben identificar las fuentes específicas de variación para con estas abordar de manera adecuada el problema y conocer de antemano lo que más está afectando al proceso para poder acercarse a su objetivo (Carroll, 2013).

2.3.1.4 Mejorar

En la fase de mejora se incluyen una serie de pasos para implementar las soluciones encontradas en la fase de análisis. Primero se deben enlistar las soluciones descubiertas en la fase anterior de manera lógica basándose en la investigación realizada. Seguido a esto se realiza un consenso sobre cuál de las soluciones se debe implementar para lograr de una mejor manera el objetivo y los resultados que se buscan, para esto el DMAIC propone una serie de actividades a realizar para lograr los objetivos en cada fase pero a pesar de lo anterior el DMAIC no propone ninguna solución óptima sin antes probar que esta funcione para lo cual se debe realizar primero una prueba piloto. El objetivo principal de esta fase consiste en diseñar las soluciones adecuadas para prevenir problemas futuros durante el proceso lo cual implica el desarrollo de un plan para la implementación de estas, finalmente en esta fase se debe desplegar un plan para el resto del proyecto basado en las soluciones implementadas y de igual manera determinar el beneficio en el proceso por la aplicación de estas (Stern, 2016).

2.3.1.5 Controlar

En la fase de control el objetivo principal es mantener los beneficios logrados en la durante la fase de mejora mediante la estandarización de los métodos o procesos de trabajo desarrollados anticipando mejoras que se podrían realizar en un futuro, documentando las lecciones claves aprendidas durante el proyecto y explorando las oportunidades de transferir el conocimiento a otras operaciones del negocio. Durante esta fase se deben desarrollar los planes de control del proceso y documentar los procesos operativos estándar para mantener las mejoras logradas en el proyecto. Tomando en cuenta lo anterior la fase final del DMAIC debe contar con las siguientes salidas clave que servirán como base para estandarizar el proceso que ha sido mejorado:

- Documentación del nuevo proceso o método.
- Formación de la operación en el nuevo proceso o método.
- Sistema para el monitoreo de la solución implementada junto con las métricas específicas que se utilizaran para las auditorias del proceso. (Jiju Antony, 2016).

Este va ser el enfoque principal que va manejar el trabajo ya que por medio de este método se pueden incluir diferentes herramientas que son importantes para el mejoramiento del proceso, al ser un enfoque sistemático permitirá que el proyecto se desarrolle de una manera más organizada siguiendo los cinco pasos que propone este y poder en cada uno de estos evidenciar resultados parciales que servirán de guía para implementar correctamente las actividades propuestas logrando el objetivo planteado.

2.4.1 La metodología DMAIC Six Sigma aplicada a un proceso de montaje

En este caso de estudio abordado por Lokprika Gaikwad, Vivek Sunnapwar y Shivanand Teli, ingenieros de la Institución de Ingenieros de la India se aplicó el control estadístico de procesos acompañado del enfoque DMAIC en una planta de producción de dispositivos médicos para mejorar la tasa de rechazos en el proceso de producción de un dispositivo disector de tejidos así como la calidad de este en un periodo corto de tiempo. Para la fase de definición comenzaron con el mapeo detallado del flujo del proceso de montaje del dispositivo disector de tejidos seguido a esto definieron el problema que estaba presentando el mismo para generar una tasa de rechazos considerable llegando a que el diámetro del cuello del soporte presentaba una variación alta en la operación de ranurado, a partir de esta definición realizaron un análisis de costo de la calidad deficiente para conocer la afectación económica que había tenido la planta en los últimos seis meses a causa de este problema. En la fase de medición determinaron cual era la gran Y las X mediante las cuales se harían las mediciones y la posterior recopilación de datos, en este caso de estudio la gran Y fue el diámetro del collar que estaba presentando variación y las X fueron los parámetros del material de entrada (X1) y el proceso (X2). Para la recopilación de datos realizaron 50 mediciones del diámetro del collar identificando las ocho mejores y las ocho peores mediciones para posteriormente medir la fuente sospechosa de variación en cada una de estas; durante la fase de análisis se obtuvo que las principales fuentes de variación para el dispositivo fueron el diámetro del agujero y la longitud total del mismo tomando como base las mediciones realizadas, ya que para estos dos parámetros se presentó una variación considerable entre las mejores y las peores mediciones superando en gran medida las tolerancias especificadas. Para la fase mejora los autores se centraron principalmente en la máquina para generar un análisis 3 M (Hombre, Maquina, Método) y a partir de allí obtener una lluvia de ideas de mejora enfocadas en el área de mecanizado, junto con la lluvia de ideas realizaron también un análisis de causa y efecto que les ayudo a determinar la causa raíz del problema que corrigieron y controlaron en la fase final por medio

de la aplicación de gráficos de control y midiendo la capacidad del proceso luego de la aplicación de las mejoras propuestas. Al final del trabajo los ingenieros involucrados lograron por medio de la aplicación de las herramientas estadísticas mencionadas anteriormente una mejora en la tasa de rechazo de 0.76% a 0% posterior a la aplicación de las mejoras en las operaciones de mecanizado, adicional a esto lograron generar un ahorro de 2.67 lakhs en los costos de los críticos para la calidad (CTQs) (Gaikwad, 2017).

2.4.2 Mejora de proceso a través de Six Sigma con corrección Beta: un caso de estudio de una empresa manufacturera

En este caso de estudio desarrollado por Johny Scaria y E V Gijo se analizó la implementación de la metodología DMAIC en una empresa India fabricante de autopartes para mejorar el rendimiento en el proceso de mecanizado del émbolo, esto fue posible identificarlo ya que la empresa maneja un sistema de mapeo de flujo de proceso (VSM) para conocer de manera más específica las áreas que restringen el flujo del proceso generando cuellos de botella que resultan en el incumplimiento de los requisitos exigidos por los clientes, para este proceso de mecanizado la empresa concentro sus esfuerzos con el objetivo de mejorarlo ya que el rendimiento del proceso era del 94% es decir que para su consideración estaba siendo bajo ocasionando que se rechazaran aproximadamente 1.900 componentes por mes creando una gran pérdida para la compañía en términos de rechazos, reprocesos y retrasos en la entrega del producto generando una perdida financiera de alrededor US \$95.000 por año. Pasando a la aplicación de la metodología DMAIC lo primero que se hizo fue formar un equipo de trabajo trazando el objetivo de mejorar el rendimiento del proceso de un 94% a un 99%, para la fase de definición se tomó como base un estudio del último año en el que se demostró que el 97.3% de los rechazos en este periodo se debieron a problemas en los procesos de rectificado por tamaño de acabado y rectificado de pies, para estas dos operaciones se consideraron la forma cónica del émbolo y el grosor del pie como los parámetros críticos para la calidad definiendo posteriormente los límites de especificación para estas características los cuales resultaron ser muy estrechos convirtiendo en un desafío para la empresa mantener estos componentes dentro de esta tolerancia. Para la fase de medición tomando en cuenta lo mencionado anteriormente el equipo decidió realizar un análisis del sistema de medición (MSA) para validar el proceso de medición relacionado con los parámetros críticos identificados para lo cual definieron dos inspectores y diez componentes para realizar el estudio, posteriormente analizaron los datos por medio de Minitab para obtener los valores de repetibilidad y reproducibilidad los cuales fueron 9,71% para la forma cónica del émbolo y 4,1% para el grosor del pie, dado que estos valores fueron menores a un 10% el equipo concluyo que el sistema de medición era adecuado para una mayor recolección de datos, a partir de esto realizaron un plan de recolección de datos para posteriormente evaluar el desempeño de la línea basados en los CTQs seleccionados por medio de una prueba de normalidad que arrojó que los datos estudiados provenían de un proceso que no estaba normalmente distribuido, luego aplicando de nuevo Minitab realizaron un análisis de la capacidad del proceso para definir una línea base para estos parámetros críticos a partir de los niveles sigma calculados por el programa. En la fase de análisis el equipo contó con el apoyo del Master Black Belt (MBB) del proyecto para realizar una lluvia de ideas con el objetivo de identificar las causas raíces de la alta variación de los CTQs que estaban estudiando presentando estas por medio de diagramas de causa-efecto y separándolas en dos categorías, una donde pudieron recopilar los datos medibles del proceso y la otra por el contrario donde no fue posible recopilar datos medibles directos, posterior a esto ejecutaron un plan de validación para determinar si cada una de las causas identificadas era una causa raíz del problema que se estaba presentando, en base a este plan de validación aplicaron un análisis de regresión para las causas relacionadas con la materia prima de entrada. Partiendo del diagrama de causa y efecto el equipo de

trabajo identifico que algunas de las causas estaban relacionadas con parámetros de la maquina/proceso, razón por la cual decidieron realizar un diseño de experimentos (DOE) durante la fase de mejora para poder optimizar estos parámetros. Para la fase mejora el equipo de trabajo junto con el personal técnico del proceso identifico los parámetros críticos para desarrollar el diseño de experimentos los cuales estuvieron relacionados con el apósito y la molienda, estimaron la interacción entre algunos de los factores identificados con el objetivo de establecer la manera cómo iban a desarrollar el proceso de experimentación el cual realizaron en tres niveles, uno de los niveles relacionado con los factores seleccionados y los otros dos fueron en función a la viabilidad operativa y consideraciones de costo, es decir que el experimento fue factorial con cinco factores cada uno con tres niveles, por medio de un ANOVA y los gráficos de efectos principales lograron identificar que la combinación optima de soluciones estaba relacionada con los parámetros maquina/proceso, posteriormente el equipo de trabajo junto con las personas involucradas en el proceso evaluaron las soluciones y el riesgo que podía existir durante la aplicación de cada una de estas a través de una implementación de prueba concluyendo que en ninguna de estas existía un riesgo asociado y procedieron a elaborar un plan para la implementación de estas. Debido a que el desgaste de la pieza fue uno de los factores que no se pudo eliminar a partir de las mejoras y para el cual los operadores deben realizar ajustes en el proceso para evitar producir componentes fuera de los límites de especificación, en la fase de control el equipo estandarizo estas correcciones a través de la técnica de corrección Beta que se incorporó en el programa de mecanizado el cual cada vez que identificaba que las dimensiones de la pieza se estaban saliendo de los valores especificados realizaba una corrección en el proceso, esto último ayudo de manera significativa a reducir la variación de los componentes en el proceso obteniendo a través de una muestra posterior a la implementación de la solución 5000 ppms en un periodo de dos meses en comparación a los 51333 que arrojaron las muestras en la fase de medición. Finalmente con la implementación de este proyecto Six Sigma el equipo de trabajo realizo un análisis costo-beneficio 6 meses después de mantener los resultados de las mejoras estimando un ahorro anualizado de US \$87.000 en reducción del costo de reparación, desecho y herramientas, adicional a esto lograron generar una mayor confianza en la personas para la implementación de este tipo de proyectos con la metodología Six Sigma en el futuro (Scaria, 2013).

2.4.3 Un enfoque DMAIC para mejorar la capacidad del proceso de fabricación del cigüeñal de un motor

El siguiente trabajo abordado por S. Sharma y P. Srinivasa se aplicó el método DMAIC en el proceso de fabricación del cigüeñal de un motor específicamente para estudiar la variación que se estaba presentando en la operación de taladrado en uno de los orificios extremos de esta pieza. En la fase inicial de la implementación de la metodología, el equipo comenzó definiendo los objetivos y beneficios que se esperaban con el desarrollo del trabajo, de allí pasaron a realizar un mapeo del proceso de fabricación para definir la característica critica de calidad (CTQ) en base a la cual se estaría desarrollando el estudio, en esta etapa definieron el diámetro del orificio extremo del cigüeñal como el CTQ debido a que una variación en esta característica podía afectar de manera significativa el proceso; durante la fase siguiente o fase de medición realizaron la recopilación de datos de la característica critica de calidad monitoreando el proceso durante 12 semanas por medio de 3 iteraciones las cuales abarcaron un periodo de cuatro semanas cada una recopilando aproximadamente 900 datos de la pieza en estudio; pasando a la fase a análisis el equipo de trabajo realizó cálculos para determinar la capacidad del proceso y la capacidad de desempeño del proceso C_p y C_{pk} respectivamente, para el análisis causa raíz aplicaron herramientas de control de calidad como el

diagrama de causa – efecto mediante el cual identificaron las principales causas del mal desempeño de la operación de mecanizado, en la priorización de las acciones correctivas les fue útil el análisis de modo y efecto de falla (FMEA) y siguieron con aplicación de un ANOVA para probar las diferencias existentes entre las tres iteraciones realizadas con los datos recopilados para llegar a las mejoras de las capacidades del proceso. Ya en la fase de control utilizaron graficas de control X – R para de esta manera poder monitorear las capacidades mejoradas del proceso teniendo una visión del comportamiento de este comprobando que sigue siendo capaz y previniendo las desviaciones el mismo. Finalmente luego de la aplicación de la metodología DMAIC y observando que el proceso se encontraba bajo control, el equipo de trabajo pudo llegar a la conclusión que bajo el desarrollo de este método el proceso mejoró su capacidad potencial (C_p) de 1.29 a 2.02 al igual que su capacidad de rendimiento del proceso (C_{pk}) de 0.32 a 1.45 y de esta manera afirmar que el emplear el Six Sigma en este tipo de trabajos aporta mejoras significativas al proceso (Sharma G. V., 2014).

2.4.4 Mejora de la capacidad del proceso a través de DMAIC para el mecanizado de llantas de aleación de aluminio

En este estudio desarrollado por Srinivasa Rao y Surendra Babu se aplicó el método DMAIC para mejorar los índices de capacidad del proceso en el proceso de mecanizado de ruedas de aleación de aluminio A356, para la implementación de la metodología los autores comenzaron con una breve descripción del proceso con el objetivo de tener una idea acerca de lo que posteriormente se iba a estar mejorando con el desarrollo de esta metodología; la fase de definición se centró en el proceso de mecanizado CNC ya que en este es donde las ruedas se mecanizan para obtener dimensiones precisas especificadas en los planos de mecanizado, en esta fase definieron la carta del proyecto en donde describieron los objetivos y resultados esperados con la implementación de este, posterior a esto identificaron las características críticas de calidad del proceso deduciendo como la de mayor importancia el diámetro del orificio central de la rueda dado que esta forma la dimensión de ubicación básica para otras operaciones de mecanizado. Durante la fase de medición recabaron los datos del CTQ más relevante para conocer el estado inicial del proceso en base al cual se estarían aplicando las mejoras en las siguientes etapas del proceso, estimaron primero un tamaño de muestra y recopilaron muestras de 800 componentes para realizar los cálculos de los índices de capacidad del proceso definiendo el alcance que podían tener con la implementación de las acciones de mejora. La fase de análisis comprendió el seguimiento de las causas del rendimiento deficiente del proceso por medio de un diagrama de Ishikawa al igual que estimaron los modos de falla potencial del proceso a través del análisis de defectos y modos de falla (PFMEA), este último les ayudo a priorizar las acciones correctivas generadas en el diagrama de Ishikawa y por ultimo clasificaron la gravedad de los efectos de estas acciones a través del número de prioridad de riesgo (RPN). Durante la fase de mejora el equipo de trabajo en base a la matriz causal dedujo que el 73% de la variabilidad se debía a la inserción incorrecta de una de las herramientas de configuración, imprecisiones en el cambio de configuración y paradas indebidas de la máquina, en base a este dato realizaron una modificación en la operación de perforado para compensar el desgaste que estaba provocando la alta variabilidad y posteriormente evaluaron los índices de capacidad de proceso después de las mejoras aplicadas. Finalmente luego de registro de las mejoras en la fase anterior mantuvieron los índices de capacidad mejorados en los niveles deseados por el equipo a través de gráficos de control los cuales también utilizaron para seguir monitoreando el proceso y así evitar una desviación como la que se estaba presentando anteriormente. A partir de las mejoras y herramientas para el monitoreo del proceso aplicadas pudieron concluir que con la implementación del método DMAIC lograron aumentar

las capacidades del proceso Cp, Cpk y Cpm de 0.66, -0.24 y 0.27 a un valor final de 4.19, 3.24 y 1.41 respectivamente cumpliendo así con los objetivos planteados al inicio del trabajo (P. Srinivasa Rao, 2017).

3. Caso de estudio

3.1 Metodología

Como parte de la aplicación de la metodología en el presente estudio y como también se presentó en el punto anterior fue necesario estructurar paso por paso lo que se realizó en el proyecto empezando por definir de manera general los aspectos más importantes del proyecto pasando luego a detallar la justificación de todo el proceso realizado para llegar al objetivo propuesto.

3.1.1 Definir

En la parte de definición se emplearon diversas herramientas que nos permitieron tener una visión más amplia del proceso con el objetivo establecer la manera como se iba abordar el proyecto incluyendo las personas involucradas y las partes del proceso que nos interesaban analizar para atacar el problema del sobrepeso.

Las herramientas utilizadas se mencionan a continuación:

3.1.1.1 Project Charter

En la primera herramienta que es el Project Charter se describe de manera general el proyecto, rescatando lo más importante de este tal como lo es el problema con su respectivo objetivo asociado, los recursos del proyecto y sus fechas objetivo donde se definen los días en los que cada fase del proyecto debió de estar concluida.

Un mayor detalle de esta herramienta se puede apreciar en el anexo 1 del presente documento.

3.1.1.2 Project Scope

Posterior a la definición de los principales puntos del proyecto se pasó a determinar los alcances de este con respecto al proceso de fabricación y demás actividades desarrolladas por el área donde se aplicó el estudio además de proyectos o intervenciones por parte de otras áreas que de alguna manera podrían afectar el desarrollo o posterior replicación de la metodología utilizada.

Los diferentes alcances del proyecto así como los eventos que se encuentran por fuera el alcance de este se pueden observar en el diagrama incluido en el anexo 2 del documento.

3.1.1.3 SIPOC

El diagrama SIPOC por sus siglas en ingles que significa proveedor (Supplier), Entradas (Inputs), paso del proceso (Process-Step), Salidas (Outputs) y por ultimo consumidores (Customers) representa las partes más importantes dentro del proceso analizado dándoles un esquema para un mayor entendimiento de la secuencia que lleva el proceso y las principales operaciones que se realizan durante este como lo son las maquinas involucradas y los insumos implícitos en la fabricación de la goma concluyendo con los clientes que reciben el producto final para su posterior distribución dentro de la planta.

El diagrama mencionado se encuentra añadido en el anexo 3 del presente documento.

3.1.1.4 Voz del consumidor y Voz del proceso (VOC y VOP)

Dentro de cualquier proceso de fabricación hay una parte muy importante que es en la cual se definen las necesidades del consumidor final y las necesidades del proceso como tal para cumplir con lo que pide o espera el consumidor a lo cual se le llama voz del consumidor y voz del proceso respectivamente, para el presente proyecto se identificaron los requerimientos principales del cliente y las variables de calidad involucradas para el cumplimiento de estos a través de un análisis detallado del proceso en el cual apoyados por los ingenieros de calidad se definieron a las dimensiones de la tableta como características críticas del proceso ya que estas son las que más pueden afectar al cliente en cuanto a lo que espera este del producto basado en la información declarada en el empaque, paralelo a esto se determinaron los parámetros del proceso que tienen más relación para la evaluación de las variables que definen las exigencias del consumidor ya en este caso basados en las condiciones que debe de tener la maquinaria para producir la pastilla con las dimensiones específicas que llevan al cumplimiento del peso esperado de la misma.

Estos parámetros así como la descripción de los requerimientos y principales problemas que enfrenta el consumidor se ven reflejados en el anexo 4 del documento.

3.1.1.5 Mejores Prácticas – Análisis de Riesgos

En esta herramienta de manera particular se mencionan las bases de las cuales se apoyó el proyecto para su desarrollo, es decir el área de la compañía que facilitó los recursos técnicos necesarios para ejecutarlo siguiendo el esquema establecido por la metodología DMAIC. Además de estos se identificaron los riesgos presentes en el proyecto con base a los recursos financieros y proyectos alternos que pudieron haber afectado la implementación de las mejoras propuestas mediante la metodología DMAIC.

El detalle de lo mencionado en el párrafo anterior se puede apreciar a continuación en la Tabla 1 correspondiente al análisis de riesgos:

MEJORES PRACTICAS	RESULTADOS
Nos basaremos en el proceso de trabajo estándar del pilar de mejora enfocada para llevar a cabo el proyecto	Con base en esto se llevaran a cabo proyectos con el árbol de perdidas como el 12 pasos Kaizen
ANALISIS DE RIESGOS	COMENTARIOS
- Que no se tenga la inversión para las mejoras propuestas - Cambio de fórmulas de las gomas durante el proyecto	Área de proyectos, ingeniería o investigación y desarrollo pueden intervenir en el área modificando partes del proceso que puedan afectar la implementación de las mejoras propuestas para el proyecto DMAIC

Tabla 1. Análisis de riesgos

3.1.1.6 Estimación del beneficio

En esta parte se definieron los indicadores de desempeño claves del proceso que nos permitirían conocer de manera más sencilla los beneficios que traería la aplicación de la metodología DMAIC en este y fijando el periodo en el cual se medirían estos indicadores con el propósito de monitorearlos para conocer el avance que se estaba teniendo con la aplicación de la metodología propuesta, todo lo anterior validado por la controladora quien es la persona encargada de manejar los recursos financieros del área y por ende quien evaluaba la rentabilidad real que se estaba teniendo mediante la implementación del DMAIC.

Los indicadores mencionados anteriormente así como su detalle de periodo y medición del beneficio se encuentran puntualizados en el anexo 5 del documento.

3.1.2 Medir

En la etapa de medición se evaluó la relación existente entre las variables del proceso con las partes de este por medio de una matriz de relaciones para determinar las variables que más podían afectar el proceso, con esta herramienta se analizaron las variables identificadas en la fase de definición las cuales estaban relacionadas con las características del producto final y sus cambios durante el proceso de producción con respecto a la maquinaria involucrada en el proceso, esto con el objetivo de determinar las etapas críticas del proceso en las cuales se podía enfocar más el estudio. Allí se logró establecer que las primeras etapas del proceso, es decir, en las que la pastilla iba tomando forma a través de las temperaturas de la goma y las condiciones de las máquinas, eran las más críticas debido a la fuerte relación que tenían estas con las dimensiones o características finales del producto. Seguido a esto se recolectaron datos de los pesos de la pastilla y se analizaron estos por medio de un estudio de repetibilidad y reproducibilidad para determinar su confiabilidad y las acciones que se debían tomar para obtener datos más confiables en el futuro. Finalmente se estableció la capacidad actual del proceso a partir de los datos recolectados para conocer como era el comportamiento de este en el momento en el que se recolectaron los datos y en semanas anteriores con el fin de tener una base para analizar los datos y tomar acciones para las etapas siguientes.

Las herramientas y métodos utilizados durante esta fase se describen a continuación:

3.1.2.1 Matriz de relaciones

En la matriz de relaciones se colocaron tanto las variables críticas de calidad como las variables críticas del proceso para evaluar el vínculo de estas con cada una de las etapas del proceso clasificándolo entre fuerte, promedio y débil. Este análisis dio como resultado que tanto las variables críticas de calidad como las de proceso tuvieron una relación fuerte con el extruder dado que este es el que le da la forma a la tira de goma en cuanto a su espesor y ancho siendo estas dos características de calidad determinantes en el peso final de la pastilla, con respecto a las características críticas del proceso, la velocidad (RPM) del extruder, la temperatura de la goma al entrar al pre extruder (°C) y la temperatura de la goma a la salida del túnel de enfriamiento (°C) fueron las que tuvieron una relación fuerte con el extruder en la matriz. La realización de esta matriz fue de gran ayuda ya que a partir de esta se tuvo un panorama más detallado acerca de lo que estaba afectando en mayor grado al proceso y de esta manera abordar de una forma más acorde las siguientes fases de la metodología.

El detalle de la matriz de relaciones mencionada se puede encontrar en el anexo 6 del presente documento.

3.1.2.2 Elección del tamaño de muestra

En esta importante fase del proyecto fue necesario primero evaluar el número de datos que debíamos considerar representativos para realizar un posterior análisis, es por esto que para soportar el tamaño de muestra utilizado nos basamos en el teorema del límite central que tal como lo menciona Salkind (1999) sea cual sea la forma de la distribución de la población, las medias de todas las muestras seleccionadas de una población tendrán una distribución normal. Teniendo en cuenta lo anterior si escogemos varias muestras de 30 o más observaciones del peso de la pastilla y cada una de estas pertenece a la misma población o lote de producción, todas estas medias tendrán una distribución normal; es por esto que en la recolección de datos consideramos muestras de más de 30 datos para que estas fueran representativas para los análisis posteriores que se hicieron del proceso en estudiado ya que de lo contrario debíamos aplicar otro tipo de estadística y por ende cambiar drásticamente el método de análisis.

3.1.2.3 Estudio de reproducibilidad y repetibilidad (R&R)

Con el propósito de evaluar la calidad de los datos que se recolectaron, se aplicó un estudio de reproducibilidad y repetibilidad el cual consistió en colocar a dos operadores diferentes en este caso a medir el peso de 6 tabletas de Trident 6's con una balanza Scout Pro SP601 replicando este procedimiento 4 veces; para este tipo de mediciones a pesar de que se recomienda medir 10 o más piezas varias veces por los operadores asignados (Pulido, 2009), en esta prueba no fue posible ya que cada paquete del producto trae 6 tabletas por lo cual fue conveniente medir esta cantidad debido a la cantidad de piezas que en esta ocasión tenía cada muestra. Teniendo en cuenta lo anterior en total se midieron 48 piezas, 24 por cada operador, arrojando los siguientes resultados para el respectivo análisis de reproducibilidad y repetibilidad:

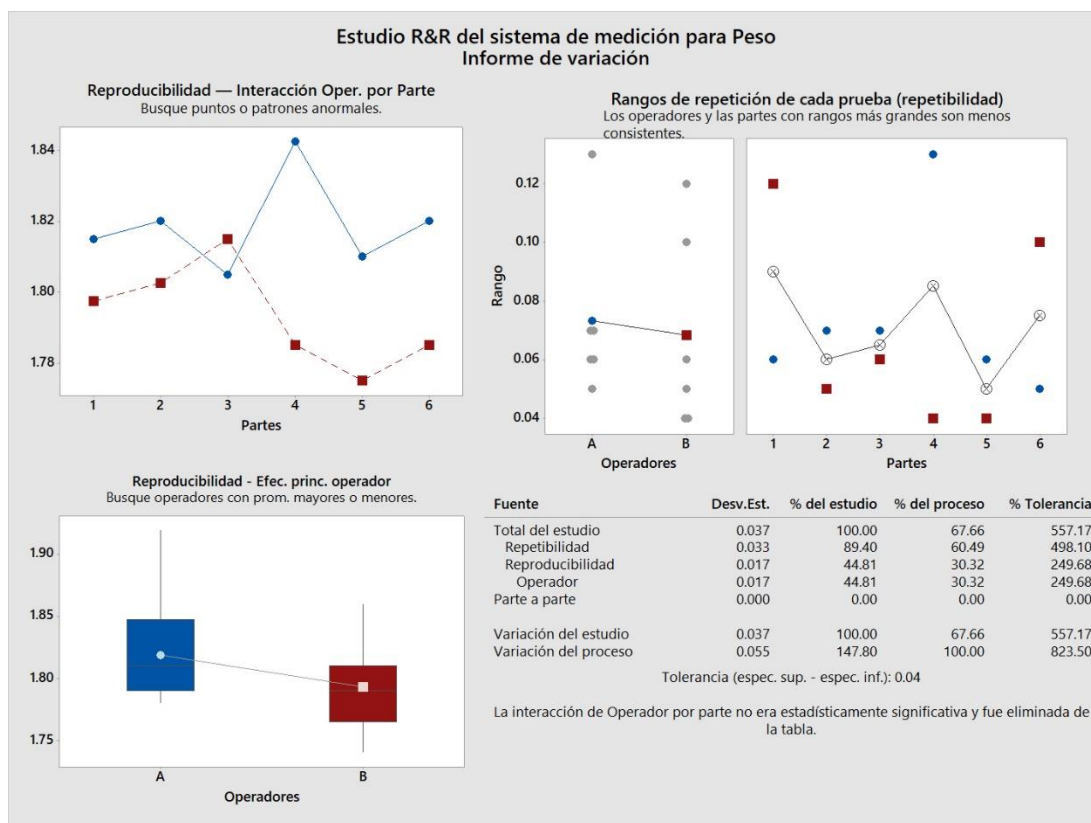


Figura 2. Análisis de reproducibilidad y repetibilidad

Como es posible observar en el análisis grafico de reproducibilidad y repetibilidad mostrado en la Figura 2, el operador B es quien presento más consistencia en sus mediciones tal como se muestra en la gráfica de reproducibilidad de la interacción del operador por cada parte medida, en esta gráfica se puede ver como el análisis de medición en el operador A (línea azul) arrojó una mayor variabilidad en sus mediciones debido a los patrones anormales que presenta la gráfica. De manera general y a modo de resumir las gráficas, el porcentaje de repetibilidad resulto ser mayor en el estudio con respecto al porcentaje de reproducibilidad estos dos con base a la desviación total del estudio. Teniendo en cuenta al análisis expuesto en la Figura 2 se hizo conveniente capacitar a los operadores encargados de realizar las mediciones a modo que para mediciones futuras los experimentos pudieran arrojar un indicador de reproducibilidad más alto para obtener datos más confiables en los estudios.

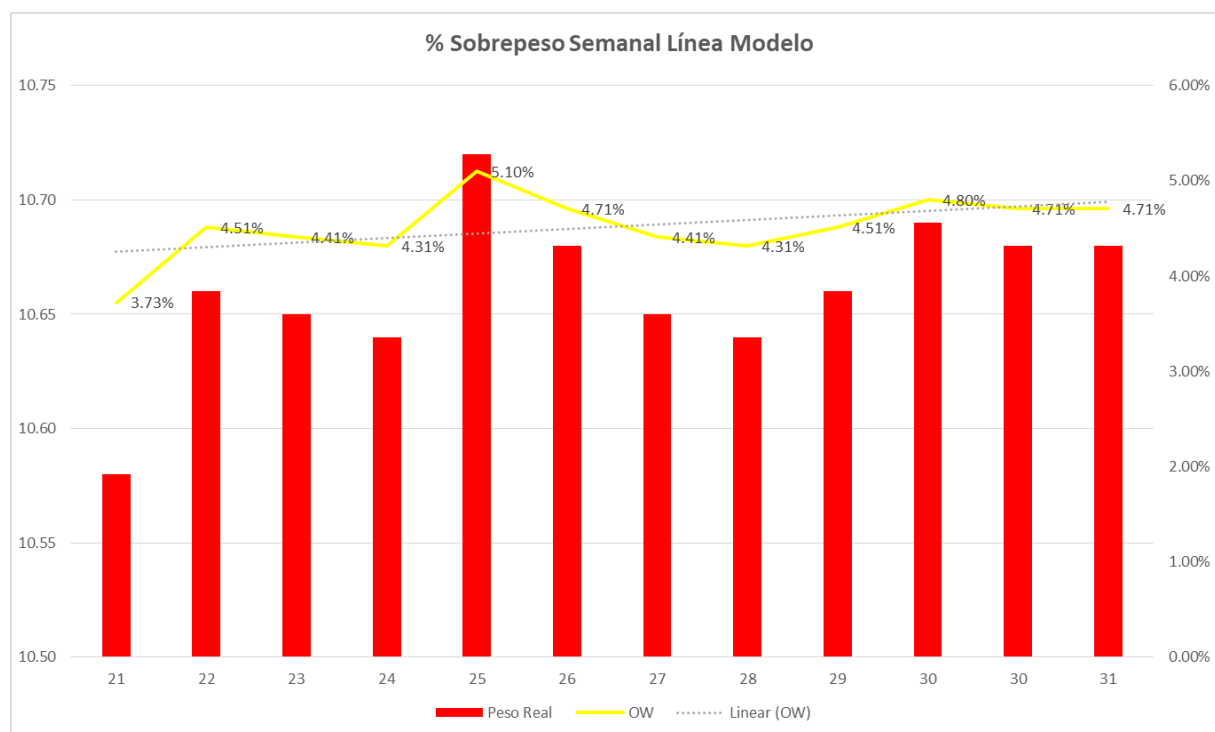
Para las mediciones realizadas por los dos operadores se utilizó un Vernier digital marca Absolute de 150 mm para la medición de las dimensiones de las tabletas y para la medición de los pesos de estas se utilizó una balanza marca Scout Pro SP601.



Imagen 1. Vernier digital Absolute 150 mm



Imagen 2. Balanza Scout Pro SP601



Gráfica 1. Porcentaje de sobrepeso entre Mayo y Agosto del año 2018

En la Gráfica 1 se muestra el comportamiento que tuvo el sobrepeso en la pastilla de Trident 6's durante los meses de Mayo y Agosto tomando como base el detalle semana a semana en el lapso de estos meses donde se presentó mayor porcentaje de sobrepeso, se puede observar como en el mes de Junio más específicamente en la semana 25 el sobrepeso alcanzo un porcentaje de 5.10 % siendo el más alto durante el periodo en el que se midieron y analizaron las variables del proceso y donde se definieron las más críticas de este y a partir de las cuales se definieron las metas y métodos de estudio para reducir el sobrepeso en el área de Trident Slab.

3.1.3 Analizar

En la etapa de análisis se identificaron las principales causas que estaban ocasionando el sobrepeso en la pastilla de Trident, este análisis se hizo de manera más específica primero describiendo cada una de las partes del proceso de fabricación de la goma a modo de comprender cuales eran las etapas del proceso que estaban afectando en mayor medida el producto final, seguido a esto se desarrolló un análisis de causa raíz que nos permitió establecer las principales causas que estaban afectando el proceso con respecto a diversos factores como lo son la maquinaria, la mano de obra, el método de operación, factores ambientales y métodos de medición para luego proponer las acciones correspondientes para contrarrestar el problema del sobrepeso y reducirlo de a poco. Finalmente se realizó un análisis de regresión con el objetivo de obtener las medidas óptimas de la pastilla que conllevarían a reducir el sobrepeso que estaba presentando esta y así mismo las modificaciones que se debían aplicar a las máquinas para que pudieran procesar la goma con las características establecidas.

3.1.3.1 Descripción del proceso

Previo a analizar las causas principales que generan sobrepeso en la pastilla de Trident 6's es importante primero saber cuáles son los pasos del proceso y las etapas por las que debe pasar para llegar al producto terminado. Estas etapas se presentan a continuación:

El proceso en estudio consta de siete etapas en las cuales es posible ir observando cómo se va formando la goma hasta llegar al producto final que es empacado y enviado al centro de distribución ubicado dentro de la misma planta. El proceso se comienza introduciendo la goma base en el tanque de fundido en donde esta va tomando forma y se va expandiendo para generar una especie de masa que es la que se interviene durante las distintas fases del proceso hasta llegar la pastilla o producto terminado, en esta primera etapa el tanque debe de estar a una temperatura de aproximadamente 83 °C para tener la consistencia optima necesaria para el resto de etapas. Después la goma debe pasarse al tanque de almacenamiento en donde debe permanecer un tiempo determinado de reposo con el objetivo de que tome una consistencia un poco más rígida y ser procesada con más facilidad, en este tanque la goma debe conservar aproximadamente la misma temperatura con la que salió del tanque de fundido, es decir 83°C. Saliendo del tanque de almacenamiento debe de pasar al mezclador de goma en donde entra con una temperatura aproximada de 90 °C, en esta parte se procesa la goma a fin de que sus componentes se estabilicen y tomen esta de a poco la consistencia esperada. Luego cuando la goma sale del mezclador esta tiene una temperatura aproximada de 43 °C de allí pasa al pre extruder y posteriormente al extruder en donde esta se va moldeando para formar la tira que pasa por el túnel de enfriamiento que le da un tratamiento especial a la goma para que esta tenga el estado ideal para ser empacada sin ningún inconveniente o defecto que genere un rechazo en la fase de control del producto y este sea rechazado antes del envío al centro de distribución. Posterior al paso de la tira de goma por el túnel de enfriamiento, esta es dirigida a la maquina encargada de realizar el corte de dicha tira en las pastillas que son empacadas y agrupadas en módulos que van direccionados al centro de distribución interno.

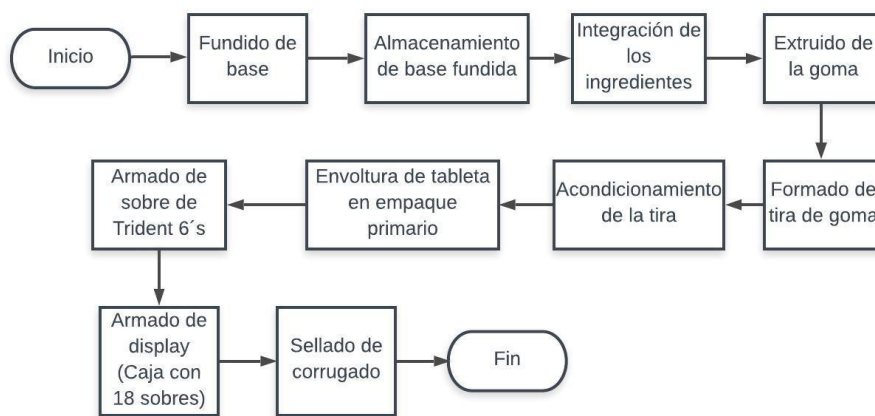


Figura 4. Descripción del proceso de fabricación

3.1.3.2 Análisis de Causa Raíz

Por medio de esta herramienta se relacionó el problema que se estaba analizando con las principales causas que lo estaban generando para de esta manera poder llegar a ser más específicos con las acciones a tomar para contrarrestar el problema y no llegar a soluciones generales que pudieran dejar de lado estas causas y

no resolver el problema de la forma en que se deseaba. El diagrama mediante el cual se realizó este análisis cualitativo se presenta a continuación:

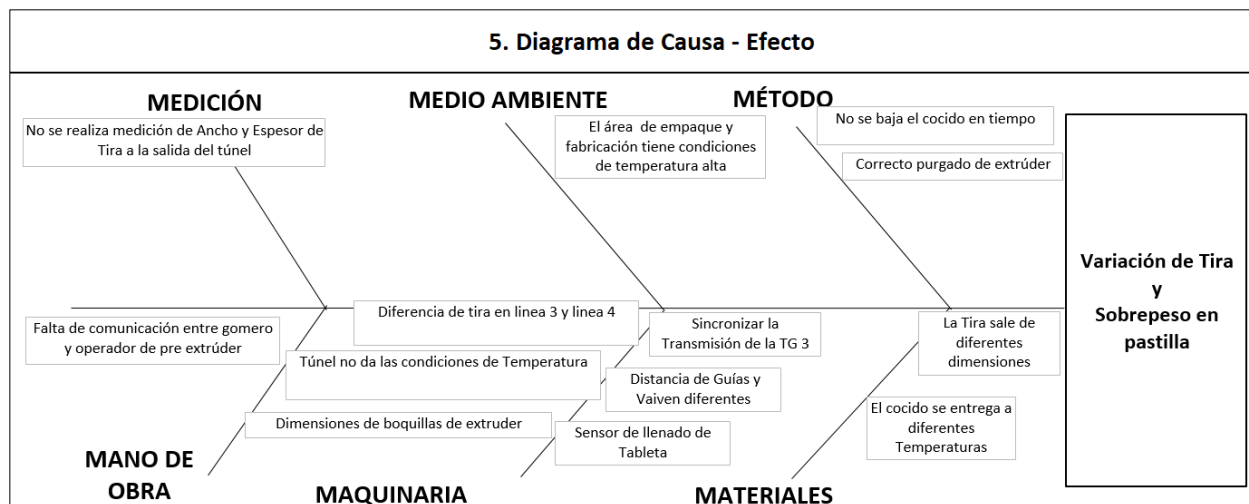


Figura 5. Diagrama de Causa - Efecto

En el diagrama de causa – efecto se evaluaron los factores principales que generaban las causas del problema, estos de acuerdo a lo planteado por Pulido (2009) debe incluir como fuentes la mano de obra, los materiales, la maquinaria y el método utilizado, adicional a estos cuatro factores consideramos conveniente agregar el factor de medición y de medio ambiente dado que en este caso eran también fuentes importantes que afectaban en alguna medida el proceso y se presentara sobrepeso en el producto estudiado.

Este diagrama fue elaborado tomando como base y principal causa la variación que estaba presentando la tira de goma durante el proceso resultando en el sobrepeso de la pastilla que era el problema que se debía atacar, en base a esta causa se fueron desglosando diversos factores que contribuían al problema con el objetivo de abordar más a detalle este y establecer las mejoras adecuadas. Para el análisis de estos factores se abordaron aspectos relacionados con la medición, en esta parte se identificó que no se estaba realizando un control de las dimensiones a la salida del túnel de enfriamiento lo cual representaba un riesgo por la cantidad de pastillas que podían resultar fuera de especificación al final del proceso, con respecto a los factores medio ambientales fue posible evidenciar que el área presentaba condiciones de alta temperatura en algunas zonas lo que podía estar afectando la composición de la goma durante el proceso, con base al método se identificó que algunas actividades los operadores no las estaban realizando en tiempo y forma lo cual afectaba el resto del proceso si eran actividades de inicio del mismo, pasando directamente a las rutinas operacionales se pudo observar que existía falta de comunicación entre los operadores involucrados en las actividades iniciales del proceso antes del formado de la tira de goma lo cual podía estar afectando también la composición de la goma y sus condiciones, a pesar de lo anterior y como se muestra en el diagrama es evidente como el factor que aporta más causas para que se de sobrepeso es la maquinaria ya que esta no presentaba las condiciones adecuadas para fabricar una tableta que cumpliera con las especificaciones de calidad exigidas como el peso declarado en el empaque del producto final. Posterior a la identificación de estas causas se filtraron las que más afectaban el proceso para a partir de allí realizar un análisis más profundo de estas causas seleccionadas para proponer el conjunto de acciones correctivas y preventivas a tomar para enfrentar el problema y resolver el mismo, para este análisis participaron el ingeniero de calidad y procesos del área involucrada así como el ingeniero de mejora continua, operadores de la línea, personal

de mantenimiento del área y un ingeniero del área de proyectos quien estuvo documentando los detalles del trabajo. Finalmente las observaciones y mejoras propuestas en el diagrama se pudieron aplicar parcialmente en la fase de mejora que se abordará más adelante. El detalle de las acciones tomadas así como las causas filtradas para el análisis profundo de estas se puede encontrar en el anexo 7 del presente documento.

3.1.3.3 Análisis de regresión

De manera cuantitativa se realizó un análisis de regresión con las medidas obtenidas de ancho y espesor de la tira de goma con el propósito de definir que dimensiones serían las óptimas para reducir el sobrepeso, esto fue necesario principalmente para definir las medidas que debían de tener las boquillas del extruder para conseguir las dimensiones deseadas de la tira de goma a la salida de esta máquina. Para el respectivo análisis se tomaron como datos de entrada los correspondientes a las operaciones iniciales del proceso, es decir, las temperaturas de la goma en los tanques de almacenamiento, la temperatura final del cocido de goma en los mezcladores, las temperaturas de entrada y salida de la goma en el pre extruder y extruder así como las velocidades manejadas en las bandas del túnel de enfriamiento, pasando a la parte de desarrollo del análisis las variables independientes para realizar este fueron las relacionadas con las dimensiones de la pastilla como lo son el largo, ancho y espesor de esta y como variable dependiente se tomó el ancho de tira de goma considerando esta como la variable más crítica que podría estar afectando el peso final de la pastilla y contribuyendo a seguir generando un sobrepeso en esta. Para este caso se realizó un análisis de regresión múltiple dado que para analizar el ancho de tira de la goma se recurrió a más de una variable independiente tal como se mencionó anteriormente (Rial B. Antonio, 2008). El análisis de regresión múltiple se presenta en las Figuras 6 y 7:

	Parámetro
Tanque de Almacenamiento	Temperatura (°C) Tanque de almacenamiento
Mezclador de Goma	Temperatura de goma base a la caída al mezclador (°C)
	Temperatura (°C) Coraza Mezclador
	Temperatura (°C) Aspas Mezclador
	Temperatura final de cocido (°C)
Pre Extruder	Velocidad (RPM) Pre- extruder
	Temperatura de cuerpo °C
	Temperatura Boquilla °C
	Temperatura de goma a la salida de Pre extruder
Extruder	Velocidad de banda (Hetz) Pre-Extruder
	Velocidad (RPM) Extruder
	T (°C) Cuerpo Extruder
Tunel	T (°C) Boquilla / nariz Extruder
	Temperatura (°C) Tunel
	Humedad %HR
	Velocidad - Banda 1 (m/min) Tunel
	Velocidad - Banda 2 (m/min) Tunel
	Velocidad - Banda 3 (m/min) Tunel
	Velocidad - Banda 4 (m/min) Tunel
	Velocidad - Banda 5 (m/min) Tunel
	Velocidad - Banda 6 (m/min) Tunel
	Velocidad - Banda 7 (m/min) Tunel
	Temperatura de goma a la salida de tunel (°C) L3
	Espesor de tira (mm) L3
	Ancho de tira (mm) L3
	Temperatura de goma a la salida de tunel (°C) L4
	Espesor de tira (mm) L4
	Ancho de tira (mm) L4

Tabla 2. Variables de entrada

Regresión tres variables						Tableta (pronosticada)			Tableta (actual)			Tira (pronosticada)		Tira (actual)			Boquilla (propuesta)	
Sabor	Línea	Peso deseado	Peso actual	%Sobrepeso	Stdv.	Largo	Ancho	Espesor	Largo	Ancho	Espesor	Ancho	Espesor	Ancho	Espesor		Ancho	Espesor
Menta	L3	1.7	1.8043	6.135%	0.0524	30.34	12.01	3.92	31.188	12.611	3.9816	11.95	4.02	12.4342	4.3688	L3	12.97	3.86
	L4	1.7	1.7785	4.618%	0.0484	31.51	11.54	3.83	32.27	12.003	3.9756	12.07	4.48	12.403	4.525	L4	13.14	4.16

Tabla 3. Dimensiones de tableta y tira para análisis de regresión

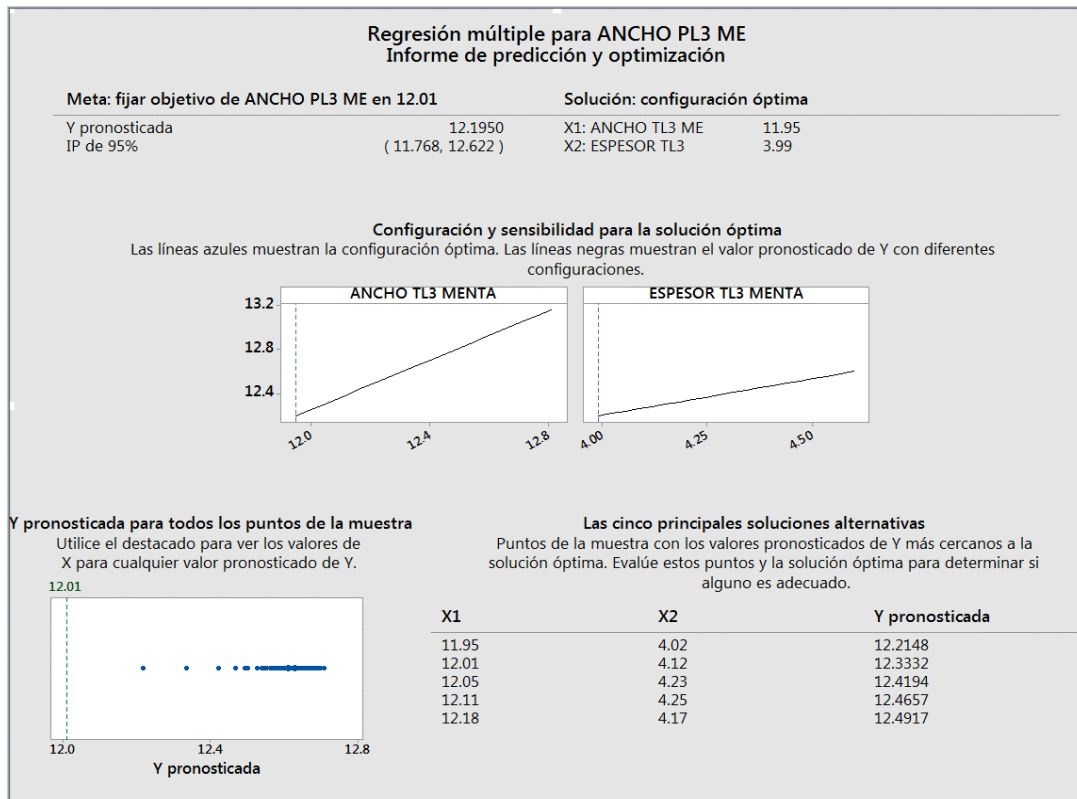


Figura 6. Análisis de regresión múltiple L3

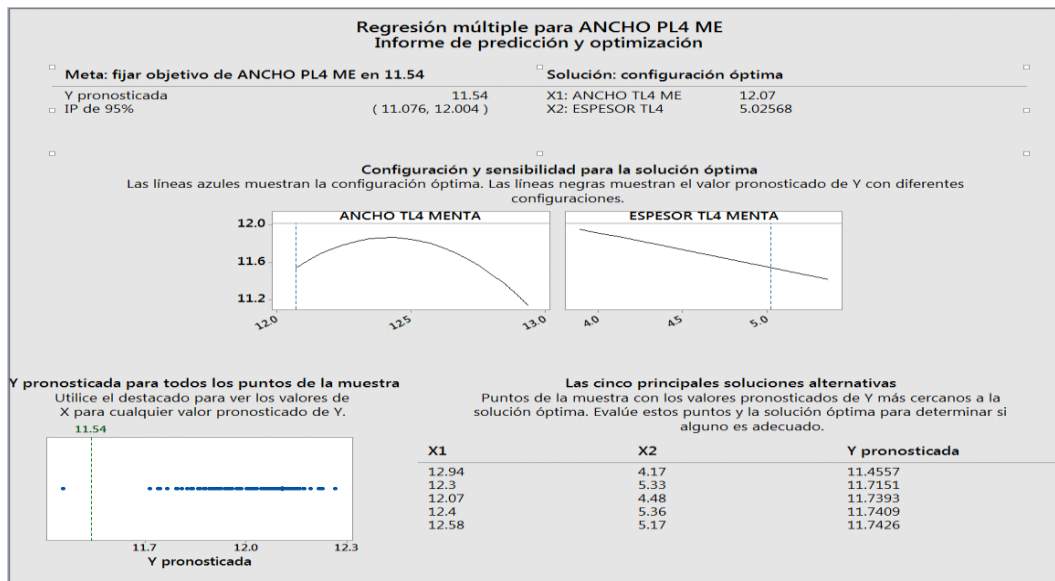


Figura 7. Análisis de regresión múltiple L4

Para este análisis nos basamos en las mediciones realizadas de las dimensiones de la tableta al final de la línea y de la tira a la salida del túnel de enfriamiento para determinar las dimensiones de las boquillas para la línea 3 como para línea 4 del área de Trident Slab, en las gráficas se puede observar los valores que va arrojando el análisis para el ancho y el espesor de la tira con respecto a varias configuraciones para al final

mostrar las mejores configuraciones entre las cuales escogimos como mejor opción para proponer las nuevas boquillas la que más se acercaba a los valores óptimos que se definieron en un principio, posterior a la elección de la mejor opción en el análisis se calculó un punto medio entre las dimensiones pronosticadas arrojadas por el análisis de regresión y las dimensiones actuales de la tira y boquillas del extruder para finalmente definir las dimensiones con las que se debían de fabricar las nuevas boquillas del extruder.

3.1.4 Mejorar

La etapa de mejora tiene como principal objetivo implementar las propuestas o acciones resultantes en la fase de análisis por medio de las herramientas utilizadas en esta etapa, las acciones mencionadas fueron el cálculo y fabricación de nuevas boquillas para el extruder que permitieran modificar la tira de goma con el objetivo de acercarse a las dimensiones para la reducción del peso en la pastilla, instalación de sensores para la medición del ancho y espesor de la tira a la salida del túnel de enfriamiento para tener un monitoreo constante de estas dimensiones y finalmente la evaluación de las dimensiones de tira y tableta para determinar límites de control posterior a la ejecución de las acciones. Tal como lo mencionan Pyzdek y Keller (2010) se deben de priorizar las acciones que ataquen el problema de una manera más óptima, es decir aquellas acciones que más contribuyan en este caso a reducir el sobrepeso en un mayor grado. En esta ocasión se priorizaron las acciones propuestas para contrarrestar las causas que generaban sobrepeso por parte de la maquinaria involucrada en el proceso de fabricación, para esto nos basamos en el análisis de regresión realizado en la fase anterior fabricando nuevas boquillas para el extruder de la línea de fabricación de Trident.

Boquillas Actuales				Nuevas Boquillas			
Linea 3		Linea 4		Linea 3		Linea 4	
Ancho	Espesor	Ancho	Espesor	Ancho	Espesor	Ancho	Espesor
14.42	4.80	14.42	4.74	13.06	4.06	13.29	4.03
14.41	4.76	14.42	4.75	13.05	4.03	13.51	4.11
14.41	4.77	14.42	4.78	13.00	4.03	13.52	4.09
14.42	4.80	14.43	4.81	13.05	4.04	13.53	4.09
14.42	4.81	14.41	4.82	13.09	4.08	13.33	3.97
				13.06	4.05	13.33	4.09
14.42	4.79	14.42	4.78	13.05	4.05	13.42	4.06

Tabla 4. Medidas de primeras boquillas fabricadas

Prueba 2		22/08/2018	
		Ancho	Espesor
Resumen	L3	14.00	4.88
	L4	14.30	4.55

Tabla 5. Medidas de boquillas para segunda prueba

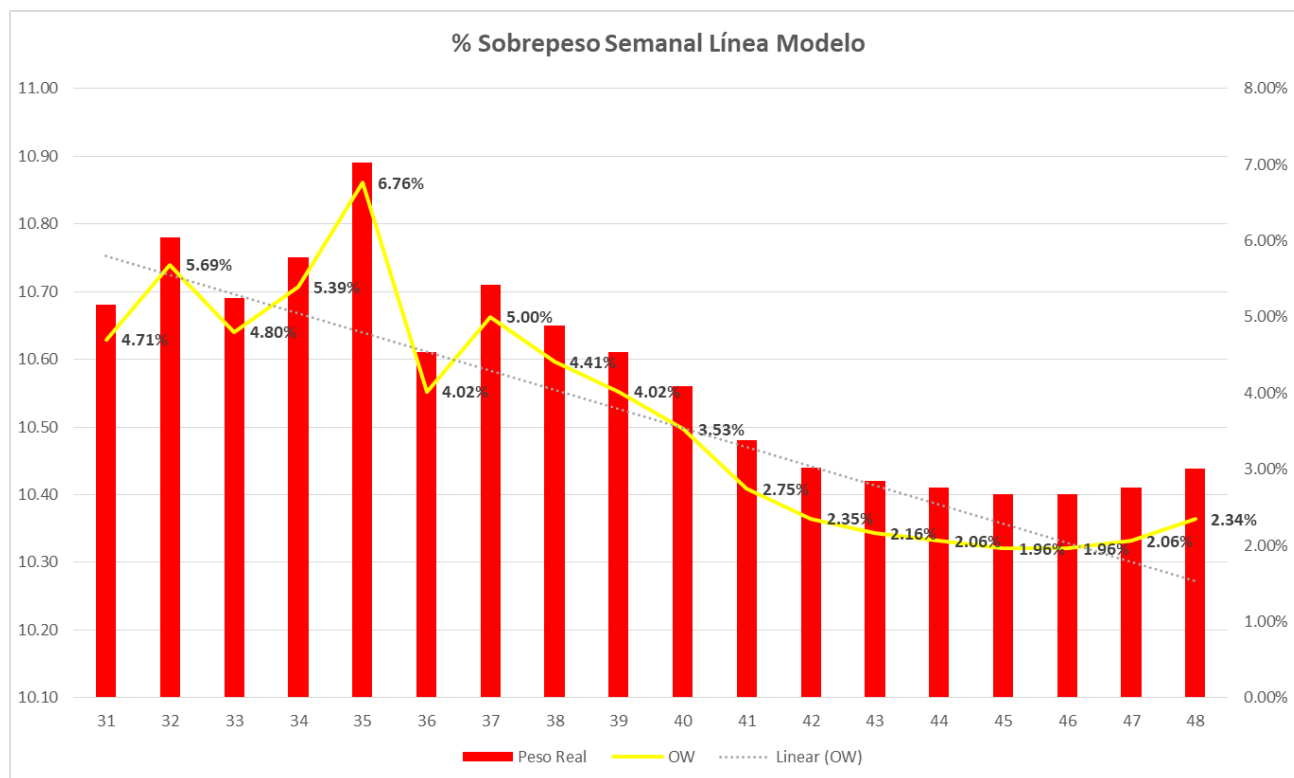
Prueba 3		04/09/2018	
		Ancho	Espesor
Resumen	L3	14.00	4.88
	L4	14.30	4.70

Tabla 6. Medidas de boquillas para tercera prueba

Prueba 4		19/09/2018	
		Ancho	Espesor
Resumen	L3	14.00	4.64
	L4	14.30	4.70

Tabla 7. Medidas de boquillas para cuarta prueba

Como se puede ver en las tablas 4, 5, 6 y 7, se realizaron en total cuatro pruebas con las boquillas del extruder ya que en primera instancia la tira no estaba saliendo con las dimensiones esperadas y comenzó a generar paros constantes a la salida del túnel de enfriamiento porque las dimensiones con las que estaba saliendo la nueva tira no eran las adecuadas para la configuración del equipo por lo que posteriormente se realizaron tres modificaciones a las boquillas, en cada una de estas se probó el comportamiento que tenía la nueva tira en los etapas siguientes al extruido adicional a medir esta para comprobar si la nueva boquilla contribuía a la reducción del sobrepeso en la tira de goma. La última modificación se implementó el 19 de Septiembre, esta fue la que mejores resultados arrojó con respecto a las dimensiones y comportamiento de la goma en las etapas finales del proceso y por consiguiente con la que se logró evidenciar una reducción gradual del sobrepeso en las últimas semanas.



Gráfica 2. Porcentaje de sobrepeso a partir de semana 31

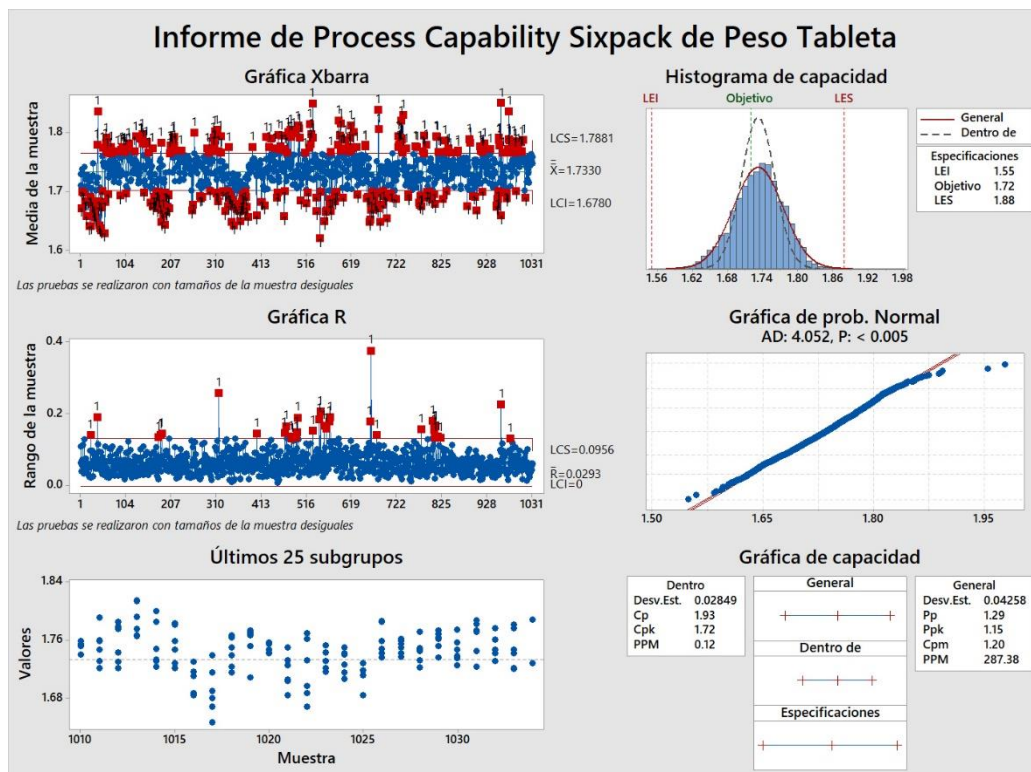
Después de la instalación de las nuevas boquillas en el extruder a partir de la última prueba en la Gráfica 2 se puede evidenciar como el porcentaje de sobrepeso experimentó una tendencia a la baja manteniéndose en rangos aproximados del 2% lo cual representa un peso en la pastilla de 1.73 g, es decir tan solo 0.03 g por encima del peso objetivo que debe de estar en 1.7 g.

3.1.5 Controlar

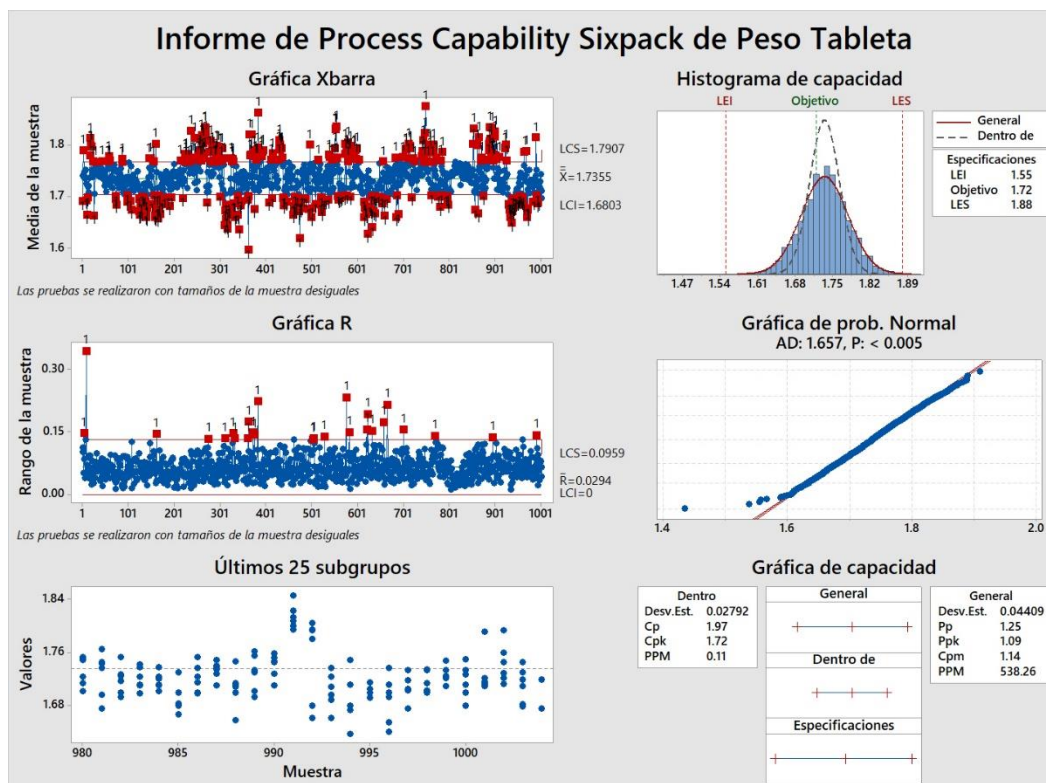
Durante la fase de controlar se realizó un monitoreo de manera semanal para verificar que las condiciones de operación se estaban manteniendo en la línea para mantener el sobrepeso que se había logrado reducir con las pruebas del cambio de boquillas en el extruder, adicional a que se definieron las condiciones de operación óptimas para la línea de manera que no se incrementara de nuevo el sobrepeso.

3.1.5.1 Gráficos de control

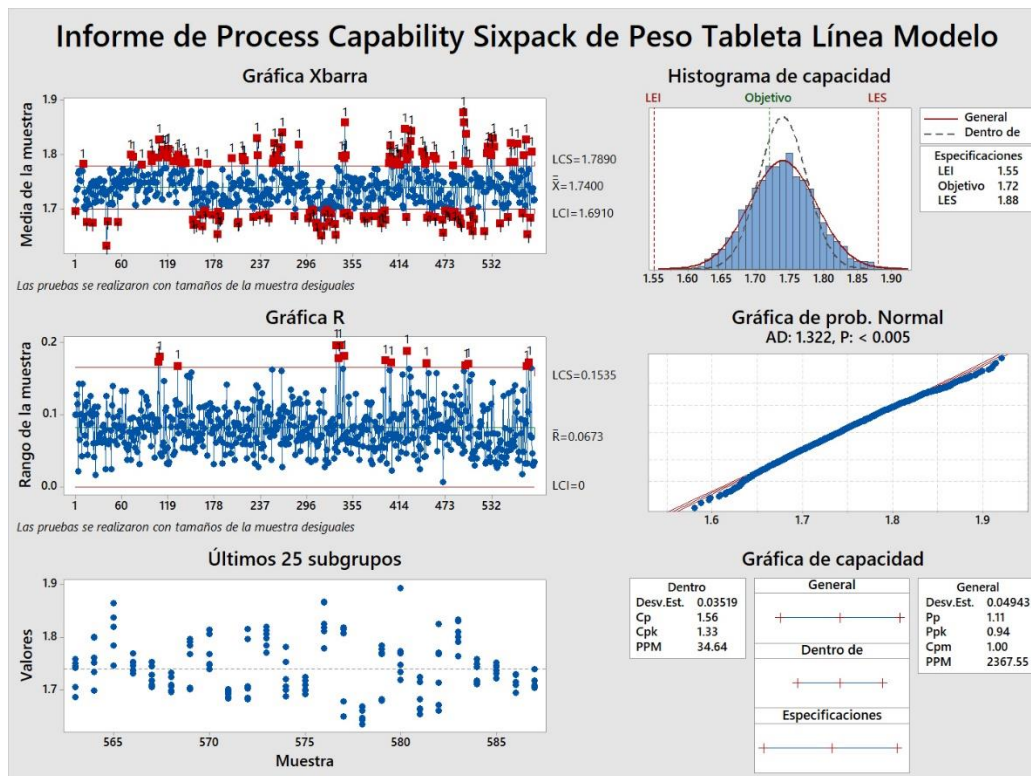
Por medio de gráficos de control estadístico se pudo evidenciar el comportamiento del peso durante las semanas siguientes a la implementación de las mejoras así como la capacidad del mismo para conservar estas y mantener el peso óptimo que se estableció en el proyecto para lograr el objetivo principal.



Gráfica 3. Informe de capacidad del proceso en semana 46



Gráfica 4. Informe de capacidad del proceso en semana 47



Gráfica 5. Informe de capacidad del proceso en semana 48

En los informes de capacidad del proceso de las semanas 46 a la 48 que se muestran en las gráficas 3, 4 y 5 respectivamente vienen los gráficos de control donde se puede evidenciar el aumento de la capacidad del proceso cumpliendo con el estándar mínimo establecido por la empresa que es de $Cpm = 1.00$ logrado en la semana 48 así como los rangos en los que se ha estado moviendo el peso manteniéndose en un rango estrecho para conservar el porcentaje de sobrepeso obtenido con la instalación de las nuevas boquillas.

3.1.5.2 Condiciones de operación

Posterior al logro de reducir el sobrepeso en la pastilla de Trident se establecieron las condiciones de operación que se debían mantener en las maquinas involucradas en el proceso para mantener el peso en un mismo rango sin que este variara de forma que se volviera a aumentar el sobrepeso como estaba sucediendo en la primera parte del año 2018.

	Parámetro	LIC	Objetivo	LSC
Tanque de Fundido	Temperatura (°C) Tanque de Fundido	86.0	89.0	92.0
Tanque de Almacenamiento	Temperatura (°C) Tanque de almacenamiento	78.0	82.0	86.0
Mezclador de Goma	Temperatura de goma base a la caída al mezclador (°C)	83.2	84.2	85.2
	Temperatura (°C) Coraza Mezclador	33.5	36.4	39.3
	Temperatura (°C) Aspas Mezclador	40.9	44.2	47.5
	Temperatura final de cocido (°C)	46.5	47.0	47.5
Pre Extruder	Velocidad (RPM) Pre- extruder	2.8	3.1	3.4
	Temperatura de cuerpo °C	39.8	41.1	42.4
	Temperatura Boquilla °C	38.0	39.2	40.4
	Temperatura de goma a la salida de Pre extruder	29.6	33.2	36.8
	Velocidad de banda (Hetz) Pre-Extruder	44.0	45.0	46.0
Extruder	Velocidad (RPM) Extruder	22.7	25.0	27.3
	T (°C) Cuerpo Extruder	43.6	45.1	46.6
	T (°C) Boquilla / nariz Extruder	78.5	80.2	81.9
Tunel	Temperatura (°C) Tunel	4.7	6.4	8.1
	Humedad %HR	37.8	41.4	45.0
	Velocidad – Banda 1 (m/min) Tunel	21.7	23.3	24.9
	Velocidad – Banda 2 (m/min) Tunel	27.9	28.9	29.9
	Velocidad – Banda 3 (m/min) Tunel	29.3	30.3	31.3
	Velocidad – Banda 4 (m/min) Tunel	30.0	31.2	32.4
	Velocidad – Banda 5 (m/min) Tunel	29.2	30.4	31.6
	Velocidad – Banda 6 (m/min) Tunel	30.2	31.2	32.2
	Velocidad – Banda 7 (m/min) Tunel	31.1	31.9	32.7
	Temperatura de goma a la salida de tunel (°C) L3	20.6	24.4	28.2
	Espesor de tira (mm) L3	3.82	3.98	4.14
	Ancho de tira (mm) L3	11.92	12.03	12.14
	Temperatura de goma a la salida de tunel (°C) L4	21.0	24.0	27.0
	Espesor de tira (mm) L4	3.83	3.98	4.12
	Ancho de tira (mm) L4	11.80	12.03	12.26
Dosificador de talco	Presión de aire (Bar)	1.50	2.00	2.50
TG (Thegarthen) LINEA 3	Velocidad (slabs/min)	1004.0	1044.0	1084.0
	Largo de tableta L3	30.54	31.89	33.24
	Ancho de tableta L3	11.27	12.16	13.06
	Espesor de tableta L3	3.57	3.94	4.31
TV (Thevopharm) LINEA 3	Velocidad (sobres/min)	167.0	174.0	181.0
	Temp. discos de sellado °C	190.0	200.0	210.0
	Temperatura de mordaza Superior	175.0	185.0	195.0
	Temperatura de mordaza Inferior	175.0	185.0	195.0
TG (Thegarthen) LINEA 4	Velocidad (slabs/min) L 4	1004.0	1044.0	1084.0
	Largo de tableta L4	30.40	32.14	33.88
	Ancho de tableta L4	11.09	12.10	13.12
	Espesor de tableta L4	3.53	3.89	4.25
TV (Thevopharm) LINEA 4	Velocidad (sobres/min) L4	167.0	174.0	181.0
	Temperatura discos de sellado °C	240.0	250.0	260.0
	Temperatura de mordaza Superior	180.0	190.0	200.0
	Temperatura de mordaza Inferior	180.0	190.0	200.0

Tabla 8. Condiciones de operación de línea Trident 6's

Con las condiciones de operación de la línea de Trident 6's presentadas en la Tabla 8 el proceso se debe de mantener estable y con la misma capacidad semana a semana para de esta manera mantener un porcentaje de sobrepeso de aproximadamente 2% como se logró a partir de la modificación en las boquillas del extruder considerando más críticas las temperaturas que puede presentar la goma tanto en el pre extruder como en el extruder y las velocidades de la tira de goma en el túnel de enfriamiento, conservando estas temperaturas y velocidades en el mismo rango es posible garantizar una mínima variación en el sobrepeso de ahora en adelante.

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1 Conclusiones

- Como primer factor importante se concluye que la habilidad de los operadores para realizar las mediciones no es la adecuada, razón por la cual el estudio de reproducibilidad y repetibilidad arrojó resultados no tan favorables en cuanto a que los datos no eran repetibles de la manera en que se esperaba, por esto en ese momento fue necesario capacitar a los operadores para que realizaran de una mejor manera las mediciones y obtener datos más confiables.
- Se consideró cómo aspecto importante el haber realizado el respectivo análisis de causa y efecto para identificar las principales causas por las que se estaba presentando el sobrepeso ya que a partir de estas fue más fácil definir las acciones a tomar y priorizar estas en base a la etapa del proceso que más contribuía a que se presentara el sobrepeso en la pastilla de goma o producto terminado.
- Al final de la etapa de medición fue determinante conocer el estado en el que se encontraba el proceso para haber plantado una base de los objetivos a lo que se debían llegar en cuanto a porcentaje de reducción de sobrepeso, esto sirvió para comparar el grado en que se logró reducir este, pasando de un 5% de sobrepeso en el mes de mayo a un 2% en el mes de noviembre después de la etapa de mejora.
- A partir del dato anterior de reducción del sobrepeso y con base a lo que representa anualmente este porcentaje del 5% que son 214 KUSD, se puede concluir que con las mejoras implementadas se ha logrado un ahorro de 86 KUSD que corresponde a un 3% de reducción con respecto al porcentaje de sobrepeso que se estaba presentando en el mes de mayo.
- Finalmente y alineado con la instalación de las nuevas boquillas fue verdaderamente significativo definir las condiciones de operación que debe tener el proceso para mantener el peso que logro reducir ya que estas condiciones son el factor más importante para que el proceso se pueda mantener estable y la línea no presente problemas relacionados con el sobrepeso y paros por otras causas ajenas al peso pero que de igual manera afectan los indicadores de desempeño y por ende la eficiencia global de la línea de Trident 6's.

4.2 Recomendaciones

- Es recomendable en primera instancia y como parte importante de la recolección de datos, capacitar a los operadores en temas de medición para que estas en un futuro puedan cumplir con los estándares para obtener datos confiables del proceso, este aspecto es primordial porque a partir de allí radica la eficiencia de los análisis que se lleguen a realizar en un futuro en lo que respecta al peso u otros proyectos que se vayan a implementar en el área.
- Se hace conveniente continuar con los análisis realizados para reducir aún más el porcentaje de sobrepeso basándonos en lo que ya se logró, análisis que pueden ir enfocados también a la evaluación de las condiciones de operación que como se mencionó anteriormente son parte importante dentro del proceso de fabricación de la goma.
- Con base a los resultados obtenidos y al ahorro que se presentó con el desarrollo del presente proyecto, es recomendable evaluar la replicación de los métodos incluidos en el proyecto para aplicarlos en las demás áreas de la planta priorizando aquellas que presentan un porcentaje alto de sobrepeso, esto con el objetivo de generar un ahorro mayor en la empresa para poderle dar entrada a nuevas inversiones y proyectos que beneficien el desarrollo general de la planta.

5. Anexos

5.1 Project Charter

PROJECT CHARTER																																	
DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO (razonamiento detrás del proyecto / relación con los objetivos / consecuencias del negocio si el proyecto no se realiza) La variación en el sobre peso de la pastilla de Trident 6's es la mayor dificultad que presenta el proceso de fabricación de Trident 6's en la línea modelo de Mondelez planta Puebla, este problema se da principalmente debido a la manipulación de los estándares del proceso por parte de los operadores, es decir que ellos con respecto a su experiencia modifican las condiciones de la maquina con el fin de que el producto final cumpla con las especificaciones provocando de esta manera una variación constante en el proceso. Este problema anualmente genera una pérdida de 214 KUSD, razón por la cual la compañía en el presente año tiene fijado como uno de sus principales objetivos de operación lograr la reducción del sobre peso que está afectando la producción en esta área. Para cumplir con este objetivo la organización por medio del área de manufactura comenzó a desarrollar el presente proyecto de mejora continua para dar un enfoque especial al peso de la pastilla y lograr reducir este en un 8% para de esta manera llegar al peso ideal u objetivo que tiene definido el área de calidad.																																	
PROBLEMS (SMART: Specific, Measureable, Agreed to, Realistic, Time bound) - Sobre peso del 4% en línea modelo del área de Trident Slab que se debe a una variación entre 1.68 y 1.89 g ¹- Variación en ancho de tira entre 11.57 y 13.51 mm	GOALS (SMART: Specific, Measureable, Agreed to, Realistic, Time bound) - Reducción del sobre peso que se presenta en la línea modelo del 4% al 1% entre los meses de Agosto y Diciembre del año 2018 ¹- Reducción de la desviación estandar del ancho de la tira																																
PROJECT RESOURCES Mentoring BB Name: <u>Jose Felipe Contreras Hernandez</u> MBB Name: _____ Project Champion: <u>Erik Gomez</u> Process Owner: <u>Olga Cabrera</u> Controlling: <u>Karina Flores</u> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Team Members:</th> <th>Function</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><u>Luis Miguel Rios Muriel</u></td> <td><u>Lider de proyecto</u></td> </tr> <tr> <td><u>Jose Felipe Contreras Hernandez</u></td> <td><u>Tutor Black Belt</u></td> </tr> <tr> <td><u>Olga Cabrera</u></td> <td><u>Ing. Procesos</u></td> </tr> <tr> <td><u>Eduardo Hernandez</u></td> <td><u>Ing. Calidad</u></td> </tr> <tr> <td><u>Josue Ramos</u></td> <td><u>Lid. Mantenimiento</u></td> </tr> <tr> <td><u>Alvaro Ariel</u></td> <td><u>Entrenamiento</u></td> </tr> <tr> <td><u>Karla Pichardo</u></td> <td><u>Lider Seguridad</u></td> </tr> </tbody> </table>	Team Members:	Function	<u>Luis Miguel Rios Muriel</u>	<u>Lider de proyecto</u>	<u>Jose Felipe Contreras Hernandez</u>	<u>Tutor Black Belt</u>	<u>Olga Cabrera</u>	<u>Ing. Procesos</u>	<u>Eduardo Hernandez</u>	<u>Ing. Calidad</u>	<u>Josue Ramos</u>	<u>Lid. Mantenimiento</u>	<u>Alvaro Ariel</u>	<u>Entrenamiento</u>	<u>Karla Pichardo</u>	<u>Lider Seguridad</u>	TIMELINE <table border="1"> <thead> <tr> <th>Goal (ending dates)</th> <th>Actual</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Kick-off <u>01/05/2018</u></td> <td><u>Finalizado</u></td> </tr> <tr> <td>Define <u>01/06/2018</u></td> <td><u>Finalizado</u></td> </tr> <tr> <td>Measure <u>01/08/2018</u></td> <td><u>Finalizado</u></td> </tr> <tr> <td>Analyze <u>01/10/2018</u></td> <td><u>Finalizado</u></td> </tr> <tr> <td>Improve <u>01/11/2018</u></td> <td><u>Finalizado</u></td> </tr> <tr> <td>Implement <u>01/12/2018</u></td> <td><u>Finalizado</u></td> </tr> <tr> <td>Control <u>15/01/2019</u></td> <td><u>Por terminar</u></td> </tr> </tbody> </table>	Goal (ending dates)	Actual	Kick-off <u>01/05/2018</u>	<u>Finalizado</u>	Define <u>01/06/2018</u>	<u>Finalizado</u>	Measure <u>01/08/2018</u>	<u>Finalizado</u>	Analyze <u>01/10/2018</u>	<u>Finalizado</u>	Improve <u>01/11/2018</u>	<u>Finalizado</u>	Implement <u>01/12/2018</u>	<u>Finalizado</u>	Control <u>15/01/2019</u>	<u>Por terminar</u>
Team Members:	Function																																
<u>Luis Miguel Rios Muriel</u>	<u>Lider de proyecto</u>																																
<u>Jose Felipe Contreras Hernandez</u>	<u>Tutor Black Belt</u>																																
<u>Olga Cabrera</u>	<u>Ing. Procesos</u>																																
<u>Eduardo Hernandez</u>	<u>Ing. Calidad</u>																																
<u>Josue Ramos</u>	<u>Lid. Mantenimiento</u>																																
<u>Alvaro Ariel</u>	<u>Entrenamiento</u>																																
<u>Karla Pichardo</u>	<u>Lider Seguridad</u>																																
Goal (ending dates)	Actual																																
Kick-off <u>01/05/2018</u>	<u>Finalizado</u>																																
Define <u>01/06/2018</u>	<u>Finalizado</u>																																
Measure <u>01/08/2018</u>	<u>Finalizado</u>																																
Analyze <u>01/10/2018</u>	<u>Finalizado</u>																																
Improve <u>01/11/2018</u>	<u>Finalizado</u>																																
Implement <u>01/12/2018</u>	<u>Finalizado</u>																																
Control <u>15/01/2019</u>	<u>Por terminar</u>																																

Figura 8. Project Charter

5.2 Alcances del proyecto

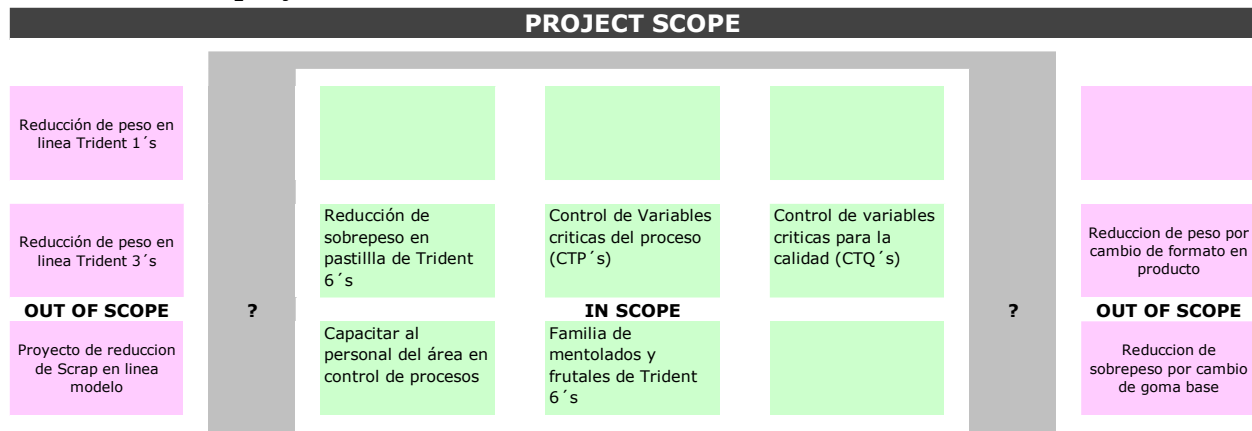


Figura 9. Diagrama de alcances del proyecto

5.3 Diagrama de proceso

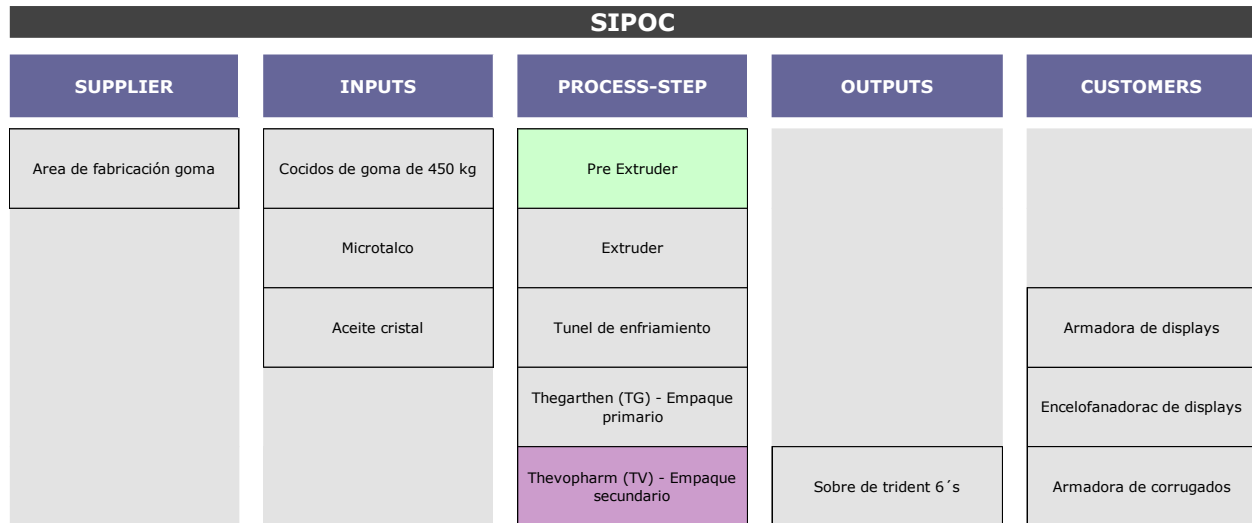


Figura 10. Diagrama de proceso

5.4 Voz del consumidor y del proceso

VOC (Voice of the customer)	Key Issue ("True Need")	CTQ's (Critical to quality)
Cliente requiere que tabletas tengan peso declarado en sobre	Variacion en proceso afecta dimensiones y peso final en la tableta	Ancho de tira
		Peso de tableta
		Espesor de tira
VOP (Voice of the process)	Key Issue ("True Need")	CTP's (Critical to process)
Maquina de empaque primario no puede trabajar con un ancho de tira por debajo de 12 mm	Es muy difcil regular el ancho de la tira	Velocidad (RPM) Extruder
No se puede trabajar con un ancho de tira por encima de los 12 mm porque no puede trabajarla la maquina		Temperatura de cuerpo y cabeza de cocido (°C)
		Temperatura de goma a la salida del tunel (°C)
		Temperatura de goma a la entrada al pre extruder
		Velocidad de bandas de tunel de enfriamiento

Tabla 9. Requerimientos del consumidor y del proceso

5.5 Estimación del beneficio

BENEFIT ESTIMATE							
BENEFIT POTENTIALS:		THE WAY HOW THE BENEFIT IS CALCULATED (AGREED WITH THE CONTROLLER):					
Por medio de la reducción del sobrepeso se generarán ahorros financieros de 200 KUSD		El calculo de estos indicadores fue realizado por el personal del área encargado de dar seguimiento a los indicadores de desempeño, los cuales se actualizan mes por mes para tener la visibilidad suficiente de la tendencia que tienen estos a lo largo del año.					
KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPI):							
No.	KPI	Period of Measure-ment	Unit	Performance		Agreed by Controlling	Comment
				Baseline (BSL)	Target		
1.	Porcentaje de sobrepeso	Primer trimestre 2018	%	5,2%	2.34%	Agreed	Con la implementación de las mejoras propuestas en el DMAIC se espera llegar a un 2% de sobrepeso al terminar el año 2018
2.	Yield	Primer trimestre 2018	%	103.50%	93%	Agreed	Durante el desarrollo del presente proyecto se espera seguir con la misma tendencia en el Yield superando ampliamente la meta propuesta.

Figura 11. Estimación del beneficio del proyecto

5.6 Matriz de relaciones

CUSTOMER REQUIREMENT	OUTPUT MEASUREMENTS						
	Pre Extruder	Extruder	Tunel de enfriamiento	Thegarthen (TG) - Empaque primario	Thevopharm (TV) - Empaque secundario	Sobre de trident 6" s	
Ancho de tira	3	9	9	3	1	1	
Espesor de tira	3	9	3	3	1	1	
Peso de tableta	3	9	9	3	3	9	
Velocidad (RPM) Extruder	1	9	0	0	0	0	
Temperatura de cuerpo y cabeza de cocido (°C)	9	3	9	3	1	0	
Temperatura de goma a la entrada al pre extruder (°C)	9	9	3	1	1	0	
Velocidad de bandas de tunel de enfriamiento (m/min)	1	3	9	1	1	0	
Temperatura de goma a la salida del tunel (°C)	3	9	3	9	3	0	
LEGEND	9	strong	3	average	1	weak	0 no

Figura 12. Matriz de relaciones de variables

5.7 Análisis de causa raíz

1. Datos del análisis		2. Descripción del evento (5W +1H)		3. Condiciones básicas		5. Diagrama de Causa - Efecto			
Elemento afectado: Indicador afectado: Sobre peso, Yield .	Integrantes: 1. Felipe Contreras 2. Olga Cabrera 3. Mecánico: Josue 4. Fátima Mendez 5. Operación: Oscar, Alicia, Ana, 6. Adrian Cuautle 7. Marisol Brito 8. Luis Miguel Rios	¿QUÉ está ocurriendo? Sobre Peso en Tíndent 6a de Línea Modelo ¿DÓNDE ocurre? (Parte específica de la máquina) Extruder ¿CUÁNDO ocurre? (En qué etapa del proceso ocurre?) Cuando se alimenta goma al Pre-extruder ¿QUIÉN? El problema esta correlacionado con las habilidades del operador ¿CÓMO? es el patrón que se observa (Sólo el primer turno, cada 3 piezas, el 30% de la producción) Todos los turnos ¿CÓMO es diferente al estado normal? ¿CÓMO ocurre? Es mayor que la línea 1 y 2	¿Se realizaron todas las tareas establecidas en el CL? ☒ ¿Se encuentran las partes involucradas en el problema dentro de los estándares visuales de máquina? ¿Cuenta con los dispositivos de seguridad de acuerdo a los estándares de HSE? ☒ ¿Se encuentran las partes involucradas en el problema dentro de las frecuencias establecidas en el plan de mantenimiento? ☒ ¿Existen y se encuentran los documentos estándares en los lugares adecuados y actualizados? ☒ ¿Existen y se encuentran los documentos estándares relacionados al control de calidad estático y dinámico del equipo? ☒ Los materiales relacionados al problema por materia prima, insumos y producto en proceso se encuentran dentro de	5. Diagrama de Causa - Efecto MEDICIÓN No se realiza medición de Ancho y Espesor de Tira a la salida del túnel MEDIO AMBIENTE El área de empaque y fabricación tiene condiciones de temperatura alta MÉTODO No se baja el cocido en tiempo MANO DE OBRA Falta de comunicación entre gomero y operador de pre extruder MAQUINARIA Diferencia de tira en línea 3 y línea 4 Túnel no da las condiciones de Temperatura Dimensiones de boquillas de extruder MATERIALES Sincronizar la Transmisión de la TG 3 Distancia de Guías y Válen diferentes Sensor de Rellado de Tableta Efecto: La Tira sale de diferentes dimensiones El cocido se entrega a diferentes Temperaturas Variación de Tira y Sobre peso en pastilla					

6. Análisis Por qué-Por qué							7. ¿Cuál es la acción (Correctiva, preventiva, sistémica)?		Resp	Fecha	Paso 8 y 9 Contramedidas	
¿Por qué	A	B	C	D	E	F	G					
No se realiza medición de dimensiones en tira Diferencia de ancho de tira a la salida del túnel	No se tiene el estándar definido de las dimensiones Por que la banda de la TG 3 (0.5m) es mas corta que la comparacion con la Tira (0.15m), que es mas larga	Por que hay una variación por cada labor Por diseño	Por que la goma tienen densidades diferentes					1. Definir CTP's para asegurar Ancho y espesor de tira en función de la densidad	Paola Contreras / Fabiola Contreras	30 de Junio 18	Paso 8 y 9 Contramedidas 	
No se miden dimensiones de Tira	Por que no se considera que las dimensiones de Tira afectan al subpeso	Por que no se define como Operat	No se miden en la Matriz de Calidad como Operat					2. Evaluar la factibilidad operador de TG es quien debe de controlar las velocidades de las bandas de alimentación	Olga Cabrera / Fátima Mendez / Vicicontti	02 de Junio 18		
								3. Así como evaluar factibilidad del cambio de controles de Túnel a TG	Marisol Brito / Olga Cabrera / Luis Miguel Rios	15 de Junio 18		
								4. *Agregar a Matrices de Calidad las velocidades de bandas de alimentación a la TG y solicitar límites de control al IP para CEP y generar	Vicicontti	11 Junio 18		
								5. Calcular dimensiones optimas de boquillas a la salida de extruder y fabricar nuevas piezas.	Erick Gomez / Adrian Cuautle / Esteban PM	14 de Junio 18		
								6. Colocar sensor inductivo para verificar la frecuencia de giro en el motor del extruder	Luis Miguel Rios	21 Junio 18		
								7. Colocar sensores de medición de ancho y espesor de tira a la salida del Túnel L3 y L4 y configurar panel para lectura de mediciones				
								8. Evaluar dimensiones de Tira y Tableta para determinar Límites de Control				

Figura 13. Análisis de causa raíz

5.8 Carta de liberación de proyecto

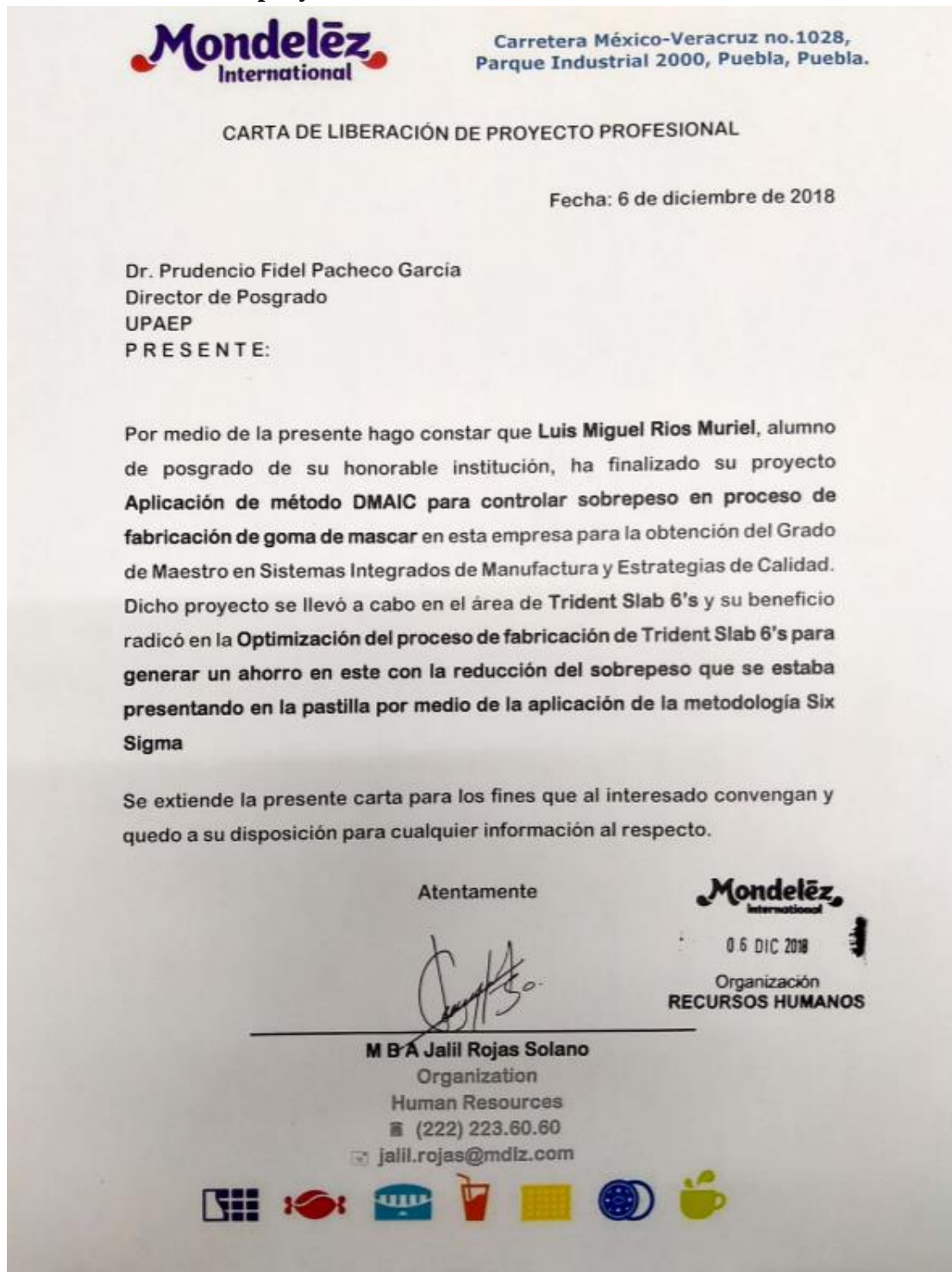


Figura 14. Carta de liberación por Mondelez

Bibliografía

- (2018). Obtenido de [www.statista.com](https://www.statista.com/statistics/252097/net-sales-of-the-leading-10-confectionery-companies-worldwide/): <https://www.statista.com/statistics/252097/net-sales-of-the-leading-10-confectionery-companies-worldwide/>
- Alfonso Jaime, L. F. (2015). Plan estrategico para Toyota Motor Corp. EE.UU 2011-2013. Lima, Peru: Universidad del Pacifico.
- Borrer, C. M. (2009). *The Certified Quality Engineer Handbook* . Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.
- Carroll, C. T. (2013). *Six Sigma for Powerful Improvement*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.
- Deming, W. E. (1989). *Calidad, productividad y competitividad a la salida de la crisis*. Madrid: Editorial Díaz de Santos.
- Eom, S. J. (2015). Managing concrete crack information through correction of the slab rebar arrangement based on Six Sigma. *KSCE J Civ Eng*.
- Gaikwad, L. M. (2017). Application of DMAIC and SPC to Improve Operational.
- Gijo, E. &. (2014). Process improvement through Six Sigma with Beta correction: a case study of manufacturing company. *Adv Manuf Technol*.
- Godinho Filho, M. &. (2011). The effect of shop floor continuous improvement programs on the lot size–cycle time relationship in a multi-product single-machine environment. *Springer-Verlag*.
- Gomez, F. F. (2003). *Seis sigma*. España: Editorial FC.
- González Gaya C, R. D. (2013). *Técnicas de Mejora de la Calidad*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Ishikawa, K. (1986). *¿Qué es control total de la calidad?* Colombia: Editorial Norma.
- Jagdeep Singh, H. S. (2014). *Proceedings of the International Conference on Research and Innovations in Mechanical Engineering* . New Delhi: Springer .
- Jiang, R. (2015). *Introduction to Quality and Reliability Engineering* . Beijing : Science Press.
- Jiju Antony, S. V. (2016). *Lean Six Sigma for Small and Medium Sized Enterprises* . Boca Raton, FL: Taylor and Francis Group.
- Juran, J. M. (1990). *Juran y la Planificación de la calidad*. Madrid: Díaz de Santos.
- Manoj Kumar Sain, D. P. (2015). Managing the Process Variability of CNC Turning Operation Using Quality Control Tools . *SKIT RESEARCH JOURNAL*, 4.
- Mondelez Internacional, México. (2018). <https://mx.mondelezinternational.com/about-us>.

- Muralidharan, K. (2015). *Six Sigma for Organizational Excellence*. New Delhi: Springer.
- P. Srinivasa Rao, B. S. (2017). Process capability improvement through DMAIC for aluminum alloy wheel machining.
- Polhemus, N. W. (2018). *Process Capability Analysis*. Taylor and Francis Group.
- Pulido, H. G. (2009). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. Mexico DF: McGraw Hill.
- Pyzdek T, K. P. (2010). *The Six Sigma Handbook*. McGraw Hill.
- Rial B. Antonio, V. M. (2008). *Estadística práctica para la investigación en ciencias de la salud*. Netbiblo.
- Scaria, E. V. (2013). Process improvement through Six Sigma with Beta correction:.
- Sharma, G. (2014). A DMAIC approach for process capability improvement an engine crankshaft manufacturing process. *J Ind Eng Int*.
- Sharma, G. V. (2014). A DMAIC approach for process capability improvement.
- Sharma, G. V. (2017). Process capability improvement through DMAIC for aluminum.
- Stern, T. V. (2016). *Lean Six Sigma: International Standards and Global Guidelines*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis Group.