

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL CON**  
**MENCIÓN EN PLANEAMIENTO Y GESTIÓN**  
**EMPRESARIAL**



**Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Industrial con Mención en Planeamiento y Gestión Empresarial**

**Implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar la productividad en una empresa de plásticos**

**Autor: Bach. Calderón Carrillo, José Iván**

**Asesor: Mg. Mateo López, Hugo Julio**

**LIMA- PERÚ**

**2020**

Miembros del Jurado Examinador para la evaluación de la sustentación de la tesis, que estará integrado por:

1. Presidente: Mg. César Rivera Lynch
2. Miembro: Dr. Carlos Wong Lau
3. Miembro: Mg. Juan Antonio Quea Vásquez
4. Asesor: Mg. Hugo Julio Mateo López
5. Representante de la EPG: Mg. Ofelia Roque Paredes

## **Dedicatoria**

Dedico el esfuerzo a mis padres, por la formación que me dieron y todo su apoyo para seguir creciendo.

## **Agradecimientos**

Agradezco a mi Asesor de Tesis, y los Profesores de la Escuela de Pos Grado de la Universidad Ricardo Palma.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>2</b>
1.1 Descripción del Problema.....	2
1.2.1 Problema General .....	6
1.2.2 Problemas específicos .....	6
1.3 Importancia y justificación del estudio.....	7
1.4 Delimitación del estudio .....	10
1.5 Objetivos de la investigación.....	11
1.5.1 Objetivo General .....	11
1.5.2. Objetivos específicos.....	11
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
2.1 Marco Histórico .....	12
2.2 Investigaciones relacionadas al tema.....	16
2.3. Estructura teórica y Científica que sustenta el estudio (teorías, modelos) .....	23
2.3.1 Distribución Normal.....	23
2.3.2 Metodología DMAIC .....	24
2.3.3 Árbol de necesidades.....	25
2.3.4 Modelo de Kano .....	25
2.3.5 QFD (despliegue de función de calidad).....	27
2.3.6 Índice Cp .....	45
2.5 Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis (figura o mapa conceptual) .	52
2.6 Hipótesis .....	53
2.6.1 Hipótesis General .....	53
2.6.2 Hipótesis Específicas.....	53
2.7 Variables .....	54
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO</b> .....	<b>56</b>
3.1 Tipo, método y diseño de la investigación .....	56
3.2 Población y muestra .....	57
3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	60
<b>CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS</b> ...	<b>63</b>
4.1 DEFINIR .....	63
4.1.1. Árbol de necesidades para el proyecto.....	64
4.1.2 Modelo de Kano para el proyecto .....	65
4.1.3 QFD (despliegue de funciones de calidad) para el proyecto.....	67
4.1.4 Resumen de la fase Definir .....	68
4.2 MEDIR .....	68
4.2.1 SIPOC del proceso de fabricación .....	68
4.2.2 Análisis del sistema de medición (R&R) del proceso de fabricación ...	69

4.2.3	Muestreo para el proceso de fabricación.....	71
4.3	ANALIZAR.....	73
4.4	MEJORAR .....	82
4.4.1	Implementación de mejoras .....	85
4.4.2	Mejoras implementadas con respecto al uso de marca de MP.....	85
4.4.3	Mejoras implementadas con respecto al caudal de aire .....	87
4.5	CONTROLAR.....	87
4.6	Implementación de 5S .....	90
4.6.1	Seleccionar .....	90
4.6.2	Organizar .....	92
4.6.3	Limpia r .....	94
4.6.4	Estandarizar .....	97
4.6.5	Seguimiento.....	97
4.7	Estandarización del trabajo.....	100
4.8	Análisis de los resultados .....	104
4.8.1	Resultados del DMAIC .....	104
4.8.2	Resultados de la implementación de 5S .....	107
4.8.3	Resultados de la implementación de trabajo estándar .....	109
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>112</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>113</b>
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>114</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>118</b>
	Anexo 1: Declaración de Autenticidad .....	118
	Anexo 2: Autorización de consentimiento para realizar la investigación.....	119
	Anexo 3: Matriz de consistencia .....	120
	Anexo 4: Protocolos o Instrumentos utilizados .....	121
	Anexo 5: Gantt de implementación de 5s .....	122
	Anexo 6: Plan control de la fase controlar del DMAIC.....	123
	Anexo 7: Datos completos de los gramajes antes de la implementación.....	124
	Anexo 8: Total de muestras de los gramajes después de la implementación .....	125
	Anexo 9: Algunas imágenes utilizadas en los instructivos del trabajo estándar.....	126

## LISTA DE TABLAS

Tabla 01: Matriz de evaluación de alternativas .....	37
Tabla 02: Características que debe presentar la estandarización .....	43
Tabla 03: Matriz de operacionalización.....	55
Tabla 04: Técnicas e instrumentos.....	61
Tabla 05: Matriz de Análisis de datos .....	62
Tabla 06: Priorización de las características de calidad. ....	66
Tabla 07: Estudio preliminar del sistema de medición.....	70
Tabla 08: Datos utilizados para realizar el ANOVA. ....	79
Tabla 09: Niveles de los factores significativos del proceso .....	82
Tabla 10: Orden de corridas para el diseño de experimentos .....	83
Tabla 11: Resultados de las corridas.....	83
Tabla 12: Lista de objetos necesarios en almacén .....	90
Tabla 13: Lista de objetos incensarios en almacén.....	91
Tabla 14: Plan de limpieza en almacén de planta.....	95
Tabla 15: Plan de auditorías 5S .....	97
Tabla 16: Condiciones de proceso del grupo de trabajo con menor producción de no conformes.....	101
Tabla 17: Actividades a realizar antes de iniciar producción. ....	101
Tabla 18: Acciones correctivas realizadas por el grupo de trabajo con menor producción de no conformes.....	102
Tabla 19: .....	103
Cuadro comparativo de resultados alcanzados .....	103
Tabla 20: .....	104
Muestra de gramajes antes y después de la implementación.....	104
Tabla 21: .....	107
Muestras de merma antes y después de la implementación.....	107
Tabla 22: .....	109
Proporción de PNC antes y después de la implementación.....	109
Tabla 23: Incremento en la productividad .....	111
Tabla 24: Matriz de Consistencia .....	120

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gramaje de 20 muestras de planchas de policarbonato.....	3
Figura 2 Kg merma/mensual generada en el área de producción. ....	4
Figura 3. Productos no conformes generados al mes del año 2018.....	4
Figura 4. Producción neta Kg por día .....	5
Figura 5: Gráfica de la distribución normal.....	23
Figura 6: Estructura del árbol de necesidades .....	25
Figura 7: Modelo de Kano .....	26
Figura 8: Ejemplo de SIPOC .....	30
Figura 9: Ejemplo del diagrama Causa-Efecto .....	32
Figura 10: Ejemplo de un Histograma.....	33
Figura 11: Ejemplo de gráfico caja y bigote.....	34
Figura 12: Ejemplo de diagrama de correlación.....	35
Figura 13: Variables de entradas y salidas de un proceso .....	37
Figura 14: Elementos de un gráfico de control.....	39
Figura 15: Ejemplo de Diagrama de Pareto.....	42
Figura 16: Mapa conceptual del marco teórico. ....	52
Figura 17 : Resumen gráfico de la metodología DMAIC.....	64
Figura 18: Árbol de necesidades para el proyecto.....	65
Figura 19: Modelo de Kano para el proyecto .....	66
Figura 20: QFD para el proyecto. ....	67
Figura 21: SIPOC del proceso de fabricación .....	69
Figura 22: Resultados de la evaluación preliminar del sistema de medición .....	71
Figura 23: Resultados para el tamaño de muestra .....	72
Figura 24: Diagrama Causa- Efecto de la variabilidad de los gramajes. ....	73
Figura 25: Gráfico de capacidad de proceso con respecto a los gramajes.....	74
Figura 26: Histogramas con respecto a los turnos de trabajo .....	75
Figura 27: Histograma del gramaje con respecto a los grupos de trabajo. ....	75
Figura 28: Gráfica de caja y bigote con respecto al pigmento.....	76
Figura 29: Grafico de caja y bigote con respecto a las materias primas.....	77
Figura 30: Diagrama de correlación T°cabezal vs gramaje.....	78
Figura 31: Diagrama de correlación caudal de aire vs gramaje.....	78

Figura 32: Gráfica de residuos de los datos del gramaje .....	80
Figura 33: Anova realizado a las variables de entrada con respecto al gramaje .....	80
Figura 34: Resumen gráfico de la fase analizar.....	81
Figura 35: Gráfica de efectos principales para el gramaje.....	84
Figura 36: Gráfica de interacción para los gramajes .....	84
Figura 37: Primera mejora con respecto al uso de MP.....	85
Figura 38: Segunda mejora con respecto al uso de MP.....	86
Figura 39: Primera mejora con respecto al caudal de aire.....	87
Figura 40: Grafico de control del caudal de aire. ....	88
Figura 41: Capacidad de proceso de los gramajes después de las mejoras. ....	89
Figura 42: Objetos incensarios en almacén de planta.....	91
Figura 43: Layout antes de la fase organizar .....	92
Figura 44: Layout después de la fase organizar.....	93
Figura 45: Almacén de planta después de ordenar. ....	94
Figura 46: Actividades de limpieza .....	96
Figura 47: Formato de auditoria 5s.....	98
Figura 48: Histograma del gramaje con respecto a los grupos de trabajo. ....	100
Figura 49: Prueba de normalidad de gramajes antes y después de la implementación. ....	105
Figura 50: Estadísticos descriptivos de los gramajes.....	106
Figura 51: Resultado de comparación de medias de los gramajes. ....	106
Figura 52 : Prueba de normalidad de las mermas de producción. ....	108
Figura 53: Resultados de comparación de medias de las mermas de producción. ....	108
Figura 54 : Prueba de normalidad de proporción de PNC.....	109
Figura 55: Comparación de medias de proporción PNC antes y después. ....	110

## RESUMEN

Esta investigación muestra el impacto de la implementación de la filosofía lean six sigma en un proceso de producción. Lean Six Sigma, trabaja bajo la metodología DMAIC (5 etapas). En la primera etapa, Definir, tiene como objetivo establecer que proyecto se va a trabajar y a realizar las mejoras, teniendo en cuenta los CTQ (crítico para la calidad) de los clientes, sean internos o externos, mediante el uso de 3 herramientas, de esta manera nos aseguramos que el proyecto de mejora tendrá un impacto significativo en el cliente, en esta investigación, el proyecto de mejora es sobre la reducción de la variabilidad del gramaje.

En la etapa Medir, como resultado se debe de obtener los datos necesarios para poder realizar el análisis posterior, además se debe de evaluar si el sistema de medición del proceso es confiable o no, ya que parte de la variabilidad total es influenciada por la variabilidad del sistema de medición.

La etapa de Analizar tiene como objetivo determinar aquellas variables significativas para la Y (CTQ), se utilizan herramientas de estadística inferencial, para ir descartando variables y finalmente quedándonos con aquellas variables que influyen directamente en estas salidas, las herramientas utilizadas son: Histogramas, capacidad de proceso, Correlación, gráficos de caja y bigote y ANOVA. En este caso se obtuvo las variables de entrada que influyen de manera significativa a la variabilidad del gramaje.

La etapa de Mejorar, con el uso de Diseño de Experimentos, se obtiene la mejor combinación de los diferentes valores de los factores de entrada del proceso para poder conseguir el resultado que estamos buscando, en este caso que el gramaje promedio sea de 1050 gr/m<sup>2</sup>.

Finalmente, en la etapa de Controlar, se realiza un plan control y medidas para mantener las mejoras realizadas. El resultado de toda esta implementación fue el incremento de la productividad en un 7%, reflejando ahorros significativos para la empresa.

**Palabras clave:** Lean Six Sigma, Productividad, Calidad.

## ABSTRACT

This research shows the impact of the implementation of the lean six sigma philosophy in a production process. Lean Six Sigma, works under the DMAIC methodology (5 stages). In the first stage, Define, aims to establish which project is going to work and make improvements, taking into account the CTQ (critical for quality) of customers, whether internal or external, through the use of 3 tools, this way we make sure that the improvement project will have a significant impact on the client, in this research, the improvement project is about the reduction of the grammage variability.

In the Measure stage, as a result, the necessary data must be obtained in order to carry out the subsequent analysis, and it must be evaluated whether the process measurement system is reliable or not, since part of the total variability is influenced by the variability of the measurement system.

The Analyze stage has as objective to determine those significative variables for the Y (CTQ), inferential statistics tools are used, to discard variables and finally staying with those variables that directly influence these outputs, the tools used are: Histograms, capacity of process, Correlation, box and mustache graphics and ANOVA. In this case we obtained the input variables that significantly influence the grammage variability.

The stage of Improvement, with the use of Design of Experiments, is obtained the best combination of the different values of the factors of entrance of the process to be able to obtain the result that we are looking for, in this case that the grammage average is of 1050 gr / m<sup>2</sup>.

Finally, in the Control stage, a control plan and measures are carried out to maintain the improvements made. The result of all this implementation was the increase in productivity by 7%, reflecting significant savings for the company.

**Keywords:** Lean Six Sigma, Productivity, Quality.

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realizó para comprobar los resultados de la implementación de la metodología Lean Six Sigma con respecto a la productividad de la planta de una empresa.

En el marco teórico, se aprecian conceptos sobre cuando y porqué aplicar Lean Six Sigma, y los resultados de dicha implementación, tales como disminución de la variabilidad, incremento de la calidad y la productividad mediante la reducción de los desperdicios, tanto en procesos de producción como en servicios. Es por ello que la hipótesis general de la investigación es que se logrará mejorar la productividad de la empresa de plásticos mediante la implementación de la metodología Lean Six Sigma.

El capítulo I del trabajo es la descripción y planteamiento del problema, en el cual se evidencia los distintos problemas presentes en la empresa de estudio. El capítulo II hace referencia al marco teórico, todos los conceptos sobre las variables de estudio, así como también estudios previos del tema que ayudaron a reforzar las hipótesis planteadas. El capítulo III es el marco metodológico, en el cual se detalla el enfoque, tipo, diseño y variables de la investigación. En el capítulo IV se redacta como se implementaron las herramientas en cada caso, y el análisis de los resultados obtenidos.

De acuerdo a lo redactado anteriormente, se tiene como objetivo principal determinar cómo mediante la implementación de la metodología Lean Six Sigma se logrará mejorar la productividad de una empresa del rubro plástico.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 Descripción del Problema**

La empresa de estudio se encuentra en el rubro plástico, dedicada a la fabricación y comercialización de productos de policarbonato tales como planchas y conectores.

Cuenta con dos líneas de fabricación de planchas de policarbonato, en distintas medidas, espesores, colores, otra línea se dedica a fabricar distintos tipos de perfiles de policarbonato (Conectores) en distintas medidas y colore, y dos líneas más dedicadas a la fabricación de paneles de PVC en distintas medidas y espesores.

Las líneas funcionan las 24 horas del día, cada una con cuatro operarios que realizan la función de abastecimiento, operar y controlar y regular las máquinas, y colocar etiqueta y cinta a los productos finales, respectivamente.

Los productos que salen de ambas líneas de planchas de PC (Policarbonato) presentan gramajes muy dispersos con referencia al gramaje nominal, los productos terminados pesan más de lo que indica la especificación, la cual es de 1050 gr/m<sup>2</sup>,

consumen más resina de policarbonato de lo debido, haciéndolos más costosos, por consumir mayor materia prima de lo establecido.

Además del problema con los gramajes, en la línea de planchas existe un exceso de merma que oscila entre 10,000- 12,000 kilogramos de resina de MP. El kilogramo de resina de policarbonato se costea entre 2.2 a 2.5 dólares, aproximadamente, ya que el precio de esta resina en el mercado es muy volátil, lo cual genera sobre costos en el área de producción debido a las mermas generadas en el proceso.

la merma y desperdicios, es generado por complicaciones que existen en el proceso mayormente en abastecimiento por parte del almacén de planta, ya que existen muchos errores cometidos por parte del personal que ocasionan la generación de merma como por ejemplo confusiones en abastecimiento de lotes, entrega tardía de MP, lotes vencidos, en mal estado, contaminación cruzada, etc.

A continuación, se muestra en la Figura 1 el gramaje de 20 muestras de planchas de policarbonato.

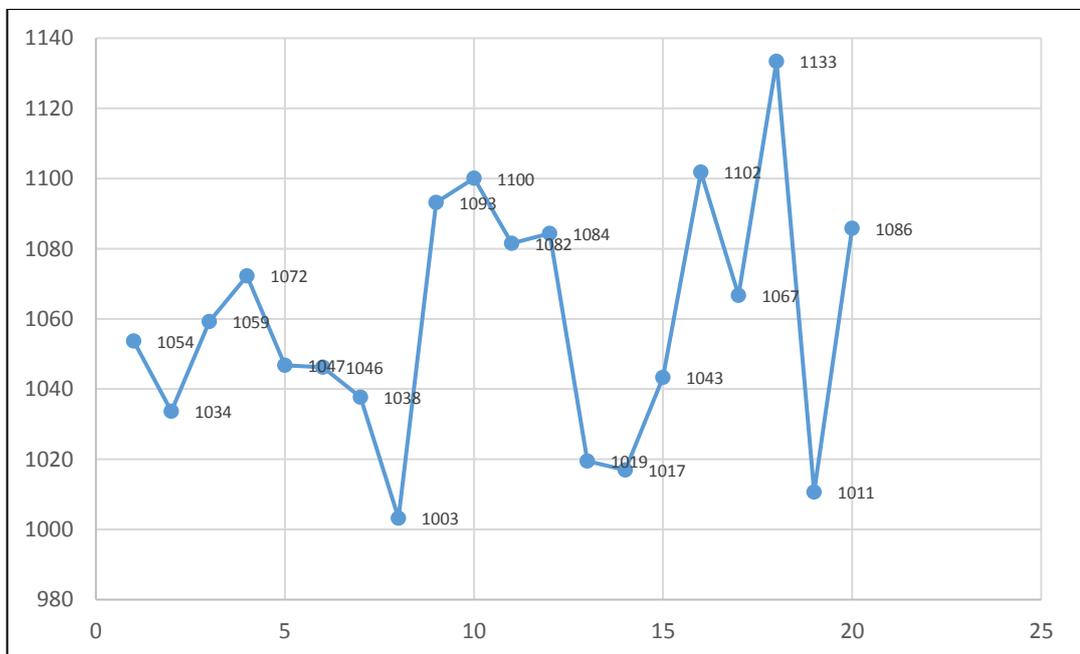


Figura 1: Gramaje de 20 muestras de planchas de policarbonato

Fuente: La empresa de estudio.

Elaboración: Propia.

La merma generada en el área de producción a se puede apreciar en la Figura 2.

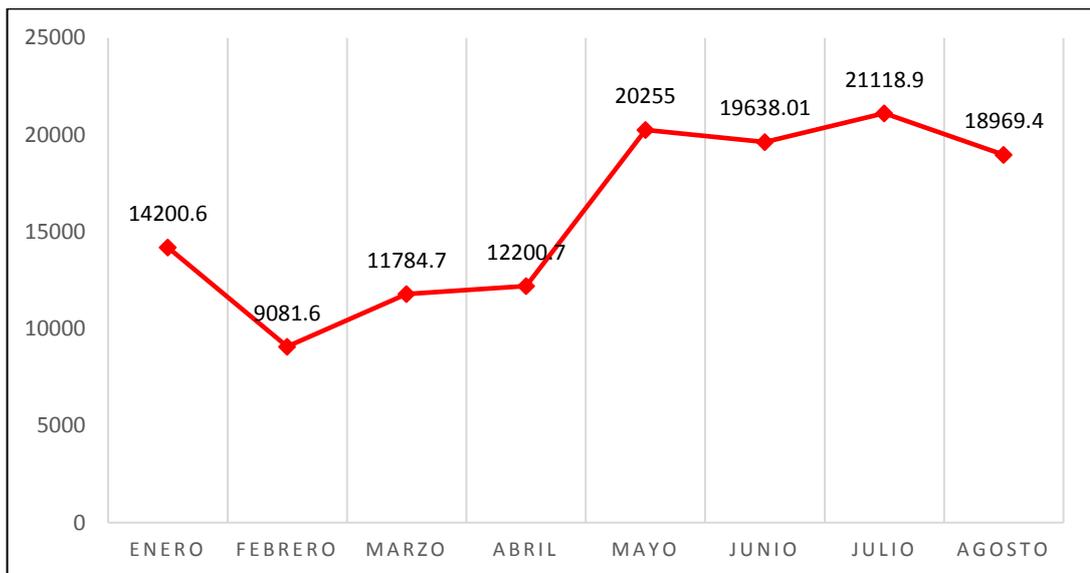


Figura 2 Kg merma/mensual generada en el área de producción.  
 Fuente: La empresa de estudio.  
 Elaboración: Propia.

Además de la merma generada y la variabilidad de gramajes, también en la línea de paneles de PC se presenta un problema con la fabricación de productos no conformes, lo cual genera que se vuelva a fabricar estos productos, lo que conlleva a mayor consumo de materia prima, tiempo y por lo tanto costos en producción.

La generación de productos no conformes de forma mensual puede apreciarse en la Figura 3.

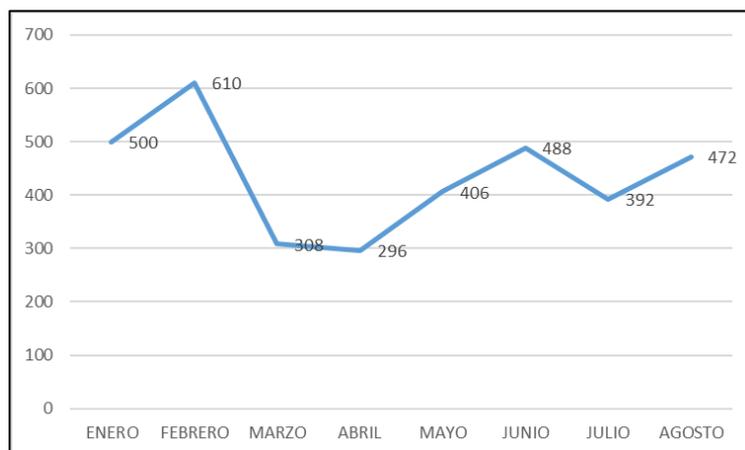


Figura 3. Productos no conformes generados al mes del año 2018  
 Fuente: La empresa de estudio.  
 Elaboración: Propia.

La proporción de productos no conformes es está aproximadamente entre 7%, el cual es una cifra muy elevada. Los productos no conformes son picados en planta, y se tiene que consumir más MP para poder cumplir con los programas de producción.

Todos los problemas mencionados anteriormente como la producción de productos no conforme, la merma generada en producción y la variabilidad de gramajes, afectan de manera directa a la productividad del área de producción de la empresa, trayendo como consecuencia no llegar a la meta de producción en toneladas por mes, lo que incrementa el costo total por kg en los productos fabricados, disminuyendo su margen de ganancia, además de ello no cumplir con los despachos a los clientes.

A continuación, en la Figura 4 se puede apreciar el efecto de estos problemas en la productividad mensual del área de producción de la empresa en estudio, teniendo como meta una cantidad en kg por día para lograr la meta de producción, y lo que realmente se está fabricando.

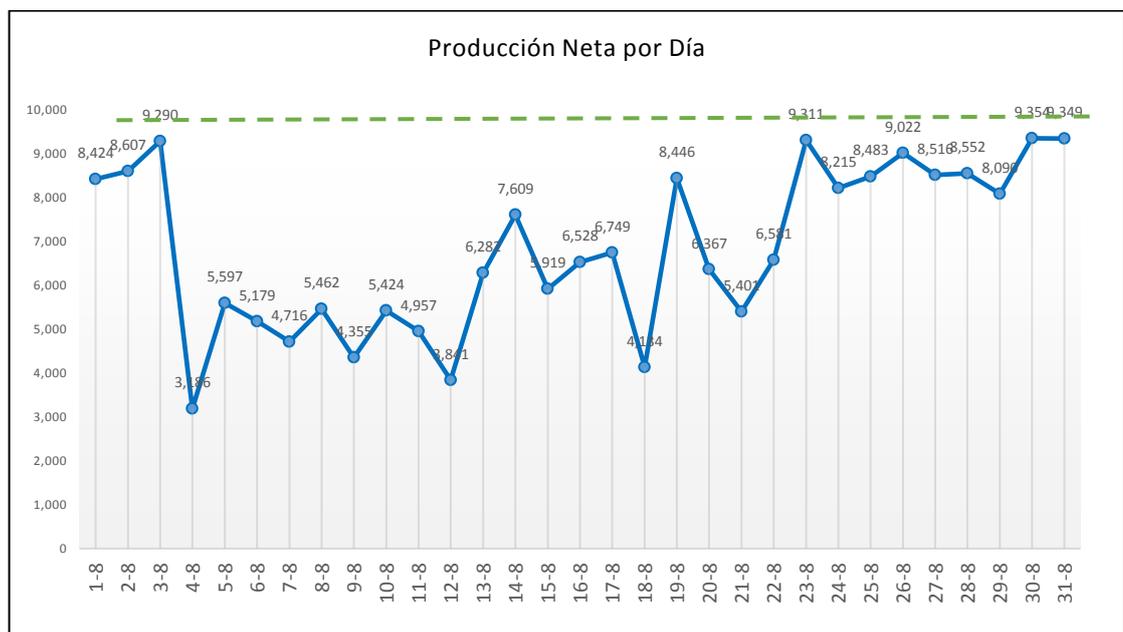


Figura 4. Producción neta Kg por día

Fuente: La empresa de estudio.

Elaboración: Propia.

En la Figura 4, se puede observar una producción no uniforme, las máquinas tienen capacidad para trabajar 9 toneladas diarias, pero debido a los problemas presentados anteriormente genera que haya una baja productividad en la planta.

## **1.2 Formulación del problema**

De acuerdo a lo redactado anteriormente, se procede a plantear el problema general y los problemas específicos de la siguiente manera:

### **1.2.1 Problema General**

¿Cómo mediante la implementación de la metodología Lean six sigma se logrará mejorar la productividad en una empresa de plásticos?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- a) ¿Cómo reducir la variabilidad de gramajes en la producción de planchas de policarbonato mediante el DMAIC?
- b) ¿Cómo reducir las mermas en la producción de planchas de policarbonato, mediante la metodología 5S?
- c) ¿Cómo reducir los productos no conformes de planchas de policarbonato, mediante la implementación de la estandarización del trabajo?

### 1.3 Importancia y justificación del estudio

#### ✓ **Importancia del estudio**

Esta investigación será útil para lograr incrementar la productividad de la empresa de estudio y de igual manera a otras empresas con procesos similares, al incrementar la productividad de sus procesos, podrán realizar sus operaciones con menor cantidad de recursos, generando un ahorro y lograr ser más competitivos en la industria.

Esta investigación será útil para resolver problemas de variabilidad en los distintos procesos de una organización, cuya consecuencia debido a dicha variabilidad es la generación de productos fuera de especificación y desperdicios.

La presente investigación servirá para poder identificar la causa raíz de los problemas presentados en el proceso de producción de una planta de plásticos, se logrará incrementar la productividad de esta planta mediante la reducción de la variabilidad de sus procesos, reducción de productos no conformes y mermas en el proceso, de esta manera incrementado su productividad, reduciendo el consumo de materia prima y optimizando los costos de producción.

La investigación a desarrollar tiene justificación metodológica, ya que sigue los pasos de la metodología Lean Six Sigma, aplicados para incrementar la productividad en una planta de plásticos, con lo cual empresas de procesos similares podrán beneficiarse del procedimiento de esta investigación para lograr los resultados deseados.

Tiene utilidad empresarial, ya que esta organización podrá realizar sus actividades utilizando menos recursos. Aquellas empresas con procesos de producción similares podrán tomar como referencia esta investigación y ayudar

a resolver sus problemas, ya que las herramientas y metodologías utilizadas en esta investigación pueden ser aplicadas en otros procesos similares.

Los beneficios que aportará esta investigación son los resultados de haber implementado esta metodología en una planta de plásticos, y de qué manera se utilizó dicha metodología y herramientas para poder solucionar los problemas presentados, sirviendo como una guía para otras industrias con problemas similares en sus procesos productivos.

Al observar los procesos de producción de esta organización y los problemas que están presentes en ellos, considero pertinente realizar esta investigación con el fin de mejorar el proceso de producción, optimizar los recursos utilizados, reducir los costos e incrementar el margen de ganancias, haciendo a esta empresa más competitiva en el rubro plástico.

✓ **Justificación del estudio**

**Justificación Teórica**

Comprobar los conceptos teóricos de Lean Six Sigma y los resultados que pueden lograr su implementación en una planta de rubro plástico.

**Justificación Metodológica**

La investigación es de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, siendo el método explicativo y de diseño cuasi experimental.

**Justificación Práctica**

Obtener los resultados de la implementación de la metodología, comprobar con los resultados teóricos y aportar con los nuevos resultados.

### **Justificación Económica**

Se podrán lograr ahorros en el área de producción lo cual se traduce a menores costos de fabricación y mayor margen de ganancia para la empresa, haciéndola más competitiva en la industria.

### **Justificación Social**

Se podrá tomar como referencia esta investigación para poder implementar la metodología Lean Six Sigma en otros tipos de procesos en distintas industrias.

### **Justificación Legal**

Con el trabajo de investigación, uno de los objetivos es lograr es la disminución de mermas de plástico (plástico que se reprocesa o se desecha), de acuerdo con la Ley N°30884, la ley peruana que regula el consumo de productos plásticos de un solo uso que generan riesgo para la salud pública y/o el medio ambiente (Ministerio del Ambiente),

## **1.4 Delimitación del estudio**

La delimitación del estudio está compuesta por la espacial y temporal, las cuales se detallan a continuación.

- **Delimitación espacial**

La investigación se realizará en el área de producción de una empresa privada dedicada a la fabricación de productos plásticos para la construcción, ubicada en el distrito de Lurín, en la ciudad de Lima, Perú. Se obtendrá información de los procesos productivos para evaluar e implementar las mejoras propuestas.

Se trabajará en la línea de fabricación de planchas de policarbonato, comprendida desde el abastecimiento de materia prima al inicio de la línea (tanques de recepción de resina) hasta el final del proceso productivo, (el embalado del film y recepción del producto final).

- **Delimitación temporal**

Se obtendrá y analizará los datos del proceso de fabricación en el periodo correspondiente del 2018-2019.

- **Delimitación teórica**

Abarca los conceptos de Lean Six Sigma, todo lo que comprende Lean Manufacturing y Six Sigma.

## **1.5 Objetivos de la investigación**

### **1.5.1 Objetivo General**

Implementar la metodología Lean six sigma para mejorar la productividad en una empresa de plásticos.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- a) Implementar DMAIC para reducir la variabilidad de gramajes en la producción de planchas de policarbonato de la empresa de plásticos.
- b) Implementar la metodología 5 S para reducir las mermas en la producción de planchas de policarbonato de la empresa de plástico.
- c) Implementar la estandarización del trabajo para reducir los productos no conformes de planchas de policarbonato de la empresa de plástico.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Marco Histórico**

La empresa sobre la que se realizará el estudio, se fundó en el año 2013 incursionando en el rubro plástico, empezando solo con una línea de fabricación para planchas de policarbonato, convirtiéndose en las pocas fábricas de productos de policarbonato en el Perú.

Con el transcurso de los años, la empresa fue creciendo rápidamente, logrando buena posición en el mercado nacional y extranjero, como por ejemplo Bolivia, Ecuador, México, Colombia, Panamá, Costa Rica y Chile.

Además de la línea de fabricación de planchas de policarbonato, la empresa adquirió una línea para la fabricación de conectores de policarbonato, y en el último año adquirió dos líneas de fabricación de paneles de pvc, para abarcar nuevos mercados.

Actualmente la empresa se encuentra en expansión, adquiriendo nuevos equipos para aumentar su capacidad instalada y poder cubrir la demanda de productos de policarbonato.

En cuanto a la metodología *Lean six sigma*, esta tiene sus orígenes dentro de una conocida empresa internacional, que inició como un proyecto interno que logró grandes resultados, en el texto “Seis sigmas, Métodos estadísticos y sus aplicaciones” se indica lo siguiente:

Seis sigmas es una filosofía que nació en los años 80 como una estrategia de mercado y mejora de la calidad por parte de la empresa Motorola, cuando el ingeniero Mikel Harry promovió la evaluación y el análisis de los procesos de esta empresa.

Con el surgimiento de la globalización, las empresas empezaron a desarrollar técnicas más eficientes para mejorar la productividad, lo que involucró como principal objetivo reducir la variabilidad de los factores que alteraban el desempeño normal de un proceso.

Se tomó como medida estadística confiable la desviación estándar del proceso, simbolizada como  $\sigma$ , como un indicador del desempeño. Esta iniciativa se convirtió en el foco para mejorar la calidad en Motorola, y llamó la atención de Bob Galvin (Director Ejecutivo), y con su apoyo, además de darle importancia a la variación, también lo hicieron con la mejora continua, observó que cuando se hace un control estadístico al proceso, se toma como variabilidad natural cuando el valor de sigma oscila a valores del promedio. Esto implica que se considera normal que 3.4 elementos del proceso no cumplan con los criterios establecidos por cada millón de oportunidades. (Herrera y Fontalvo, 2011, p. 8)

Otros autores mencionan lo siguiente sobre la historia de six sigma, como se detalla a continuación:

Esta metodología fue conocida a finales de los ochenta, por el éxito que tuvo en Motorola, en la cual se puso en práctica para reducir errores, defectos y retrasos, a través del seguimiento y corrección de los diferentes procesos de la empresa. Las técnicas asociadas en esta metodología están

asociadas a los conceptos por el enfoque de calidad, que se refiere a la producción de cero defectos, pues se trata de minimizar los errores de tal manera que no implique un problema de costo y desperdicios que minimicen el rendimiento de la empresa. (Baca, et al., 2014, p.121)

Actualmente, la metodología Lean six sigma es utilizada en todo tipo de industrias, bienes y servicios, ya que ayuda a controlar y reducir la variabilidad de los procesos y reduciendo los defectos, convirtiéndose en una de las metodologías más importantes en el mejoramiento de los procesos.

Inicialmente la metodología Six sigma se respaldaba con puras herramientas estadísticas.

Con el transcurso de los años se fueron incluyendo metodologías y herramientas del *Lean manufacturing*, conociéndose a esta integración como el *Lean Six Sigma*, utilizado para el mejoramiento de los procesos, reducción de variabilidad, e incremento de la productividad.

En cuanto a la historia de la productividad, tiene sus orígenes desde la fabricación en serie, ya con conocimientos sólidos de procesos, se empezó a buscar la mejor forma de realizar los procesos de producción, generando la menor cantidad posible de desperdicios, utilizando adecuadamente los recursos necesarios para el proceso de producción, se puede detallar lo siguiente:

Las técnicas de organización de la producción surgen a principios del siglo XX con los trabajos realizados por F.W. Taylor y Henry Ford, que formalizan y modifican los conceptos de fabricación en serie que habían empezado a ser aplicados al final del siglo XIX, (...).

Taylor estableció las primeras bases de la organización de la producción a partir de la aplicación del método científico a procesos, tiempos, equipos, personas y movimientos.

Posteriormente Henry Ford introdujo las primeras líneas de fabricación de automóviles en donde hizo un uso intensivo de la normalización de los productos, la utilización de máquinas para las tareas elementales, la simplificación-secuenciación de las tareas y recorridos, la sincronización entre procesos, la especialización del trabajo y la formación especializada.

En ambos casos se trata de un conjunto de acciones y técnicas que buscan una nueva forma de organización y que surgen y evolucionan en una época en donde era posible la producción rígida en masa de grandes cantidades de producto. (Hernández y Vizán, 2013, p.12)

Actualmente lo que toda organización está buscando es incrementar la productividad de sus procesos, ya que vivimos en un mundo globalizado, altamente competitivo, en el cual sólo las empresas que cuenten con los procesos más eficientes, eficaces y productivos logran una ventaja competitiva, ya que al tener una mayor productividad, lograrán producir más productos ( bienes y servicios) con los mismos o menos recursos utilizados por las empresas competidoras, reduciendo los costos y ofreciendo dichos productos a precios más competitivos.

## 2.2 Investigaciones relacionadas al tema

A continuación, se muestran algunas tesis relacionadas con las variables del estudio que se va a realizar, y como cada una de ellas, da soporte a mis hipótesis planteadas.

En la tesis de Delgado, E. (2015) titulada “Propuesta de un plan para la reducción de la merma utilizando la metodología six sigma en una planta de productos plásticos”, para obtener el grado de Magister, tiene como objetivo lo siguiente: “proponer la implantación de la metodología Six Sigma en una planta de producción de productos plásticos para la reducción de la merma” (Delgado, 2015, p.3).

Para ello el autor utilizó la metodología DMAIC, en la fase de mejoras utilizó herramientas tales como análisis causan efecto, poka yokes, gráficos de control y mantenimiento preventivo.

Como conclusión pudo afirmar que era necesaria la implementación de la metodología Six Sigma para la reducción de merma en la línea de polietileno y que su proyecto fue de alto impacto y bajo esfuerzo.

Esta investigación es una clara guía para el futuro desarrollo de esta tesis, ya que el investigador aplicó la metodología six sigma en una planta del mismo rubro, aunque los procesos de producción no son los mismos, los principios aplicados de esta metodología son de gran aporte, ya que uno de sus problemas principales es la reducción de la merma en el área de producción, lo cual coincide con uno de mis problemas específicos.

Lo que me llama la atención es que todos los problemas identificados, ha identificado la causa raíz mediante un análisis profundo con ayuda del diagrama causa-efecto, con esta herramienta logró identificar los factores que originaban los problemas que estaba investigando, y estos resultados les sirvió para realizar todos los controles y planes de mejora.

Uno de los planes de mejora que más me interesó de esta investigación fue el uso de poka-yokes, entre ellos la utilización de un molde, con lo que pudo resolver gran parte de los problemas presentados evitando la salida de productos fuera de especificación.

Básicamente, el mayor impacto de las mejoras realizadas y que lograron tal propósito, fue la implementación de controles, formatos, chek list, para distintos problemas identificados mediante la ayuda de los diagramas causa efecto y FMEA o AMEF.

Esto debido a que unas de las principales causas que generaban los problemas identificados eran la falta de procedimientos, como indica el autor en una de sus conclusiones:

Es necesario la implementación de la metodología Six Sigma en la línea de polietileno para la reducción del scrap, según análisis y pruebas realizadas se espera que los primeros meses el impacto en la reducción del scrap sea mayor ya que muchos de las causas encontradas se deben a falta de procedimientos y capacitación del personal operario. Todo hace indicar que es un proyecto de alto impacto y bajo esfuerzo. (Delgado, 2015, p. 104)

El autor, indica que una de sus mejoras fue la implementación de procedimientos, esto hace referencia a la estandarización del trabajo, una herramienta *Lean*, una de las herramientas que voy a utilizar en esta investigación para tratar el problema específico planteado de la merma generada en el área de producción, por lo que si se implementa la estandarización del trabajo a mi problema específico que es la merma en el área de producción, se espera la reducción significativa de esta.

En la tesis de Aguirre, A.(2010) titulada “Aplicación de metodología Seis Sigma para mejorar la capacidad de proceso de la variable nivelación vertical en la aplicación de pintura (fondos) de una ensambladora de vehículos”, para obtener el grado de Magister, tiene como objetivo: “Mejorar por lo menos en un 30% respecto a las mediciones preliminares, la capacidad de proceso de nivelación vertical en planta de

pintura de una ensambladora de vehículos, utilizando el ciclo DMAIC propio de la metodología Six Sigma” (Aguirre,2010, p. 29).

Como conclusión, el autor afirma que “Se logró mejorar el indicador de la capacidad de proceso en un 80% aplicando la metodología DMAIC, y con una certeza del 95% que la mejora es significativa” (Aguirre, 2010, p. 90).

Al lograr mejorar la capacidad de proceso, esto indica que se logró que la variabilidad natural de este proceso sea menor a los límites de especificación, por lo que todos los resultados estarán dentro de las especificaciones.

Dentro de la metodología DMAIC, en la fase de controlar, se encuentra la aplicación de gráficos de control, mediante la medición y control de los espesores de pintura como indica el autor a continuación:

Para mantener espesores de película adecuados que no generen piel naranja por estar bajos o excesos consumos por estar altos, se comenzaron a hacer mediciones de espesor y nivelación a dos cabinas desplegando los resultados en un pliego (...). (Aguirre, 2010, p.85).

Con esta implementación, el autor indica que los operadores de la línea podían monitorear los resultados del proceso, y ver los momentos en los que el proceso empezaba a variar y poder tomar medidas correctivas. Otra de las conclusiones que redactó el autor fue la siguiente:

A pesar de que después de la mejora todavía se observan datos por debajo, del límite mínimo de especificación, se logró reducir la desviación estándar de 0.59 a 0.37 lo que evidencia una reducción significativa en la variación del proceso. (Aguirre, 2010, p.90)

Esta conclusión respalda la hipótesis planteada de que, con la utilización de los gráficos de control, se logrará disminuir y controlar la variabilidad de los resultados de los procesos.

Esta tesis es otro claro ejemplo que confirma las bases teóricas sobre la metodología lean six sigma, ya que se logró reducir la variabilidad del proceso de estudio, utilizando la metodología DMAIC, propia del Six Sigma, dentro de ello incluido las gráficas de control. Gracias a ello ahora el proceso es más eficiente, tiene menos margen de error y se logró incrementar su productividad.

En la tesis de Nieto, A. (2014) titulada “Implementación de la metodología Seis Sigma para el mejoramiento continuo del proceso de venta de servicios tecnológicos y comunicacionales en Ecuadortelecom S.A.” para obtener el grado de Magister, tuvo como objetivos específicos lo siguiente:

El autor quiso “establecer un control estadístico que proporcione mediciones, herramienta de análisis y mecanismos de control de todos los procesos, por medio de métricas e indicadores de gestión” (Nieto, 2014, p. 8)

También el autor propuso “reducir los errores producidos por el proceso de ventas actual que implica altos costos operativos, desperdicios de materiales y reprocesos, retrasando el servicio final esperado por el cliente externo” (Nieto, 2014, p. 8)

La implementación de la metodología six sigma en esta investigación fue muy clara y compacta, en la cual puede apreciarse claramente cada uno de los pasos de la metodología apoyada siempre de herramientas estadísticas para sustentar los resultados.

El autor también pudo determinar que la principal causa de variabilidad del proceso que estaba investigando era por falta de capacitación en el personal involucrado en el proceso de ventas además de no tener como medir sus resultados.

Las mejoras realizadas por el autor consistieron en la capacitación del personal involucrado en los procesos y realizar controles mediante formularios, promoviendo una cultura de medición dentro de la organización, de esta manera los responsables del proceso podían tener esa retroalimentación y tomar medidas correctivas ante la variación de los estándares ya establecidos.

El autor llegó a la conclusión que se logró cumplir con los objetivos de su investigación y que es factible implementar esta metodología que ofrece grandes oportunidades de desarrollo.

En esta investigación para poder controlar la variabilidad se implementó el uso de formatos y procedimientos, además de otros controles al igual que en las otras investigaciones mencionadas anteriormente.

Se tomó como referencia esta investigación, porque la metodología seis sigma no solo puede ser aplicada en fábricas, plantas, procesos de producción, también puede ser aplicada en procesos administrativos, servicios, ya que todo proceso tiene variabilidad, como se explicará en el marco teórico, e implementando herramientas estadísticas y la metodología seis sigma, logró reducir los errores, logrando ofrecer una mejor calidad de servicio al cliente.

En la tesis de Trevino, E. (2004), para obtener el grado de Magister, tiene como objetivo “Incrementar la eficiencia, utilizando métodos estadísticos de Seis Sigma, en el departamento de inspección de recibo para detectar el material rechazado antes de que llegue a la producción” (Trevino, 2004, p. 6).

Para ello el autor utilizó la metodología DMAIC, propia de Seis Sigma, identificando el proceso, realizando análisis de la causa raíz de los problemas mediante el diagrama Ishikawa, realizando análisis de capacidad de proceso, estadística descriptiva, ANOVA, Diseño de experimentos, graficas de control y Lean manufacturing.

Como conclusión, el autor afirma que “la metodología Seis Sigma proporciona una herramienta de mejora continua eficaz, a través de estadística aplicada, que apoya la satisfacción del cliente y optimización de recursos” (Trevino, 2004, p. 60).

Esta investigación es otro ejemplo que sobre los efectos de la metodología six sigma en los procesos, los cuales son la reducción de la variabilidad, reducción de los errores y de esta manera logrando la satisfacción del cliente final.

En la tesis de Rueda, L. (2007) titulada titula “Aplicación de metodología Seis Sigma y Lean manufacturing para la reducción de costos, en la producción de jeringas hipodérmicas desechables”, para obtener el grado de Magister, tiene como objetivo:

Aplicar las técnicas y herramientas de las metodologías Seis Sigma y Lean manufacturing para reducir costos de producción de jeringas hipodérmicas desechables de 1 mL y disminuir los desperdicios un 4% y alcanzar los niveles estándar de eficiencia de producción. (Rueda, 2007, p. 4)

La autora utilizó herramientas como árbol de características críticas de la calidad, AMEF, diagramas causa-efecto, diagrama de Pareto, diseño de experimentos (DOE). Como conclusión afirma que se puede aceptar la hipótesis planteada debido a los resultados.

Lo que más resalta de esta investigación es la aplicación de DOE (diseño de experimentos), como indica la autora en una de sus conclusiones

Una vez que los nuevos materiales llegaron a planta se procedió a realizar un screening DOE con el fin de determinar cuáles eran las variables críticas de entrada al proceso. Con los resultados obtenidos se construyeron 2 gráficos, (...), los cuales indicaron la existencia de 2 variables críticas del proceso: temperatura de formado y precalentado. (Rueda, 2007, p.90)

Esta herramienta es muy útil ya que ayudó a identificar aquellas variables que influían de forma significativa en los resultados del proceso, en base a ello se realizó las mejoras.

Algunas de las mejoras realizadas en el proceso de estudio, fue la implementación de formatos, procedimientos para estandarizar las actividades a realizar y planes de control, de manera que, al lograr controlar las variables más significativas en los resultados del proceso, se logró tener un mayor impacto y poder lograr los objetivos planteados.

Como se explicó en el marco histórico, la metodología *six sigma* y el *lean manufacturing*, se integraron para crear el *Lean six sigma*, que combina las herramientas estadísticas y las herramientas *Lean*, como por ejemplo las 5s, la estandarización del trabajo, los *poka yoke*, etc.

Resulta de una gran ayuda debido a que estas dos filosofías aportan mucho al control y mejoramiento de los procesos.

Como indican los autores de las tesis mencionadas anteriormente, implementado la metodología *six sigma* se pudo medir, y analizar los distintos procesos, se pudo identificar que variables que infligen más en los procesos, y en base a los resultados, realizar la propuesta e implementación de las mejoras.

Toda la parte estadística fue utilizada para realizar mediciones, análisis y la toma de decisiones, mientras que los métodos aplicados para realizar las mejoras respectivas son utilizaron algunos principios del *lean manufacturing*, por lo que los cinco antecedentes presentados anteriormente, son parte del sustento de mis hipótesis, las cuales tienen como objetivo incrementar la productividad de la planta de plásticos, controlar la variabilidad de los gramajes de los productos terminado, reducir la cantidad de merma generada en el proceso de producción y reducir la cantidad de productos no conformes.

## 2.3. Estructura teórica y Científica que sustenta el estudio (teorías, modelos)

### 2.3.1 Distribución Normal

La metodología Lean Six Sigma, sigue los principios de la distribución normal para poder medir y controlar la variabilidad de los resultados del proceso, Arias, afirma lo siguiente:

El Six Sigma estadísticamente mide la capacidad del proceso para operar libre de defectos o fallos. Como ejemplo, si fabricamos 340 metros de manguera, se trabajará un nivel de tres sigmas, se esperaría que aproximadamente un metro de manguera podía quedar defectuosa, si la misma manguera se fabricara a un nivel de Six Sigma, únicamente un milímetro podría quedar defectuoso. Todo esto porque el Six Sigma se basa específicamente en la distribución normal, donde la media  $\pm 6\sigma$  se encuentra el 99.99 % de las observaciones, lo que supone un porcentaje de error inferior al 0.01%, o sea, que el proceso trabaja libre de fallos como se mencionó anteriormente. (Arias, 2008, p. 266)

La distribución normal con una amplitud de  $6\sigma$ , puede apreciarse en la Figura 5.

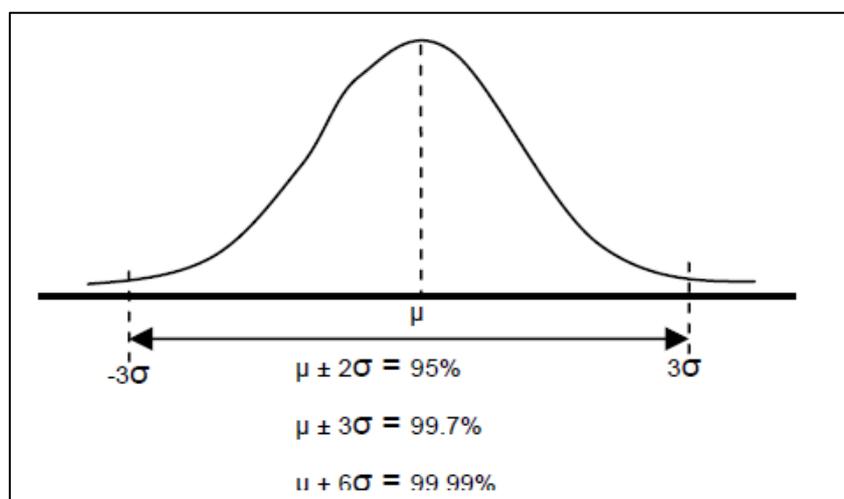


Figura 5: Gráfica de la distribución normal.  
Fuente: Arias, 2008.

### 2.3.2 Metodología DMAIC

Las etapas de un proyecto Six Sigma sigue la metodología DMAIC, que es el acrónimo de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. A continuación, se detalla cada uno de estos conceptos.

Se puede afirmar con respecto al DMAIC lo siguiente:

La metodología Six Sigma para mejorar procesos, se desarrolla en cinco fases de forma cíclica, DMAIC. Esta se enfoca en reducir la variación más que en probar o controlar los productos/servicios ya terminados. Se emplean herramientas lean a fin de llevar a cabo una correcta implementación, por lo que hablamos de Lean Six Sigma al combinar la estructura metodológica y herramientas de análisis de datos de Six Sigma con las herramientas de proceso y principios de Lean. (Gisbert y Rodrigo, 2016, p. 18).

Para otros autores, el DMAIC implica lo citado a continuación:

La metodología DMAIC es un aspecto muy importante de Six Sigma, una empresa puede obtener beneficios importantes al institucionalizar el enfoque DMAIC para la resolución de problemas, de esta manera eliminará los problemas recurrentes. (Sri y Gupta, 2016, p. 29).

Definir, la primera etapa de esta metodología se define de la siguiente forma:

En la etapa de definición se enfoca el proyecto, se delimita y sientan las bases para su éxito. Por ello al finalizar esta fase se debe de tener claro el objetivo del proyecto, la forma de medir su éxito, su alcance, los beneficios potenciales y las personas que intervienen en este. (Gutiérrez y Vara, 2009, p.426)

Otro concepto del DMAIC es:

Seis Sigma se organiza como un proceso compuesto de cinco fases conocido como DMAIC. Es un proceso iterativo en el cual cada iteración representa un ciclo de mejora. Al finalizar un proceso de mejora, el equipo busca la mejora continua uniendo un nuevo ciclo DMAIC. (Piattini, García, 2018, p.63)

### 2.3.3 Árbol de necesidades

El árbol de necesidades se puede definir como “una herramienta gráfica para identificar las necesidades del cliente, y traducirlas en requisitos de rendimiento específicos, realizables y medibles” (Socconini, 2015, pág.23).

La estructura del árbol de necesidades se puede observar a continuación en la Figura 6.

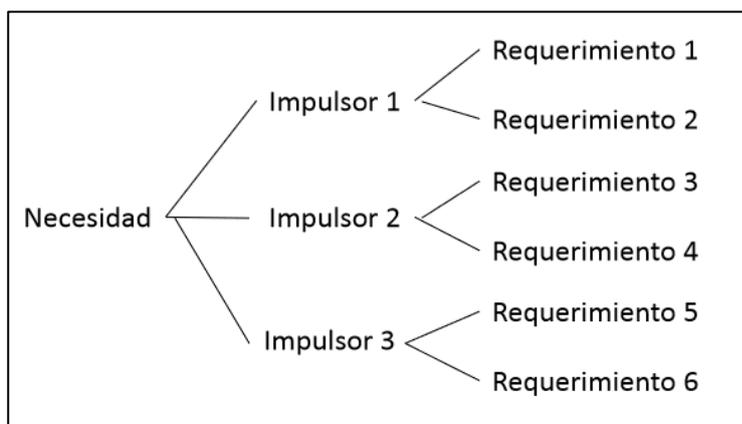


Figura 6: Estructura del árbol de necesidades  
Fuente: Socconini (2015)

Al finalizar, se debe detener como resultado los requerimientos necesarios para poder cumplir con las necesidades de los clientes.

### 2.3.4 Modelo de Kano

El modelo de Kano se puede definir como “una herramienta que permite analizar, entender y clasificar, de acuerdo con sus prioridades, los requerimientos de los clientes” (Socconini, 2015).

A continuación, en la Figura 7, se puede apreciar el modelo de Kano.

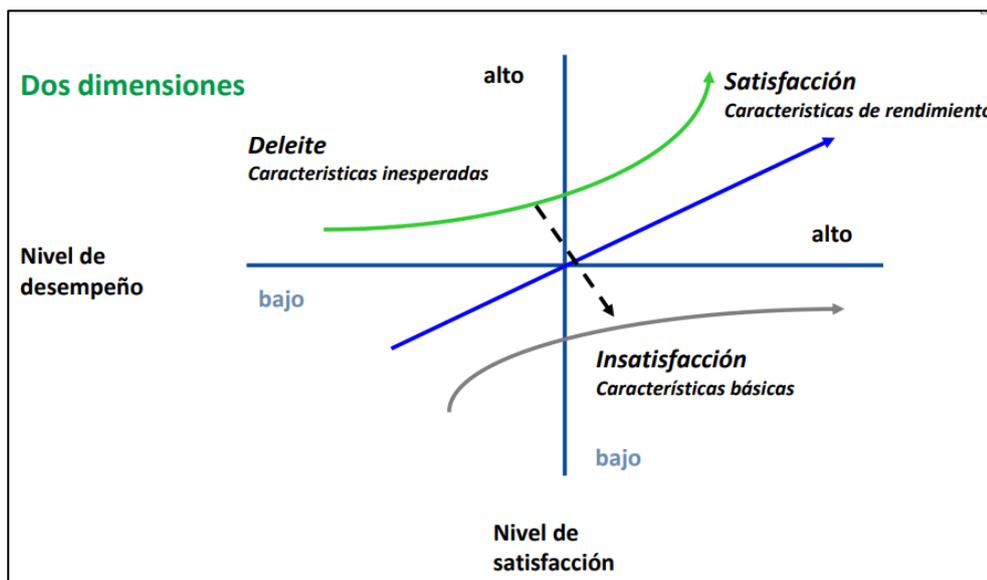


Figura 7: Modelo de Kano  
Fuente: Socconini (2015)

Como indica Socconini, el modelo de Kano sirve para clasificar, los requerimientos de los clientes, y para ello utiliza las dimensiones de desempeño y satisfacción.

En el modelo de Kano se puede apreciar tres tipos de características: básicas, de rendimiento e inesperadas.

El modelo de Kano clasifica los requerimientos de los clientes en tres categorías como se detalla a continuación:

Los requerimientos básicos son aquellos que los clientes asumen como presentes en el bien o servicio. Los requerimientos específicos son aquellos los que el cliente ha determinado, por ejemplo, en un hotel, el cliente solicita conexión a internet, un centro de negocios para imprimir, o un restaurante para consumir alimentos. Los requerimientos no especificados son los que el cliente identifica al interactuar con el bien o servicio, lo que les encanta por tener por conveniencia y que no se esperaba. (Sri y Gupta, 2016, p. 40).

Las características básicas se encuentran en la sección inferior del nivel de satisfacción y se interpreta de la siguiente manera:

Si una característica del producto no está presente (nivel de desempeño bajo), entonces el usuario estará totalmente insatisfecho (nivel de satisfacción bajo), pero si la característica del producto si está presente (nivel de desempeño alto), entonces el nivel de satisfacción del usuario como indica la curva es normal, no se siente muy satisfecho ya que es una característica básica, algo que el usuario espera siempre encontrar en ese producto.

Las características de rendimiento, como se observa en la gráfica, sigue un comportamiento lineal, esto se interpreta de la siguiente manera:

Si una característica no está presente en el producto, el usuario no estará satisfecho, pero a medida que esta característica va aumentando, también lo hará la satisfacción del usuario.

Las características de inesperadas se interpretan de la siguiente manera:

De acuerdo a la curva en la gráfica, si esta característica no está presente en el producto o servicio, el usuario estará satisfecho, ya que es una característica que no esperaba que el producto tenga, pero si la característica está presente en el producto, entonces la satisfacción del cliente incrementa considerablemente.

Utilizando el modelo de Kano, se podrá clasificar las distintas necesidades de los clientes, y en base a esta clasificación, se tendrá una mejor decisión de por dónde debe de ir enfocando el proyecto de mejora, teniendo en cuenta que las características básicas deben de ser atendidas primero, ya que son las críticas para los clientes, luego las características de rendimiento y finalmente las inesperadas.

### **2.3.5 QFD (despliegue de función de calidad)**

EL QFD es un método que permite traducir los requisitos del cliente en requerimientos internos para que puedan cumplir con estos requisitos. (Socconini, 2015, p. 25).

La particularidad del QFD es que permite cuantificar, y priorizar aquellos requerimientos internos para que se puedan cumplir con los requisitos del cliente.

Se trabaja con una matriz, en la que un equipo multidisciplinario primero, identifica los requerimientos del cliente con respecto a un bien o un servicio, las pondera de acuerdo a un criterio establecido, luego identifica los requerimientos internos del proceso para poder cumplir con los requisitos de los clientes, y la multiplicación y la suma de la ponderación de estos factores va determinando la prioridad de los requerimientos internos para poder satisfacer los requerimientos de los clientes.

La etapa de la Medición es en la cual se obtienen datos, resultados de los procesos y cada una de sus actividades.

Las herramientas de mayor utilidad en esta etapa son: mapeo de procesos a un nivel detallado, métodos para realizar un estudio de repetitividad y reproducibilidad y otras técnicas estadísticas, como herramientas básicas, capacidad de proceso, AMEF y métricas Seis Sigma. (Gutiérrez y Vara, 2009, p.428)

En la etapa de Medición, también se puede indicar lo siguiente:

Se establecen las fuentes de información, el punto de inicio para el desempeño y la oportunidad de mejora, para definir el costo por la mala calidad. El punto de partida para el desempeño se establece en términos de rendimiento a la primera, defectos por unidad, defectos por millón de oportunidades, nivel sigma, estadística básica, como media, mediana, desviación estándar. (Sri y Gupta, 2016, p. 22).

Otros autores definen la etapa de medición como:

Consiste en medir los fallos generados por procesos identificados, los cuales generan características críticas para la calidad. En el desarrollo de esta etapa se utilizan diferentes herramientas para la recolección y análisis de dato, a la hora medir se utiliza estudio de capacidad de proceso, y correlación entre defectos y confiabilidad. (Rodrigo y Gisbert, 2016, p. 18).

Al finalizar la etapa de medición, se deben de tener los datos para posterior análisis en la siguiente fase, además de ello, ya se realizaron las primeras mediciones del proceso, tales como la media, mediana, moda, desviación estándar, etc.

Algunas herramientas utilizadas en la fase medir son las siguientes:

## **SIPOC**

Por sus siglas en inglés, Supplier, input, process, output y customer, (proveedor, entrada, proceso, salida, cliente). El Sipoc, “permite identificar restricciones y actores que pueden contribuir al éxito o fracaso del proceso, así como problemas potenciales asociados al mismo” (Sri y Gupta, 2016, p. 42).

Otra definición sobre el diagrama sipoc se muestra a continuación:

La transparencia en los procesos comienza con la creación de un diagrama sipoc (por sus siglas en inglés para proveedor-entrada-proceso-salida-cliente), para señalar los componentes básicos de un proceso. El sipoc cuenta de cuatro a cinco pasos de gran nivel, que identifican el alcance del trabajo, yendo a nivel de detalles. También muestra las salidas del proceso, que es importante para los clientes, las entradas clave y los proveedores. (George, 2014, p.21).

A Continuación, se muestra un ejemplo de un sipoc en la Figura 8.

S	I	P	O	C
almacen	frascos	ENVASADO	frascos envasados	area de etiquetado
RRHH	tapas			
Gerencia de planta	liquido			
	personal			
	envasadora		frascos observados	

Figura 8: Ejemplo de SIPOC  
Elaboración: Propia.

### Promedio y mediana

Estos términos se pueden definir de la siguiente manera: “el promedio se calcula sumando el total de los datos dividiéndolo entre el número total de datos. La mediana es el valor central que divide el número de datos por la mitad” (Sri y Gupta, 2016, p. 55).

### Desviación estándar

La desviación estándar es que tan disperso está un conjunto de datos con respecto a su propia media. La desviación estándar “es la raíz cuadrada de la varianza, se utiliza para predecir la probabilidad de un evento con base en la distribución estadística predefinida, como la distribución normal o de poisson.” (Sri y Gupta, 2016, p. 56).

La etapa de Análisis, es en la cual se estudian los datos obtenidos en la etapa de medición, se procesan y analizan para determinar la relación entre variables que originan los problemas objetos de estudio, identificando las causas de los problemas. En esta etapa se utiliza la estadística descriptiva e inferencial.

Las herramientas de utilidad en esta fase son muy variadas, por ejemplo, lluvia de ideas, diagrama de Ishikawa, Pareto de segundo nivel,

estratificación, cartas de control, mapeo de procesos, los cinco por qué, despliegue de la función de calidad para relacionar variables de entrada con variables de salida, diseño de experimentos, prueba de hipótesis, diagrama de dispersión, entre otras. (Gutiérrez y Vara, 2009, p. 429)

Otro concepto sobre la fase analizar, la detallo a continuación:

El enfoque es identificar y examinar patrones, tendencias y correlaciones entre las entradas y las salidas del proceso. Se utilizan equipos multidisciplinarios para elaborar el diagrama causa-efecto, donde el propósito es identificar la causa raíz del problema. Al final de esta etapa se define la relación  $Y=f(x)$ . (Sri y Gupta, 2016, p. 23).

En esta etapa se utilizan algunas herramientas estadísticas tales como Ishikawa, capacidad de proceso, nivel sigma, histogramas, diagrama de correlación, gráficos boxplot y ANOVA.

### **Diagrama Causa-Efecto**

El diagrama Causa- Efecto “también llamado diagrama de pescado, que consiste en determinar todos los factores que influyen en el resultado de un proceso “(Herrera y Fontalvo, 2011, p. 36).

Generalmente en las ramas del diagrama, se colocan las 6 M, que hace mención a los materiales, la medición, mano de obra, maquinas, método y medio ambiente.

Otra definición clara sobre el diagrama causa -efecto, es la siguiente:

Es una herramienta gráfica que se obtiene de una tormenta de ideas, en la que se presentan de una forma organizada todas las causas de un determinado efecto, con lo cual resulta más fácil visualizar los problemas y las posibles zonas de mejora. (Socconini, 2015, p. 162)

Otro autor define el diagrama causa efecto de la siguiente manera:

El análisis de causa raíz es una excelente herramienta para identificar causas potenciales para un problema determinado. En 1943, el Dr. Ishikawa, presidente del instituto Mushay, usó por primera vez el diagrama, es por eso que también se le conoce como diagrama de Ishikawa, o también es conocido como diagrama de espina de pescado. (Sri y Gupta, 2016, p. 61).

El diagrama Ishikawa, se realiza utilizando la técnica de lluvia de ideas con un equipo multidisciplinario.

Es recomendable que se profundice en los niveles de las ramas, ya que si se llega a más niveles dentro de las causas es muy probable que selle a identificar las causas raíz del problema, y así tener éxito en la solución del problema estudiado.

A continuación, en la Figura 9, se puede apreciar un ejemplo del diagrama Causa- Efecto.

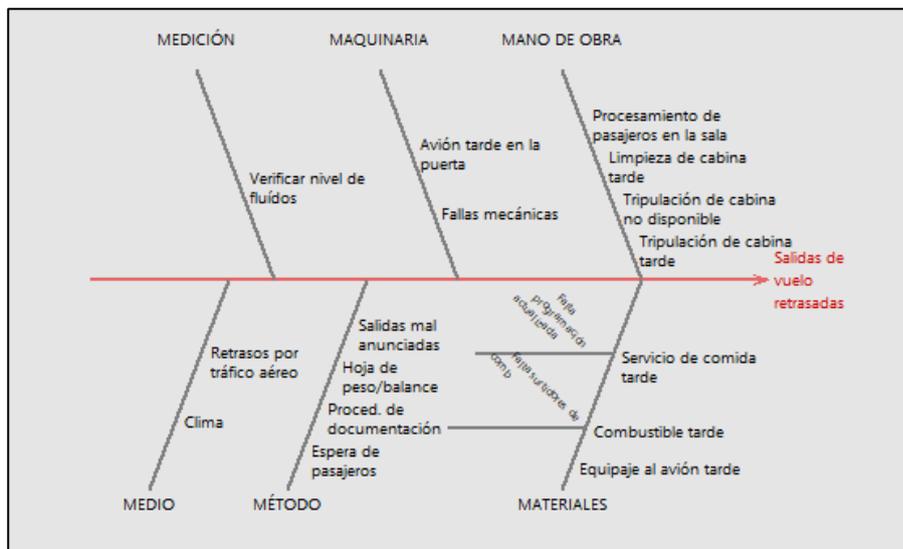


Figura 9: Ejemplo del diagrama Causa-Efecto  
Fuente: Minitab 18

## Histograma

El histograma es una herramienta estadística que se utiliza para visualizar y ver la frecuencia de los datos. “Es una representación gráfica de la distribución de frecuencias de un conjunto de datos, (...)” (Socconini, 2015, p.194).

El histograma es una herramienta de la etapa analizar debido a que, con ello, se puede identificar la forma de la distribución de un conjunto de datos, y poder determinar si estos datos siguen una tendencia a una distribución normal o si se ve afectado por causas especiales. Además de ello también sirve para comprar la dispersión de los conjuntos de datos, del mismo modo que se utilizan los gráficos caja y bigote, también se puede comprar entre dos o más grupos de datos y ver la dispersión entre cada grupo de datos con respecto a una característica definida.

Los histogramas también sirven para determinar la capacidad del proceso, ya que con los histogramas se determina la variación del conjunto de datos, y se puede comparar con el ancho de los límites de especificación establecidos por el cliente y la organización y de esta forma determinar si el proceso es capaz o no de cumplir con dichos requerimientos. A continuación, en la Figura 10 se muestra un ejemplo del histograma.

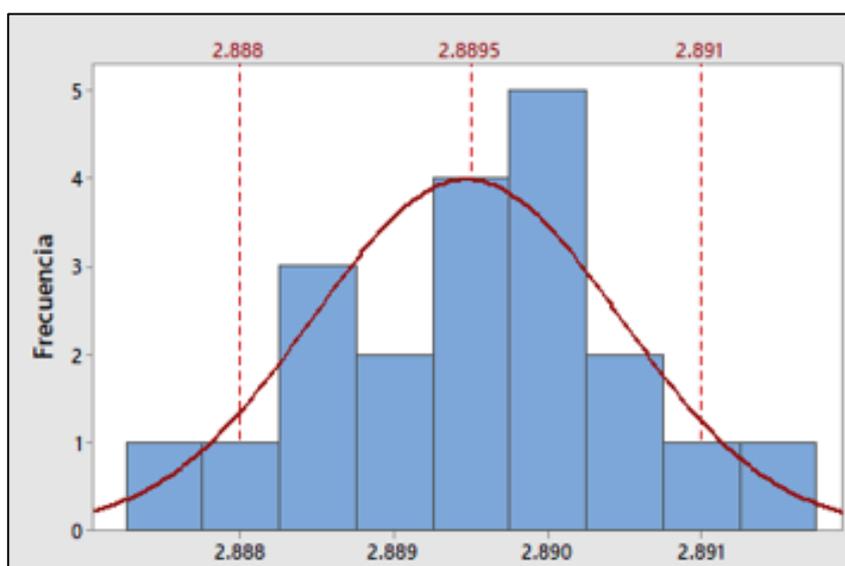


Figura 10: Ejemplo de un Histograma  
Fuente: Minitab 18

## Diagrama de caja y bigote

Los Box Plots “se utilizan para comparar rápidamente dos o más distribuciones de variación de la misma característica, es como parar dos personas espalda con espalda para comparar sus estaturas”. (Socconini, 2015, p.224)

El gráfico de caja y bigote, se puede apreciar en la Figura 11.

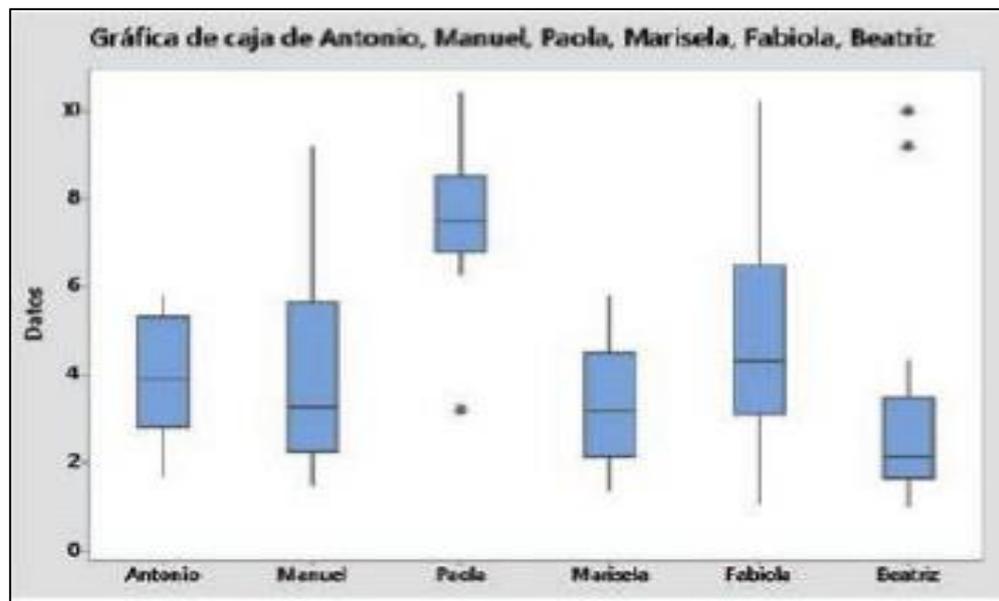


Figura 11: Ejemplo de gráfico caja y bigote  
Fuente: Luis Socconini (2015).

## Diagrama de correlación

Es una gráfica que se realiza con dos variables para poder observar el grado de asociación entre ellos.

Socconini afirma que este diagrama se utiliza cuando:

Existen muchas situaciones donde el objetivo de analizar el comportamiento de dos variables es determinar en qué medida están relacionadas, en vez de usar una variable para predecir el valor de la otra. Para ello se utiliza la correlación. (Socconini, 2015, p. 185).

La correlación también puede definirse como “un método que consiste en analizar estadísticamente la posible relación lineal entre dos características cuantitativas, X e Y, y de los elementos de una población” (De la Horra, 2018, p. 161).

A continuación, en la Figura 12 se observa un ejemplo de diagrama de correlación.

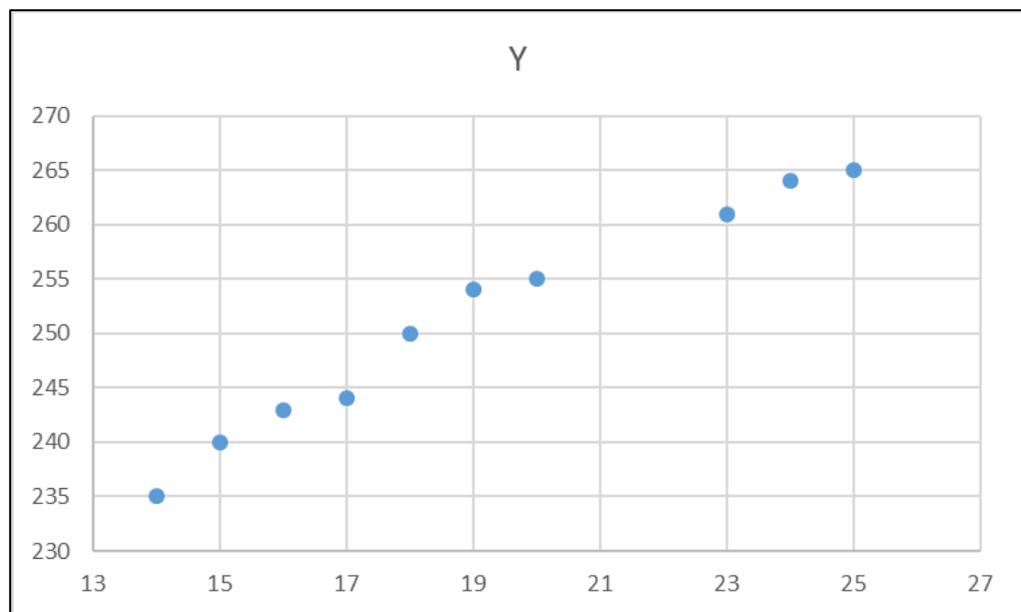


Figura 12: Ejemplo de diagrama de correlación.  
Elaboración: Propia.

En el ejemplo presentado, se puede observar una relación fuerte entre dos variables, lo cual se puede interpretar que, si se incrementa la variable de entrada, también podría aumentar la variable de salida.

En la etapa de Mejorar, ya identificado los problemas y las causas raíces de que originan estos problemas, se realizan propuestas para eliminar dichas causas. “Es recomendable generar diferentes alternativas de solución que atiendan las diversas causas, apoyándose en algunas de las siguientes herramientas: lluvia de ideas, técnicas de creatividad, hojas de verificación, diseño de experimentos, poka-yoke, etc.” (Gutiérrez y Vara, 2009, p.429).

Ya controlado las causas de los problemas, se debe de realizar acciones para mejorar los resultados, los tiempos, de las actividades del proceso de estudio.

Es recomendable evaluar las distintas alternativas de solución presentadas en esta etapa, para ello se utiliza una matriz en donde se presentan las distintas alternativas y se califican bajo mismos criterios, estos criterios son propuestos por el equipo que realiza la mejora, la alternativa con mayor puntuación, será la que se implementará.

A continuación, en la tabla 1.1 se muestra un ejemplo de la matriz de evaluación de alternativas.

### **Diseño de experimentos**

El diseño de experimentos se utiliza en la etapa de mejorar del DMAIC, y tiene como propósito lograr la combinación ideal de los diferentes niveles de los distintos factores que optimicen el resultado o característica de calidad.

El diseño de experimentos también puede definirse como un “conjunto de técnicas activas que manipulan el proceso para inducirlo a proporcionar la información que se requiere para mejorarlo” (Socconini, 2015, p.260).

El diseño de experimentos se plantea de la siguiente forma:

Se quiere analizar una característica cuantitativa  $X$  (que suele llamarse variable de respuesta), sometida a  $n$  niveles de un único factor. Fundamentalmente nos interesa estudiar si el factor tiene una influencia significativa desde el punto de vista estadístico sobre la variable de respuesta (De la Horra, 2018, p. 165).

En la Figura 13, se puede apreciar las variables de entrada y salida de un proceso.

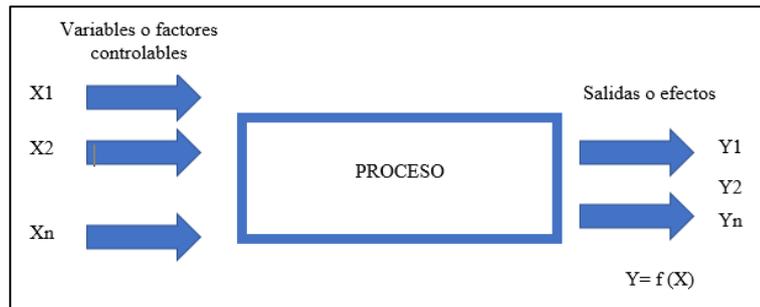


Figura 13: Variables de entradas y salidas de un proceso  
Fuente: Luis Socconini (2015)

Del gráfico, puede observar como las variables de entrada (representadas por las X) que están incluidas dentro de las 6 M, influyen en las variables de salida del proceso (representadas por las Y), el objetivo del diseño de experimentos es encontrar la combinación de los distintos valores (niveles) de los factores (variables) para lograr maximizar o minimizar un resultado. Ver Tabla 01.

Tabla 01:  
Matriz de evaluación de alternativas

Solución	Facilidad 0.2	Rapidez 1.25	Mejor tecnología 0.4	alto impacto 1.75	opinión del cliente 0.8	menos costo 0.8	Suma de peso x Rango
A	4	3	1	2	1	3	11.65
B	1	4	2	1	2	4	12.55
C	2	1	3	4	4	2	14.65
D	3	2	4	3	3	1	13.15

Fuente: Gutiérrez y Vara, 2009.

La última etapa de esta metodología, Controlar, hace referencia a mantener las mejoras realizadas en la etapa de Mejora, “en esta etapa se diseña un sistema que mantenga las mejoras logradas (...), y se cierra el proyecto” (Gutiérrez y Vara, 2009, p. 430). Todo esto se realiza para no recaer en los errores que se cometían antes de la implementación de las mejoras, sostener los cambios realizados, y posteriormente ir mejorando el proceso.

### Control estadístico de procesos

El control estadístico de los procesos (CEP), se puede definir de la siguiente manera:

Es un conjunto de herramientas para lograr la estabilidad y mejorar la capacidad de los procesos mediante la reducción de la variabilidad. Así pues, tiene como objetivo monitorear de forma continua o sistemática el comportamiento de un proceso mediante técnicas estadísticas. (Barbosa, 2016, p. 7)

Otro concepto sólido sobre el control estadístico de procesos como indica Socconini (2015), “permite detectar la variación de causas especiales por medio de las señales fuera de control. Estas señales no pueden decir por qué el proceso está fuera de control, solamente que lo está” (Socconini, 2015, p. 304).

La variación en un proceso se da por causas comunes y causas especiales. Las causas comunes “es la variabilidad aleatoria debida a la combinación de muchos efectos difíciles de identificar. Un proceso que incluye solo causas comunes se dice que está bajo control estadístico” (Socconini, 2015, p. 309).

Mientras que las causas especiales son aquellas que son ajenas al proceso, “es la variabilidad imputable a causas que es posible identificar, corregir y, lo que es mejor, eliminar. Un proceso que incluye causas especiales no está bajo control estadístico” (Socconini, 2015, p. 309).

Lo que se puede concluir de los conceptos presentados sobre el control estadístico de procesos, es que permite identificar cuando un proceso está o no bajo control estadístico.

Además de ello se debe de conocer las causas de la variabilidad, el objetivo es tener un proceso con variabilidad ocasionada por causas comunes, ya que son propias del proceso y se pueden reducir utilizando diferentes métodos, en cambio si se tiene un proceso variable debido a especiales, entonces no estará bajo control estadístico, ya que factores externos influyen en su comportamiento.

## Gráficas de control

La gráfica de control puede definirse de la siguiente manera:

Es una gráfica que sirve para observar y analizar la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Así es posible distinguir entre variaciones por causas comunes y causas especiales, lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y decidir las mejores acciones de control y de mejora. Los límites de control superior e inferior definen el rango de variación, de forma que si el control está bajo control estadístico existe una alta probabilidad de que las muestras caigan dentro de los límites de control. (Gutiérrez y Vara, 2009, p. 186).

Los elementos que contiene un gráfico de control, pueden apreciarse en la Figura 14.

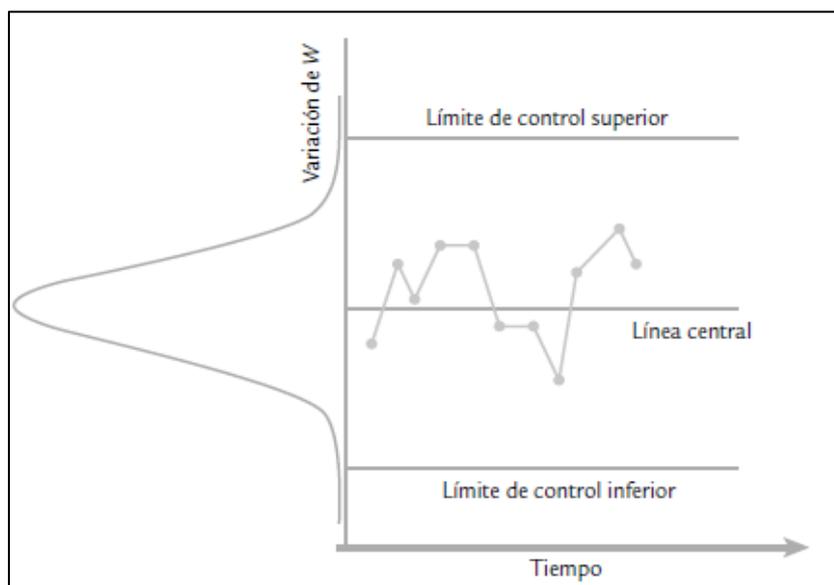


Figura 14: Elementos de un gráfico de control.  
Fuente: Gutierrez, 2009.

## Límites de control

Los límites de control se calculan mediante la variación del estadístico que se encuentra en el gráfico de control. De esta forma está la clave para establecer

los límites de para cubrir cierto porcentaje de la variación natural del proceso. (Gutiérrez y Vara, 2009, p .187).

Para hallar los límites de control, se utiliza la relación entre la media y la desviación estándar del proceso, de tal manera que:

- ✓ LCS:  $\bar{X} + A_2 \bar{R}$
- ✓ LC:  $\bar{X}$
- ✓ LCI:  $\bar{X} - A_2 \bar{R}$

Dónde: LCS: Límite de control superior

LC: Línea central

LCI: Límite de control inferior

Ya teniendo los límites de control del proceso, se puede realizar la siguiente afirmación:

Con los valores de estos límites y bajo condiciones de control estadístico, se obtiene una alta probabilidad de que los valores de las observaciones del proceso estén dentro de estos límites, si los valores de las observaciones del proceso siguen una distribución normal, esta probabilidad será del 99.73%. (Gutierrez y Vara, 2009, p. 188)

### **Tipos de gráficos de control**

Las gráficas de control se dividen en: Gráficas de control para variables y Gráficas de control para atributos, las definiciones de cada una de ellas se dan a continuación de la siguiente manera:

Las gráficas de control para variables se aplican a características de calidad de tipo continuo, como el peso, volumen, longitud. Las gráficas de control por atributo se aplican al monitoreo de características de calidad de tipo pasa o no pasa, o donde se cuenta el número de no conformidades que tienen los productos analizados. (Gutiérrez y Vara, 2009, p. 188)

Los gráficos de control por variables más usados son los siguientes:

- ✓ X de medias
- ✓ R de rangos
- ✓ S de desviación estándar
- ✓ X de medias individuales

En resumen “los gráficos de control se convirtieron rápidamente en una herramienta de uso habitual en las líneas de producción, como medio para estudiar los procesos a lo largo del tiempo, identificar procesos fuera de control, tendencias, estacionalidades, etc” (López, 2016, p.18).

### **Diagrama de Pareto**

El diagrama de Pareto es una herramienta que sirve para priorizar aquellos elementos que tienen el mayor impacto sobre la situación que se está analizando. Además, “también conocido como el Análisis de Pareto. Su objetivo principal es separar los problemas de calidad en pocos defectos vitales, generando el ochenta por ciento de los problemas de calidad (...) y los muchos defectos triviales” (Herrera y Fontalvo, 2011, p. 35).

Otra definición conceptual del diagrama de Pareto es:

también conocido como la regla de 80-20, permite separar a los elementos que son pocos, pero vitales de los que son muchos, pero triviales. Este principio afirma que todo grupo de factores que realizan un efecto, solo pocos son responsables del mayor parte del efecto, y la mayoría genera la menor parte del efecto. (Tolosa, 2016, p.56)

A continuación, en la Figura 15, puede apreciarse un ejemplo de esta herramienta.

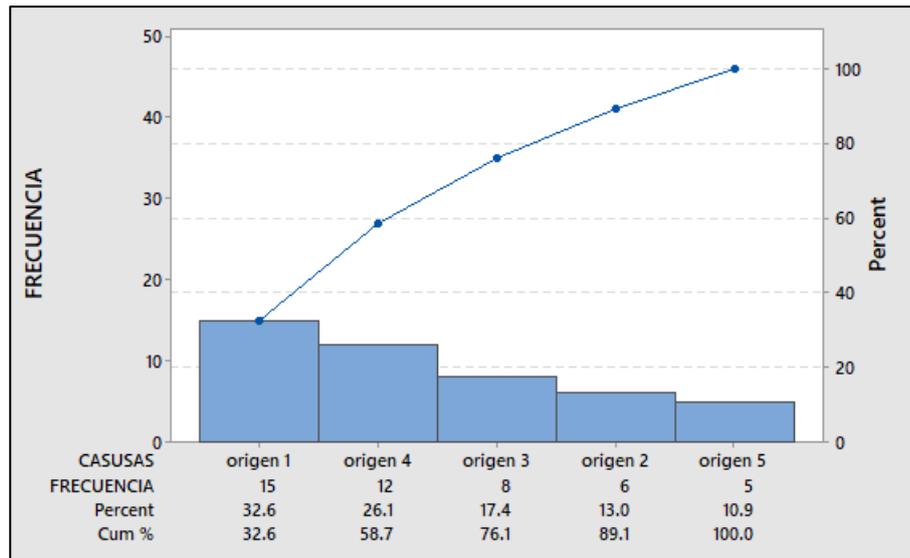


Figura 15: Ejemplo de Diagrama de Pareto  
Fuente: Minitab 1834

## Estandarización del trabajo

La estandarización según mencionan algunos autores puede definirse de la siguiente manera:

La estandarización son descripciones escritas y gráficas que nos ayudan que a comprender las técnicas más eficientes y fiables de una fábrica y nos provee de los conocimientos precisos sobre personas, máquinas, materiales, métodos, mediciones e información, con el objeto de hacer productos de calidad de modo confiable, seguro y rápidamente. (Hernández y Vizán, 2013, pp. 45-46)

Los mismos autores también explican una serie de pasos para realizar la estandarización, teniendo como objetivo la mejora continua, estos pasos se detallan a continuación:

Partiendo de las condiciones corrientes, primero se define el estándar del modo de hacer las cosas, a continuación, se mejora, se verifica el efecto de la mejora y se estandariza de nuevo un método que ha demostrado su eficacia, la mejora continua se da mediante la repetición de este ciclo. (Hernández y Vizán, 2013, p.46).

En todo proceso ya sea de producción o servicio, debe de tener estándares, ya que ayudan a realizar el proceso bajo mediciones ya establecidas. “Los estándares afectan a todos los procesos de la empresa, de manera que donde exista el uso de personas, materiales, máquinas, métodos, mediciones e información debe de existir un estándar” (Hernández y Vizán, 2013, p.46). Se puede apreciar claramente la importancia de tener los procesos estandarizados y como pueden apoyar a lograr los objetivos de la organización.

Las características que debe de tener la estandarización se pueden apreciar en la Tabla 02

Tabla 02:  
Características que debe presentar la estandarización

<b>Características de la estandarización</b>
Debe ser simple y claro de los mejores métodos para producir las cosas
Proceder de mejoras hechas con las mejoras técnicas y herramientas disponibles en cada caso.
Garantizar su cumplimiento
Considerarlos siempre como punto de partida para mejoras posteriores.

Fuente: Hernández y Vizán, 2013.

## **Disciplina 5 S**

Las 5 S puede definirse de la siguiente manera:

Es una técnica que se puede aplicar en todo el mundo con resultados excelentes, por su sencillez y efectividad, por lo que es una de las primeras herramientas a implantar en toda empresa que aborde el Lean Manufacturing. (Hernández y Vizán, 2013, p. 37)

Otro concepto válido de 5 S es el que cito a continuación:

Es una disciplina que logra mejoras en la productividad del lugar de trabajo a través de la estandarización de hábitos de orden y limpieza,

esto se logra en cinco etapas, que, haciendo diferentes cambios en los procesos, servirá para mantener su beneficio a largo plazo. (Socconini, 2014, p.95)

Además de los conceptos vistos anteriormente, también puede definirse que “5S es una herramienta de lean manufacturing que trata de establecer y estandarizar una serie de rutinas de orden y limpieza en el puesto de trabajo” (Manzano y Gisbert, 2016, p.18).

Esta disciplina utiliza 5 pasos, los cuales son: Seiri (Seleccionar), Seiton (Ordenar), Seiso (Limpiar), Seiketsu (Estandarizar) y Shitsuke (Seguimiento).

A continuación, se describen cada uno de los pasos de las 5S:

La primera S, Seleccionar, consiste en eliminar aquellos objetos que sean innecesarios y no aporten valor alguno al producto final. Para llevar a cabo dicha tarea se deben de identificar cada uno de los objetos dentro del área de trabajo según su utilización identificando y separando aquellos objetos que son necesarios de los que no lo son.

Ordenar, en esta fase se propone ordenar los objetos necesarios para la realización de las tareas, de esta forma se definen las ubicaciones y se definen las identificaciones necesarias para cada objeto.

La tercera S, limpieza, indica que es necesario realizar una limpieza en el área de implementación de 5S, de este modo se pretende identificar los defectos y eliminarlos. Así mismo seiso incluye una integración de la limpieza diaria como parte de inspección del puesto de trabajo y da más importancia al origen de la suciedad y defectos encontrados que a sus consecuencias.

Estandarizar, mediante la cual se establecen las rutinas para la correcta implementación de la herramienta en la empresa, se definen los estándares necesarios para llevar acabo las tres primeras S, de esta

forma nos aseguramos de que las etapas anteriores se realicen del mejor modo posible.

La última S corresponde a la disciplina, es en donde se normaliza la aplicación del trabajo y convertir en hábito todos aquellos estándares definidos en la fase anterior. Este resulta ser uno de los pasos más sencillos y complicados de la herramienta, es sencillo porque se trata de mantener el estado de las cosas y aplicar las normas establecidas, además es el más complicado porque se debe de mantener el interés del personal a lo largo de la implementación de las 5S. (Manzano y Gisbert, 2016, p.22-24).

### **2.3.5 Capacidad del proceso**

Los productos (bienes y/o servo), los resultados de un proceso, presentan características que deben cumplir con las especificaciones establecidas por el cliente o la organización para poder afirmar que el proceso funciona de manera correcta, para ello se realiza el análisis de capacidad del proceso.

La capacidad de un proceso es la aptitud para generar un producto que cumpla con los límites de especificaciones determinadas. En el mejor de los casos, es conveniente que los límites de fluctuación natural del proceso se encuentran dentro de los límites de especificación del producto. De esta manera se asegura que la producción cumplirá con las especificaciones. (Barbosa, 2009, p.16).

Para medir la diferencia entre las especificaciones del proceso y su variación natural, se utiliza el índice de capacidad del proceso.

### **2.3.6 Índice Cp**

La capacidad del proceso se formula de la siguiente forma:

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Dónde: LSE: Límite superior de especificación

LIE: Límite inferior de especificación

Si el índice de Cp es igual a 1, quiere decir que el límite de especificación es igual a la dispersión natural del proceso, por lo que entonces el promedio de las variables del resultado cumple con las especificaciones, cuando el índice Cp es menor a uno, indica que la variación natural del proceso es mayor que los límites de especificación del proceso, entonces habrá existencia de productos no conformes debido a que están fuera del rango establecido. Si el índice Cp es mayor a 1, indica que los límites del proceso son mayores a su variación natural, por lo que se le conoce como proceso robusto, ya que todos los resultados de las variables del proceso estarán dentro de las especificaciones.

## **Productividad**

Para iniciar con los conceptos de productividad, los siguientes autores indican lo siguiente:

Para poder comprender el concepto de productividad en toda su magnitud, es indispensable previamente, tener clara la naturaleza del territorio, en donde tiene lugar la empresa. Considere que la productividad es una variable de desempeño de las empresas, al igual que la calidad, eficiencia, competitividad o retabilidad. (Baca, et al., 2014, p.74)

La productividad es una característica que se busca incrementar en los procesos, se puede afirmar lo siguiente:

La productividad se define como la relación entre cantidad de productos que pueden ser bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados. En la fabricación, la productividad sirve para evaluar el rendimiento de los talleres, las máquinas, los equipos de trabajo y los trabajadores. (Jiménez y Castro, 2009, p.6)

La productividad también puede definirse como “Un importante indicador, que refleja el óptimo uso de los recursos en la producción de bienes y servicios” (González, 2017, p.22).

La productividad se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Productividad} = \frac{\text{Salidas}}{\text{Entradas}} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos}}$$

Se entiende que “en esta fórmula observamos las salidas y las entradas igual a la cantidad de recursos que se generan e ingresan al sistema” (Socconini, 2018, p.37).

Ya definido la productividad mediante una fórmula matemática, podemos concluir que, para incrementar la productividad, se debe de producir lo mismo con menos insumos, producir más con lo mismo o producir más con menos insumos.

Un autor afirma lo siguiente con respecto a los limitantes de la productividad:

La productividad no es infinita, se ve afectada por una gama muy amplia de problemas que limitan los resultados que se pueden obtener a partir de los recursos disponibles. Los ingenieros japoneses han clasificado esos limitantes en tres grupos: sobrecarga, variabilidad y desperdicios. (Socconini, 2019, p.31)

### **Repetibilidad y Reproducibilidad (MSA)**

Para evaluar el sistema de medición se utiliza el MSA (análisis del sistema de medición), el cual su función es “ayudar a determinar si estamos midiendo correctamente las especificaciones que el departamento de diseño establece sobre los productos y sus componentes y si los datos son confiables” (Arguelles, 2018, p.178)

Esta herramienta es utilizada como un filtro, ya que como indica el autor mencionado anteriormente, se podrá determinar la confiabilidad del sistema de medición, y en base a

los resultados se podrá analizar los registros históricos o se tendrá que tomar medidas correctivas tales como estandarizar el método de medición o calibración de los equipos de medición.

### **Otros conceptos básicos complementarios para la mejora continua**

Es importante tener en cuenta más conceptos y principios que se mostraron en los párrafos anteriores, los cuales los he resumido en un solo bloque el cual muestro a continuación:

Siempre para tener mayor opción a resultados, se debe de iniciar con la generación de una lluvia de ideas, que es la mejor opción para realizar un diagrama de Ishikawa.

Para realizar una correcta tormenta de ideas se recomienda lo siguiente:

Escoger personas que estén dispuestas a participar que quieran aportar ideas y sin miedo a hacer el ridículo, y se procurará que no haya interferencias jerárquicas y que todo el mundo se sienta libre. Formar un grupo homogéneo en cuanto a jerarquía y nivel cultural pero heterogéneo en carácter, sexo, especialidades, etc. (Rajadell, 2019, p.105)

### **PDCA**

En un sistema de mejora continua, el cual comprende cuatro etapas, las cuales se describen de la siguiente manera:

En la planeación, esta etapa es muy importante, pues delimita lo que la empresa espera de un sistema de control de calidad, es decir, como se medirá la eficacia de las disposiciones instrumentadas, se fijan los objetivos y el plan de acción. Realización, una vez que los planes de acción y objetivos estén definidos, es posible arrancar, a menudo es la etapa de mayor duración. Revisión, implica verificar que el plan de acción se haya puesto en práctica de manera adecuada y también que

los resultados obtenidos sean congruentes con los objetivos establecidos. Acción, dependiendo de los resultados en la fase de revisión, si los resultados están de acuerdo con los objetivos establecidos, en esta etapa se permite formalizar y capitalizar, de lo contrario se realizan correcciones o acciones preventivas. (Gillet y Seno, 2014, p. 28)

Para lograr mejoras de cualquier tipo en cualquier proceso, siempre hay que tener presente la variación del proceso que se está estudiando, los siguientes autores lo describen de la siguiente forma:

La variación del proceso es la causa de la ruina de los procesos, porque el objetivo de los procesos es producir resultados que se encuentren dentro de rangos ya establecidos. Una variación excesiva o incontrolada incumple el objetivo, a la vez que deteriora la calidad, genera pérdidas e impone un exceso de costo para detectar y corregir estas ineficiencias. Se pueden diferenciar dos tipos de variación en el desempeño de un proceso: variación por causa común, que se define como la imperfección natural, como resultado de su diseño, no es perfecto, y la variación por causa especial, que proviene de factores externos o intermitentes que desestabilizan el proceso. (Martínez y Cegarra, 2014, p.54)

Lean Six Sigma como ya se vió anteriormente, es una metodología para mejorar la calidad y la productividad. Se debe recordar que la “calidad se asocia a un estándar de alto costo, pero no siempre es cierto, su valor está mas relacionado con las propiedades inherentes de los productos o servicios” (Álvarez, 2015, p. 19).

Todos los conceptos sobre Lean y Six Sigma, si bien nacieron de ambientes de manufactura, hay que tener en cuenta que estos principios también son aplicables a todo tipo de procesos, como se indica a continuación:

Los servicios, crecen a una tasa anual de 13%, mientras que la manufactura solo lo hace a un 3% en promedio. Hasta ahora, lean six sigma se ha aplicado en el 5% de las empresas de fabricación en todo el mundo, pero solo 1 o 2 % de las empresas de servicios están comenzando a aplicarlo. (Socconini, 2019, p.14)

Como una breve conclusión del marco teorico referente a todo lo que implica Lean Six Sigma, se puede afirmar que:

Six Sigma involucra tanto un sistema estadístico como una filosofía de gestión, es decir, es una forma mas inteligente de dirigir un negocio o departamento y usa datos para impulsar mejores resultados. Los esfuerzos van dirigidos a mejorar la satisfacción de los clientes, reducir el tiempo de ciclo y suprimir los defectos. (Luna, 2014, p.250)

Lean Six Sigma como una filosofía de trabajo, logra mejorar la calidad y la productividad de manera significativa en todo tipo de proceso, no necesariamente un proceso de producción como lo vimos en el marco teórico, también logra los mismos resultados en otro tipo de procesos, como por ejemplo los de servicios.

## 2.4. Definición de términos básicos

**Proceso:** “Conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan para transformar entradas en salidas por medio de las 6 M” (Barbosa, 2016, p.6).

**Lean manufacturing:** “Metodología de trabajo para simplificar las operaciones reduciendo al mínimo las diez grandes fuentes de desperdicios” (Martín, Socconini, 2019, p.16).

**Variación:** “La diferencia de las características de un producto o servicio. Generalmente la variación se puede entender de dos formas, como dispersión o como desviación” (Barbosa, 2016, p.26).

**Desperdicio:** “Cualquier actividad que consume recursos, pero no agrega valor. Se clasifican de dos maneras: necesarias para el proceso pero que no agregue valor o no necesaria para el proceso y que no agregue valor” (Socconini, 2018, p.408).

**Kaizen:** “Cambios menores o mejoras que se dan continuamente. Son rápidas y efectivas en procesos de mejora que se aplican herramientas Lean” (Socconini y Reato, 2019, p.115).

**Producto no conforme:** “Uno de los 7 desperdicios. Son aquellas salidas que no cumplen con el estándar o con las especificaciones establecidas” (Socconini, 2018, p.402).

**Calidad:** “Grado en el que un producto o servicio cumple los fines para los cuales se fabrica o se presta, y le da total satisfacción al consumidor, incluso superando sus expectativas” (Barbosa, 2016, p.1)

**Producción:** “Todo proceso de transformación de los recursos en bienes y servicios mediante la aplicación de una determinada tecnología” (Anaya, 2017, p.13)

**Procedimiento:** “Documento u otro medio alternativo, describe para un determinado proceso cuestiones como actividades, responsables, recursos” (Pardo, 2017, p.21)

## 2.5 Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis (figura o mapa conceptual)

La metodología Lean Six Sigma proviene de la unión de dos modelos de gestión empresarial: Lean Manufacturing y Six Sigma

Con herramientas propias de cada uno de estos modelos de gestión, se pueden solucionar distintos problemas en una empresa, algunas herramientas son: 5S, Estandarización del trabajo y control estadístico de procesos.

La teoría redactada anteriormente, puede apreciarse en Figura 16.

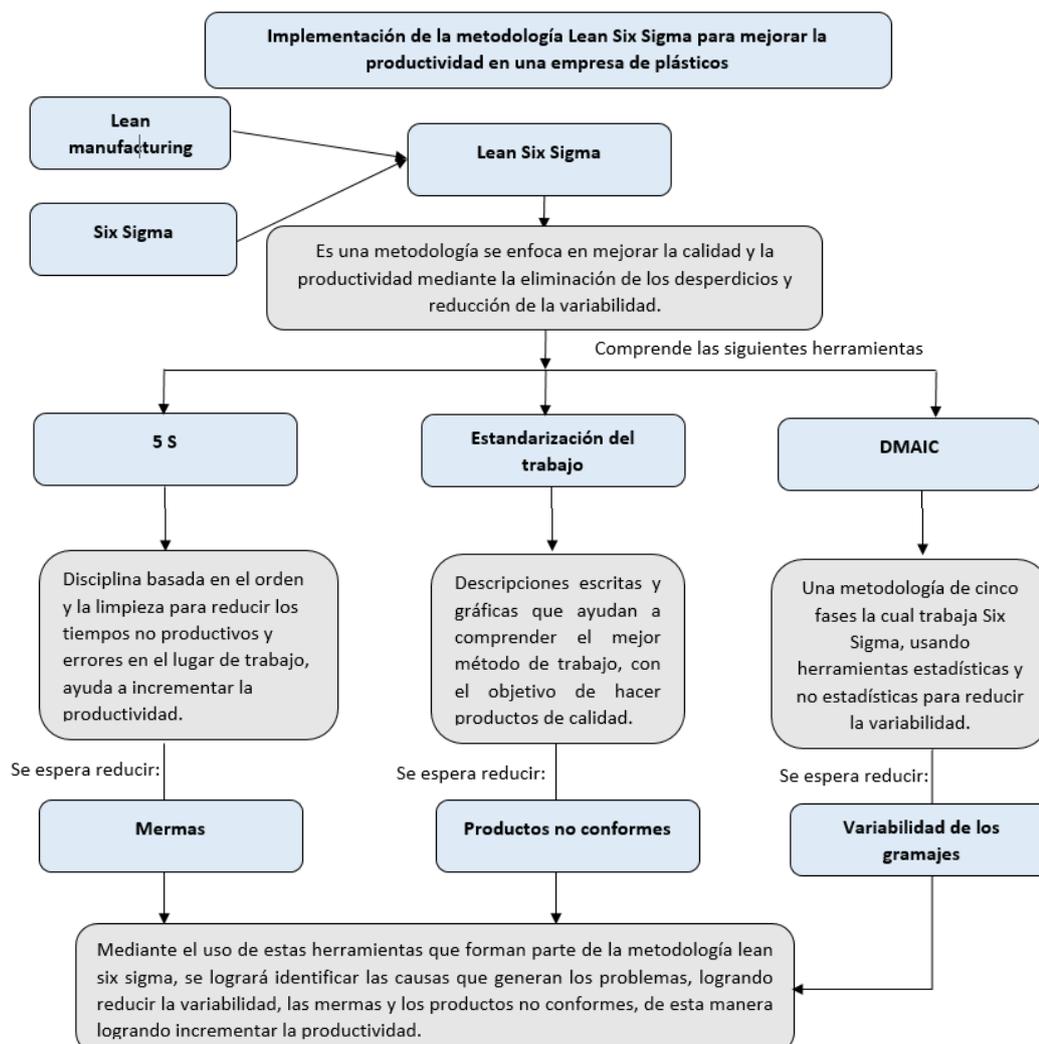


Figura 16: Mapa conceptual del marco teórico.

Fuente: L. Socconini (2019), M. Manzano y V. Gisbert (2016)

Elaboración: Propia.

## **2.6 Hipótesis**

### **2.6.1 Hipótesis General**

Si se implementa la metodología Lean six sigma entonces mejorará la productividad en una empresa de plásticos

### **2.6.2 Hipótesis Específicas**

- a) Si se implementa el DMAIC, entonces se reducirá la variabilidad de gramajes en la producción de planchas de policarbonato de la empresa de plásticos
- b) Si se implementa la metodología 5 S entonces se reducirá las mermas en la producción de planchas de policarbonato de la empresa de plásticos
- c) Si se implementa la estandarización del trabajo entonces se reducirán los productos no conformes de planchas de policarbonato de la empresa de plásticos

## 2.7 Variables

### Relación entre variables

#### ✓ **Hipótesis General**

Variable Independiente: Metodología Lean Six Sigma

Variable Dependiente: Productividad

#### ✓ **Primera Hipótesis**

Variable Independiente: DMAIC

Variable Dependiente: Variabilidad de gramajes

#### ✓ **Segunda Hipótesis**

Variable Independiente: Metodología 5S

Variable Dependiente: Mermas

#### ✓ **Tercera Hipótesis**

Variable Independiente: Estandarización del trabajo

Variable Dependiente: Productos no conformes

## Operacionalización de variables

Las variables independientes como las variables dependientes y sus indicadores, presentadas anteriormente permitieron trasladar el marco metodológico en un plan de acción, donde se pudo determinar en detalle el método a través del cual cada una de las variables serán medidas y analizadas.

A continuación, se muestra la matriz de operacionalización utilizada para el estudio de la investigación. Ver Tabla 03.

Tabla 03:  
Matriz de operacionalización

<b>Variables Independientes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>
DMAIC	Si / No	Cinco fases de forma cíclica que se enfoca en reducir la variación más que en controlar los productos/servicios ya terminados. (Gisbert & Rodrigo, 2016, p.18)	
Metodología 5S	Si / No	Técnica con resultados excelentes, por su sencillez y efectividad, siendo una de las primeras herramientas cuando se implanta lean (Hernández & Vazán, 2013, p.37)	
Estandarización del trabajo	Si / No	Son descripciones escritas y gráficas que nos ayudan a comprender las técnicas más eficientes y fiables de fábrica, con el objetivo de hacer productos de calidad. (Hernández & Vizán, 2013, pp. 45-46)	
<b>Variables Dependientes</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>
Variabilidad de gramajes	$(\text{Promedio de gramaje} / \text{Estándar}) \times 100$	La dispersión que existe entre los valores de los gramajes de los productos terminados (Fuente: Propia.)	Dispersión que existe entre los resultados de las variables de un proceso
Mermas	$(\text{Kg merma} / \text{Kg producción bruta}) \times 100$	Actividad no necesaria para el proceso y que no agrega valor. (Socconini, 2018, p.402)	Desperdicios de materia prima debido a ineficiencias en el proceso.
Productos no conformes	$(\text{Productos no conformes} / \text{Total de producción}) \times 100$	Aquellas salidas que no cumplen con el estándar o con las especificaciones establecidas (Socconini, 2018, p. 402)	Productos fuera de especificación, los cuales no pueden cumplir con el propósito por el cual fueron fabricados

## **CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1 Tipo, método y diseño de la investigación**

El enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que utiliza como base estadística para la comprobación de las hipótesis planteadas.

Según otro autor, una investigación tiene enfoque cuantitativo cuando “permite examinar los datos de la investigación de forma numérica, utilizando la recolección de datos para probar hipótesis” (Azañero, 2016, p. 120).

Otro concepto de enfoque cuantitativo es “un modelo cuantitativo es muy específico y concreto. Por lo general plantean hipótesis y luego se verifican si son verdaderas o falsas”. (Arbaiza, 2013, p.30).

#### **✓ Tipo de la investigación**

Esta investigación, es de tipo aplicada, debido a que se aplicarán conocimientos ya adquiridos para modificar una situación.

✓ **Método de la investigación**

El método de la investigación es explicativa, ya que “es aquel tipo de estudio que busca descubrir los orígenes, causas y razones del problema de investigación, trata de responder o dar cuenta del porqué del objeto de investigación (Azañero, 2016, p. 121).

Otro autor nos indica que “Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos del establecimiento de relaciones entre conceptos, es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, p.84).

✓ **Diseño de la investigación**

El diseño de la investigación es experimental – cuasi experimental, ya que tiene como finalidad demostrar la relación entre las variables mencionadas anteriormente mediante la manipulación de las variables independientes, además la muestra (línea de producción) no se asignó de manera aleatoria, sino debido al impacto que tendrá la investigación sobre la línea de producción que es más significativa para la empresa.

Es un diseño cuasi experimental debido a que “no se asignó a la suerte la muestra de los grupos de investigación que recibirán el tratamiento experimental”. (Azañero, 2016, p. 120).

### **3.2 Población y muestra**

La población son todas las líneas de producción de productos plásticos las cuales comprende 5 líneas.

La muestra es una línea de fabricación, sobre la cual se realizará la investigación, debido a que representa la mayor parte de la producción en kg/mes y es la más importante en la planta.

✓ **Población General**

Registro de la productividad de la planta de plásticos del año 2018.

✓ **Muestra General**

Registro de la productividad de la línea muestra de la planta de plásticos del año 2018.

A continuación, se presenta la población y la muestra que se emplearán por cada una de las Variables Dependientes planteadas en esta investigación.

✓ **Para la primera variable dependiente específica**

▪ **Población**

Dato de los gramajes de los productos plásticos de todas las líneas de la planta de plásticos del año 2018.

**Muestra**

Datos de los gramajes del año 2018 de la línea de plásticos que se tomó como muestra.

✓ **Para la segunda variable dependiente específica.**

▪ **Población**

Todos los datos de registros de mermas mensual de la planta de plásticos en el año 2018.

**Muestra**

Todos los datos de registros de mermas mensual de la línea de muestra en el año 2018.

✓ **Para la tercera variable dependiente específica.**

▪ **Población**

Todos los datos de registros de productos no conformes mensuales de la planta de plásticos en el año 2018.

**Muestra**

Todos los datos de registros de productos no conformes mensuales de la línea de muestra en el año 2018.

### **3.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica utilizada para la recolección de datos es el análisis documental de los registros y reportes de trabajo del área de producción que se encuentran en archivos de Excel.

Los instrumentos a utilizar son formatos, registros en formato de Excel del área de producción.

#### **a. Técnicas de recolección de datos**

✓ **Para la primera variable dependiente específica**

Reportes en formatos de Excel

#### **b. Instrumentos de recolección de datos**

El procedimiento de la recolección de datos fue mediante el registro de los resultados dentro de los reportes de producción en formatos ya establecidos e implementados en la empresa, en el área de producción, los distintos grupos de trabajo de planta registran los resultados tales como gramaje, consumo de materias primas, merma y otras variables dentro de los reportes de producción, los cuales son validados por jefatura de planta, en cada turno. Todos estos reportes diarios se adjuntan en un solo archivo para su posterior análisis.

- **Validez del instrumento**

Al tratarse de reportes en formatos de Excel, no cuentan con validez ni confiabilidad, todos los datos son validados internamente en el área de producción, tanto por los grupos de trabajo y por jefatura de planta.

En la presente Tabla 04 se muestran las técnicas a emplear en el presente estudio; así como, los instrumentos a utilizar para cada una de ellas.

Tabla 04:  
Técnicas e instrumentos

<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Técnicas a emplear</b>	<b>Instrumentos a utilizar</b>
Variabilidad de gramajes	Promedio de gramajes Desviación estándar	Análisis documental	Registro de contenido del documento
Merma	(Kg merma / Kg producción bruta) x 100	Análisis documental	Registro de contenido del documento
Productos no conformes	(Productos no conformes / Total de producción) x 100	Análisis documental	Registro de contenido del documento

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 Descripción de procedimiento de análisis

Los datos recolectados del proceso de producción, serán analizados en el software estadístico Minitab, con el cual se podrá realizar la interpretación de los resultados.

Con las variables y sus indicadores ya establecidos anteriormente, permite medir, analizar y verificar los datos, y así obtener la información suficiente y necesaria para el análisis de los resultados de la investigación. Para ello se desarrolló la matriz de análisis de datos que se muestra a continuación (Ver Tabla 05).

Tabla 05:  
Matriz de Análisis de datos

Variable	Indicador	Escala de medición	Estadísticos descriptivos	Análisis inferencial
Variabilidad de gramajes	(Promedio de gramaje / Estándar) x100	Escala de razón	Tendencia central (media) Dispersión (Desviación estándar)	T-Student
Mermas	(Kg merma / Kg producción bruta) x 100	Escala de razón	Tendencia central (media)	T-Student
Productos no conformes	(Productos no conformes / Total de producción) x 100	Escala de proporción	Tendencia central (media)	Comparación de proporciones

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV: IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA LEAN SIX SIGMA Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **4.1 DEFINIR**

En la primera etapa de la metodología Lean Six Sigma, se utilizó tres herramientas las cuales son: Árbol de necesidades, Modelo de Kano y QFD (despliegue de funciones de calidad). El resultado final de esta etapa nos debe indicar a que nos vamos a enfocar al momento de implementar la metodología, generando mayor impacto.

La segunda etapa de la metodología, se utilizó un SIPOC, análisis de sistema de medición y muestreo, con la finalidad de validar el sistema de medición del proceso y obtener datos confiables para su posterior análisis.

La tercera etapa, consiste en analizar los datos obtenidos mediante distintas herramientas estadísticas y lograr identificar aquellas variables de entrada que son críticas para las salidas del proceso que se está estudiando.

La cuarta etapa, consiste en mejorar el proceso en base a esas variables críticas del proceso, mediante uso de herramientas Lean manufacturing, y diseño de

experimentos. Por ultimo en la etapa de controlar se implementan las medidas necesarias para mantener las mejoras logradas durante toda la metodología.

A continuación, en la Figura 17 se muestra como de manera de resumen las distintas etapas del DMAIC y las distintas herramientas utilizadas en cada una de estas fases.

FASE	Herramientas utilizadas		
D	Modelo de Kano	QFD	
	Árbol de necesidades		
M	SIPOC	Muestreo	
	MSA		
A	Capacidad de proceso	Correlación	ANOVA
	Histogramas	BoxPlot	
I	DOE		
	Andons		
C	Plan control	T.Estandar	
	Gráficos de control		

Figura 17 : Resumen gráfico de la metodología DMAIC.  
Elaboración: Propia.

#### 4.1.1. Árbol de necesidades para el proyecto

A continuación, se muestra en la Figura 18 la primera herramienta utilizada para determinar los requerimientos internos que se deben de considerar para cumplir con una necesidad crítica para el cliente.

El árbol de necesidades nos indica que, para poder cumplir con una necesidad crítica para el cliente, en este caso que el producto sea de buena calidad, los conductores son que los productos (planchas de policarbonato) sean resistentes y tengan buen aspecto físico. Para poder cumplir estos conductores, se deben de cumplir con los requerimientos internos que, para el caso de RESISTENTE, la medida de rip debe de estar en 0.32 mm como mínimo, el espesor del lado de pc

debe ser 0.3 mm, el espesor del lado uv debe de ser de 0.3 mm, el gramaje promedio debe de ser 1050 gr/m<sup>2</sup> y que el uv debe de estar presente y ser homogénea a lo largo de la plancha de policarbonato. Ver Figura 18.

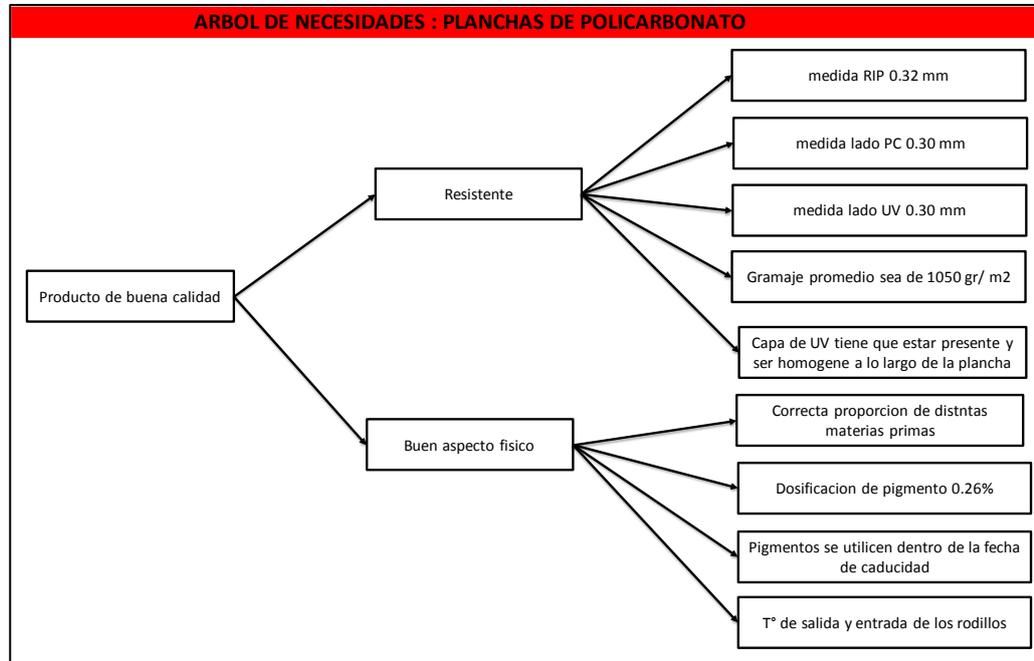


Figura 18: Árbol de necesidades para el proyecto  
Fuente: La empresa de estudio  
Elaboración: Propia.

Para poder cumplir con el conductor de BUEN ASPECTO FÍSICO, se debe de tener en cuenta los requerimientos internos los cuales son: correcta proporción de distintas materias primas, dosificación del pigmento a 0.26%, que los pigmentos sean utilizados antes de la fecha de caducidad, y controlar la T° de entrada y salida de los rodillos.

#### 4.1.2 Modelo de Kano para el proyecto

Aplicando el modelo de Kano, se debe de determinar aquellas características que son básicas, normales y atractivas para el cliente (interno o externo), con el objetivo de clasificar, y priorizar de forma más objetiva por donde debe de ir alineado el proyecto.

A continuación, en la Figura 19 se muestra el modelo de kano ejecutado para el caso de estudio.

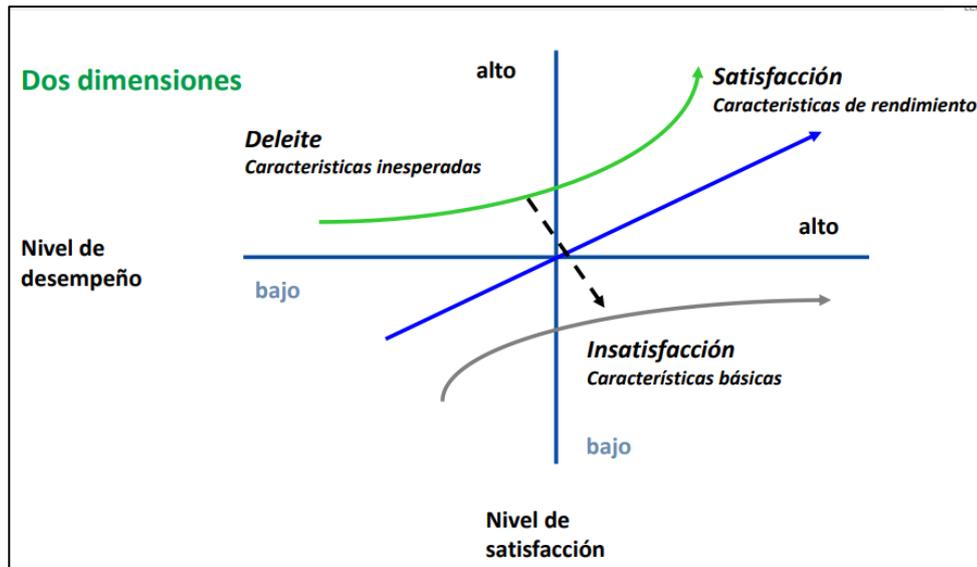


Figura 19: Modelo de Kano para el proyecto  
Fuente: Socconini (2015)

Con ayuda del área comercial de la empresa de estudio, y basándose en el modelo de kano, se pudo clasificar las características del producto plancha de policarbonato. Ver Tabla 06.

Tabla 06:  
Priorización de las características de calidad.

<b>PLANCHAS DE POLICARBONATO</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS BÁSICAS</b>	
Resistente	
Buen aspecto físico	
Capa de UV presente	
<b>CARACTERÍSTICAS NORMALES</b>	
Años de garantía	
<b>CARACTERÍSTICAS ATRACTIVAS</b>	
Venta con manual de instalación	
Promoción con juego de conectores de policarbonato	

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Como conclusión del modelo de Kano podemos afirmar que, primero, se debe de cumplir con las características básicas o esperadas del producto, las cuales en este caso es que debe de ser resistente, buen aspecto físico y capa de uv presente.

Esta herramienta visual también nos indica que el proyecto de mejora debe de estar orientado a mejorar la resistencia (gramaje), aspecto físico (no incluye planchas no conformes) y capa de uv presente.

#### 4.1.3 QFD (despliegue de funciones de calidad) para el proyecto

La ultima herramienta a utilizar en la etapa de Definir, es el QFD, el cual tiene como objetivo priorizar, cuantificar, los requerimientos técnicos que se deben cumplir para obtener los requisitos críticos para el cliente (interno o externo).

A continuación, se muestra en la Figura 20, el QFD para el proyecto.

Requerimientos del Cliente (¿Qué's?)		Dirección de mejoramiento										Evaluación Competitiva			
		33	11	21	29	29	39	41	21	12	41	Empresa de estudio	Planchas chilenas	Planchas chinas	
Requerimientos Técnicos (Cómo's)		Importancia (1-5)	Cantidad de gr/m2	% de MP virgen	micraje capa UV	espesor de alveolos y paredes	% de dosificación del pigmento	maquinas calibradas	estandarización del proceso	calidad de las materias primas	Ambiente de trabajo controlado	capacitación de operadores	Empresa de estudio	Planchas chilenas	Planchas chinas
Resistente	5	9	3	9	9	1	3	3	3	1	3	3	3	2	
Buen aspecto físico	4	1	3	1	1	9	9	3	3	3	3	4	4	2	
Precio	2	9	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	5	
tiempo de garantía	3	9	3	9	9	3	3	3	9	1	3	4	4	2	
<b>Valores Objetivo</b>		<b>94</b>	<b>42</b>	<b>82</b>	<b>82</b>	<b>56</b>	<b>66</b>	<b>42</b>	<b>60</b>	<b>22</b>	<b>42</b>				
Evaluación técnica	Empresa de estudio	4	4	4	4	3	4	2	4	2	3				
	Planchas chilenas	4	4	3	5	3	4	4	4	4	4				
	Planchas chinas	2	3	2	2	3	4	4	3	4	4				

Figura 20: QFD para el proyecto.

Fuente: La empresa de estudio

Elaboración: Propia.

Lo que nos indica el QFD es, que para poder cumplir con los requerimientos del cliente que son, planchas resistentes, buen aspecto físico, buen precio, y tiempo de garantía, se deben de tener en cuenta los requerimientos técnicos que son: cantidad de gr/m<sup>2</sup>, % de MP virgen, micraje de capa UV, espesor de alveolos y

paredes, % de dosificación del pigmento, máquinas calibradas, estandarización del proceso, cantidad de las materias primas, ambiente de trabajo controlado y capacitación de operadores.

Los requerimientos con mayor valor son cantidad de  $\text{gr/m}^2$  y espesor de alveolos y paredes, ya que son los que tienen mayor importancia para poder cumplir con los cuatro requerimientos del cliente. El QFD nos indicó por donde debe de estar orientado el proyecto de mejora.

#### **4.1.4 Resumen de la fase Definir**

El árbol de necesidades, el modelo de Kano y el QFD, nos indican un requisito/característica en común crítico para el cliente interno y externo: el gramaje ( $\text{gr/m}^2$ )

Si bien, se pudo identificar otros requerimientos con las tres herramientas, el gramaje es uno común en los tres, y es el que mayor impacto tiene para el cliente interno y externo, debido a esto, el proyecto de mejora estará enfocado en el gramaje de las planchas de policarbonato

## **4.2 MEDIR**

En esta fase, se realizaron herramientas para conocer detalles sobre el proceso en estudio, además de verificar la validez del sistema de medición y de obtener los datos necesarios en una muestra para su posterior análisis.

### **4.2.1 SIPOC del proceso de fabricación**

A continuación, se muestra el SIPOC del proceso de fabricación, como se aprecia en la Figura 21.

SIPOC							
PROVEEDORES	REQUISITOS DE ENTRADAS	ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS	REQUISITOS DE SALIDAS	CLIENTES	
Area de Almacen / Area de compras	Cantidad adecuada	Resina de policarbonato	FABRICACION	Planchas de policarbonato	Resistente ( gramaje promedio 1050 g/m2)	Clientes	
	Características químicas adecuadas para el proceso						
	Melt Voume 8 - 10 cm3/10 min						
	Softening point °C 140- 150						
	Dens dad: 1.2 g/ cm3						
	Melt mass 6 - 10 g/10 min	UV MB			Buen aspecto físico (color uniforme, sin flujos )		
	Características químicas adecuadas para el proceso						
	Cantidad adecuada	Pigmento (colorante)					
	Cantidad adecuada	Film					Medidas correctas ( 2.1 x 11.6 m)
	dentro de fecha de caducidad						
Colores correctos	Operadores	menor o igual al 5%					
medida correcta(ancho 2.1 m)							
Capacitado	Auxiliar de Produccion	Separado de la purga					
Formacion: Tecnico							
Area de RRHH	Experiencia min. 1 año en extrusion(plasticos)	Experiencia en produccion min 6 meses	Merma	separado por color	Embaladas en paletas	Area de picado	
Gerencia de planta	Calibrado	Extrusor					
Gerencia de planta	Estandarizado	Metodo de trabajo	Planchas no conformes	Cortadas en pequeños segmento	Cortadas en pequeños segmento	Area de picado	
Gerencia de planta	Ambiente controlado (polvo, viento)	Ambiente de trabajo					
Area de compras	Calibrado	Dosificador	Cortadas en pequeños segmento	separadas por color	separadas por color	Area de picado	
	Calibrado	Balanza					
Area de Almacen	unidad de medida en gr	Balanza	Cortadas en pequeños segmento	separadas por color	separadas por color	Area de picado	
Area de Almacen	unidad de medida en cm	Wincha					
Gerencia de planta / Area de Sistemas	Office instalado	Computadora	Cortadas en pequeños segmento	separadas por color	separadas por color	Area de picado	
Gerencia de planta / Area de Sistemas	Conexión a internet						
Area de Almacen	Correo electronico de la empresa habilitado	Calculadora	Cortadas en pequeños segmento	separadas por color	separadas por color	Area de picado	
Area de Almacen	con operaciones basicas						
Area de compras	Calibrada	Impresora	Cortadas en pequeños segmento	separadas por color	separadas por color	Area de picado	
	Habilitada para imprimir etiquetas, codigos de barra						
Area de Almacen	Rollos de tinta disponibles	Etiquetas	Cortadas en pequeños segmento	separadas por color	separadas por color	Area de picado	
	Color amarillo, verde y blanco						
Area de Almacen	Color amarillo, verde y blanco	Etiquetas	Cortadas en pequeños segmento	separadas por color	separadas por color	Area de picado	
Area de Almacen	tamaño 10 cm x 7 cm						

Figura 21: SIPOC del proceso de fabricación  
Fuente: La empresa de estudio  
Elaboración: propia.

Del SIPOC, podemos apreciar a detalle todos los elementos que influyen en el proceso de fabricación, así como los requisitos de las entradas y salidas que deben de cumplir de acuerdo a las exigencias del cliente interno y externo.

Con ayuda del SIPOC podemos ver las entradas (6M) que posiblemente influyen en el proceso y que iremos descartando en la fase de Analizar con sus respectivas herramientas. Además, nos da una perspectiva más amplia de todo lo que abarca el proceso.

#### 4.2.2 Análisis del sistema de medición (R&R) del proceso de fabricación

Para evaluar el sistema de medición, se realiza la siguiente prueba:

Se toman 10 muestras (partes), las cuales serán medidos por tres operadores de distintos grupos de trabajo, además las 10 muestras serán medidas 3 veces por cada operador. De esta forma se medirá la repetitividad y reproducibilidad y se determinará si el sistema de medición es capaz, y si la variabilidad del sistema de medición no influye en la variabilidad total.

Las 10 muestras (partes), están enumeradas en la columna MUESTRA, cada grupo de trabajo, está representado por las letras A, B y C, y las tres mediciones

realizadas por cada operador de los distintos grupos están en las columnas de PRUEBA 1, PRUEBA 2 y PRUEBA 3.

En la Tabla 07, se aprecian los datos obtenidos para el estudio preliminar del sistema de medición.

Tabla 07:  
Estudio preliminar del sistema de medición

<b>MUESTRA</b>	<b>PRUEBA 1</b>	<b>PRUEBA 2</b>	<b>PRUEBA 3</b>	<b>GRUPO</b>
1	1081	1081	1083	A
2	1080	1081	1082	A
3	1083	1081	1083	A
4	1064	1063	1063	A
5	1065	1066	1067	A
6	1051	1054	1053	A
7	1062	1063	1063	A
8	1076	1076	1077	A
9	1077	1079	1079	A
10	1043	1043	1040	A
1	1081	1079	1081	B
2	1079	1083	1082	B
3	1081	1081	1083	B
4	1065	1064	1065	B
5	1066	1067	1067	B
6	1055	1053	1055	B
7	1060	1061	1062	B
8	1074	1076	1076	B
9	1079	1079	1079	B
10	1038	1039	1038	B
1	1081	1080	1080	C
2	1081	1080	1083	C
3	1083	1081	1082	C
4	1063	1064	1064	C
5	1066	1068	1068	C
6	1054	1054	1055	C
7	1061	1062	1061	C
8	1076	1077	1077	C
9	1076	1079	1077	C
10	1040	1042	1041	C

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Los datos de la Tabla 3 se ingresaron al Minitab 18, para evaluar y obtener los resultados preliminares del sistema de medición del proceso de fabricación.

A continuación, en la Figura 22, se detallan los resultados.

<b>Evaluación del sistema de medición</b>			
Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	1.2703	7.6216	9.15
Repetibilidad	1.0593	6.3561	7.63
Reproducibilidad	0.7010	4.2058	5.05
OPERADOR	0.0000	0.0000	0.00
OPERADOR*MUESTRA	0.7010	4.2058	5.05
Parte a parte	13.8238	82.9427	99.58
Variación total	13.8820	83.2922	100.00

Figura 22: Resultados de la evaluación preliminar del sistema de medición  
Fuente: la empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Como se aprecia en la Figura 22, el % de variación de repetitividad es del 7.63, lo que indica la capacidad de obtener los mismos resultados midiendo la misma parte o pieza, esto se interpreta que los equipos de medición están correctamente calibrados.

La reproducibilidad es de 5.05, lo que indica la capacidad de que distintos usuarios registren los mismos datos cuando se mide la misma parte, esto refleja un método de medición único, claro y utilizado por todos los operadores.

Como resultado final el R&R total es de 9.15, como es menor a 10%, se puede decir que el sistema de medición es confiable, la medición no influye de forma significativa con la variabilidad total del proceso.

#### **4.2.3 Muestreo para el proceso de fabricación**

Debido a la naturaleza del proceso de fabricación de la empresa de estudio, se decidió escoger el muestreo de tipo sistemático.

Para calcular la cantidad de muestras requeridas con un nivel de confianza del 95%, se necesita el dato de la desviación estándar y un margen de error con el cual se desea trabajar.

Como los datos históricos son confiables, debido los resultados del sistema de medición, se obtiene la desviación estándar de 23.7 y el margen de error que se permite es de  $\pm 2.5 \text{ gr/m}^2$ .

Con los datos requeridos para obtener el número de muestras, se ingresan al Minitab y se obtienen los resultados observados en la Figura 23.

Tamaño de la muestra para estimación	
<b>Método</b>	
Parámetro	Media
Distribución	Normal
Desviación estándar	23.7 (estimación)
Nivel de confianza	95%
Intervalo de confianza	Bilateral
<b>Resultados</b>	
Margen de error	Tamaño de la muestra
2.5	348

Figura 23: Resultados para el tamaño de muestra  
Fuente: La empresa de estudio  
Elaboración: Propia

El tamaño de muestra que se debe de tomar para tener un nivel de confianza del 95% es de 348 unidades. Como se mencionó anteriormente, el tipo de muestreo será sistemático, por lo que las 348 unidades se extraerán de entre los tres grupos de trabajo, en el turno día y noche.

Ya determinado el número de unidades necesarias para muestrear y que el sistema de medición es confiable, se puede proceder a la etapa de analizar.

### 4.3 ANALIZAR

Ya con los datos obtenidos del muestreo sistemático, se empieza con el análisis, empezando con un diagrama Causa – Efecto, para poder identificar las posibles causas que generan la variabilidad de los gramajes, luego con el uso de las distintas herramientas estadísticas utilizadas en esta etapa, se irán descartando aquellas que no son significativas en la salida, quedándonos únicamente con aquellas que si son significativas.

A continuación, en la Figura 24, se observa el diagrama Causa – Efecto del problema de la variabilidad de los gramajes.

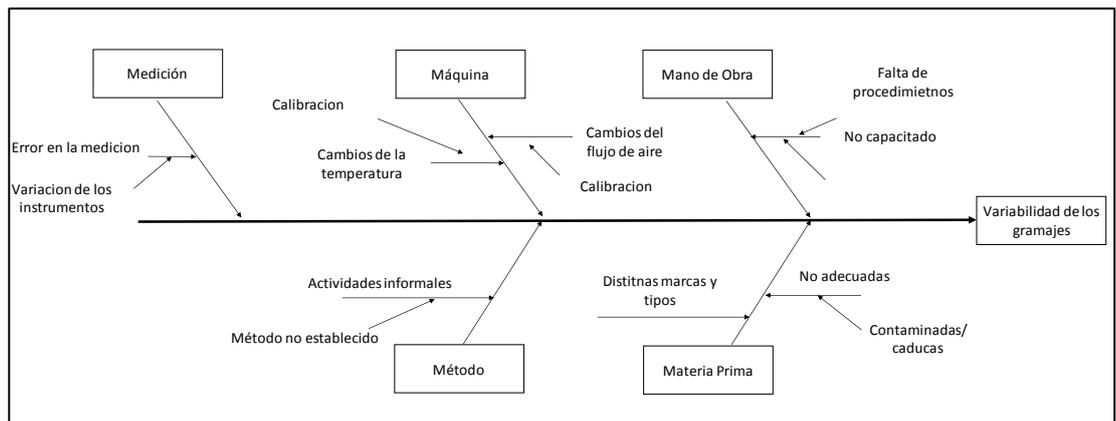


Figura 24: Diagrama Causa- Efecto de la variabilidad de los gramajes.

Fuente: La empresa de estudio

Elaboración: Propia.

Con las posibles causas identificadas dentro de las 6 M del proceso, se puede iniciar con el análisis utilizando distintas herramientas estadísticas, con el fin de ir filtrando las variables de entrada, y quedándonos solo con aquellas variables que si son significativas con la salida del proceso.

#### **Análisis de Capacidad (CP y CPK)**

Se toma las muestras obtenidas de la fase anterior, y con ello se realiza el análisis de capacidad, para ver la situación actual del proceso, los resultados que se observan en la Figura 25 son a corto plazo, se muestra a continuación:

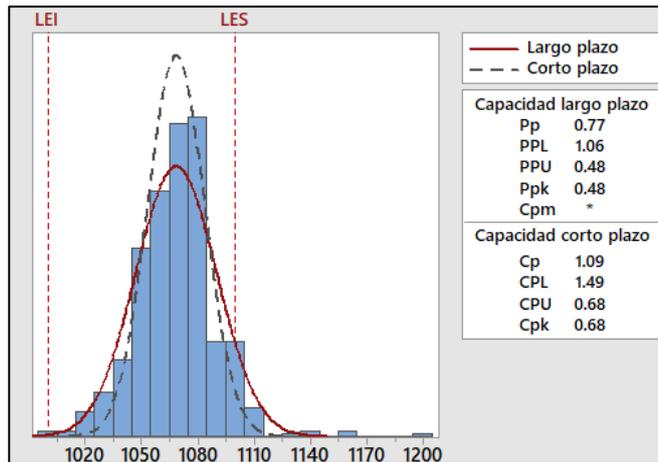


Figura 25: Gráfico de capacidad de proceso con respecto a los gramajes.

Fuente: La empresa de estudio

Elaboración: Propia.

Del informe de capacidad de proceso, se puede observar que el proceso no es apenas capaz, teniendo un valor de  $C_p = 1.09$ , y el valor de  $C_{pk}$  es de  $0.68$ , lo cual quiere decir que el proceso está descentrado, el valor de la media está sesgado hacia el lado derecho, lo cual indica el valor de la media (mayoría de los datos) está por encima del estándar establecido. El nivel sigma del proceso es de  $1.95$  y los DPMO es de  $326,355.2$ .

También puede apreciarse que como resultado del largo plazo se tiene una distribución normal más ensanchada (mayor dispersión).

Con este análisis se puede concluir el proceso sufre de una gran dispersión y descentrado, por lo que el objetivo de la etapa de Analizar, es encontrar aquellas variables de entrada que originan la variación de los gramajes y también poder centrar el proceso.

El análisis se continúa realizando histogramas, para poder visualizar la distribución de los datos y su variabilidad con respecto a sus grupos. En la Figura 26 se puede observar el histograma de los gramajes con respecto a la procedencia del turno de trabajo, en este caso el turno día y el turno noche.

A continuación, se muestra la Figura 26.

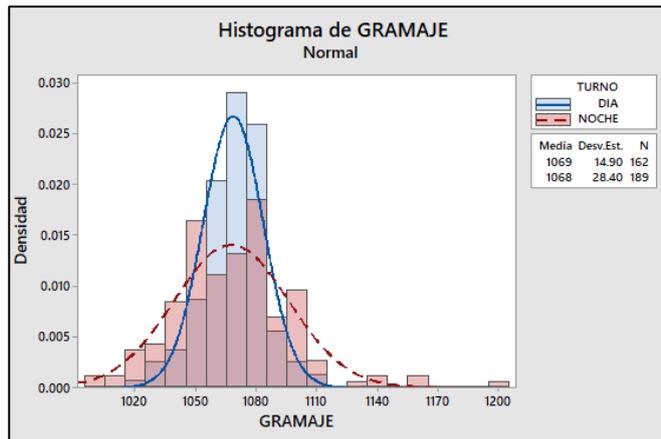


Figura 26: Histogramas con respecto a los turnos de trabajo  
Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

En los histogramas con respecto a los turnos de trabajo se puede observar que, el turno de día presenta menor variabilidad, la curva es más angosta, mientras que el turno noche presenta mayor dispersión, lo que nos indica que parte de la variabilidad total de los gramajes puede provenir del turno noche.

También se realizó el histograma del gramaje con respecto a los grupos de trabajo. Ver Figura 27.

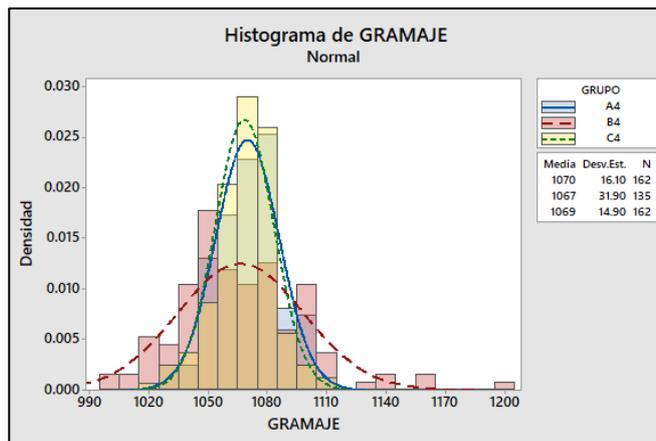


Figura 27: Histograma del gramaje con respecto a los grupos de trabajo.  
Fuente: La empresa de estudio  
Elaboración: Propia.

De los histogramas por grupo de trajo se puede apreciar que el grupo de trabajo A y C tienen una dispersión similar, pero el grupo de trabajo B tiene una dispersión mucho mayor, lo cual indica que parte de la variabilidad de los gramajes podría provenir de este grupo de trabajo.

Para proseguir con el análisis de los datos recopilados, se procede a realizar gráficos de caja y bigote, ya que nos permite comparar los resultados entre grupos, para ello realizaremos estos gráficos con respecto a la proveniencia el uso de pigmento y marca de la materia prima utilizada en el proceso de fabricación.

A continuación, en la Figura 28 se observa el grafico de caja y bigote del gramaje con respecto al uso del pigmento.

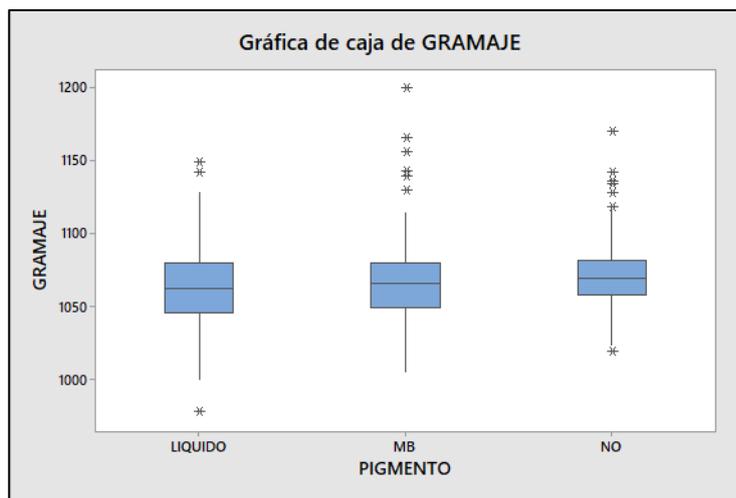


Figura 28: Gráfica de caja y bigote con respecto al pigmento.

Fuente: La empresa de estudio.

Elaboración: Propia.

Del gráfico anterior se puede apreciar que la dispersión en el uso de pigmento líquido y pigmento sólido es similar, y ambas tienen una dispersión mayor que los productos que no usaron colorante, sin embargo las medianas de los tres grupos son similares.

Esto nos indica que el uso de colorante en el proceso de fabricación, podría ser una causa significativa que contribuya a la variabilidad del gramaje.

Luego de evaluar la influencia del uso de colorante en el proceso de fabricación, también se evaluó las diferentes marcas de materias primas utilizadas, a continuación, en la Figura 29 se muestran los resultados:

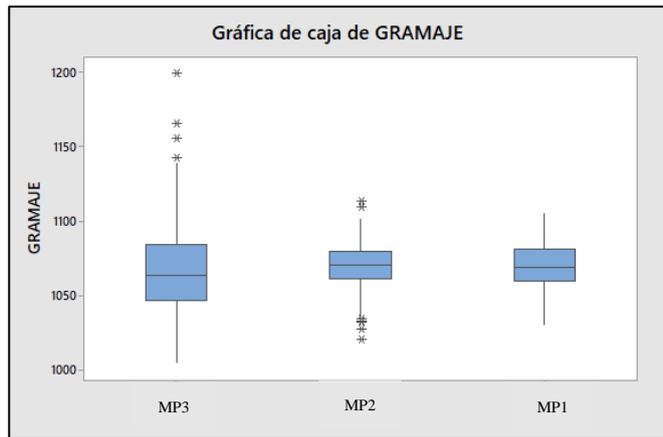


Figura 29: Grafico de caja y bigote con respecto a las materias primas.  
Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Del gráfico anterior se puede observar que la materia prima “MP3” es el que provoca mayor dispersión de los gramajes, seguido de la materia prima marca “MP2”, y la marca de materia prima “MP1” es la que provoca mayor dispersión en los gramajes similares.

Este análisis nos indica que la marca de la materia prima podría ser otro factor significativo que nos da como resultado gramajes muy dispersos.

Otros factores a considerar dentro de la etapa de análisis, son las variables temperatura del molde y el caudal de aire que se utiliza en el proceso de fabricación.

Como se desea evaluar el grado de asociación entre dos tipos de variables cuantitativas, se realizó un diagrama de correlación para cada variable.

A continuación, se muestra el diagrama de correlación del gramaje con respecto a la temperatura del molde. Los datos con los que se hicieron el diagrama se encuentran en los anexos.

En el diagrama de dispersión de la Figura 30 nos indica que el grado de relación entre la temperatura del cabezal (molde) y los gramajes es nula, el R-cuad es 1.0%, por lo que esta variable de entrada queda descartada como posible factor significativo de la variabilidad del gramaje.

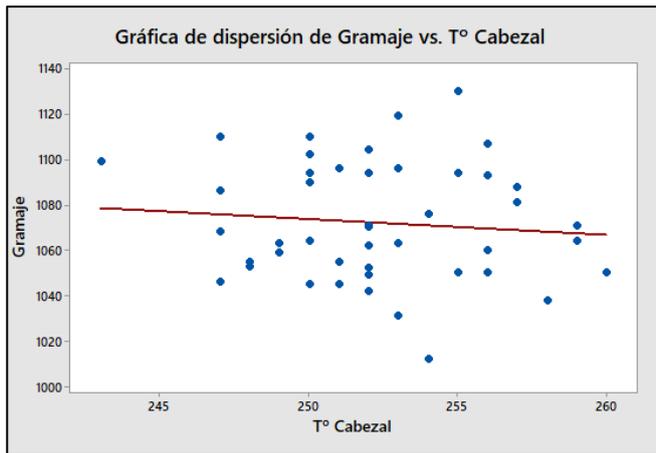


Figura 30: Diagrama de correlación T°cabezal vs gramaje.  
 Fuente: La empresa de estudio.  
 Elaboración: propia.

A continuación, en la Figura 31 se muestra el gráfico de correlación del gramaje con respecto al caudal de aire utilizado en el proceso de fabricación.

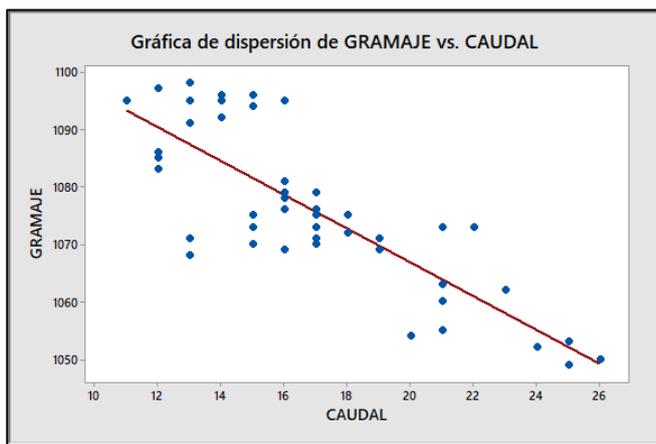


Figura 31: Diagrama de correlación caudal de aire vs gramaje.  
 Fuente: La empresa de estudio.  
 Elaboración: propia.

Del diagrama de correlación anterior, se puede observar un grado de relación fuerte, negativo, siendo el R-cuad= 74.8%, lo que indica que por cada unidad que aumente el caudal de aire, el gramaje disminuirá 74.8%.

De los gráficos de correlación podemos concluir que la temperatura utilizada en el molde tiene una relación nula, por la cual esta variable queda descartada del análisis. El caudal de aire utilizado podría tener una relación causal, pasando este “filtro”, con otras variables de entrada, se procederá posteriormente a realizar el

ANOVA, para determinar las verdaderas variables significativas para la salida del proceso.

## Anova

Los análisis estadísticos realizados anteriormente, nos ayudaron a descartar aquellas variables que no impactaban en el proceso, y dejándonos aquellas variables que sí podrían ser significativas para el gramaje.

Las variables que se analizaran con el ANOVA son las siguientes: Turno, grupo de trabajo, pigmento, materia prima y caudal de aire.

A continuación, en la Tabla 08, se aprecian los datos utilizados para realizar el ANOVA.

Tabla 08:  
Datos utilizados para realizar el ANOVA.

TURNO	GRUPO	MP	PIGMENTO	CAUDAL DE AIRE	GRAMAJE
NOCHE	A4	MP1	NO	27	1030
DIA	C4	MP2	MB	16	1079.76
NOCHE	A4	MP2	NO	23	1046
NOCHE	B4	MP3	MB	21	1066.18
NOCHE	B4	MP3	MB	25	1034.98
DIA	C4	MP2	MB	15	1074.05
NOCHE	A4	MP2	NO	14	1083
NOCHE	A4	MP1	NO	16	1068
NOCHE	A4	MP2	NO	15	1071
NOCHE	A4	MP2	NO	14	1076
NOCHE	B4	MP3	MB	13	1091
NOCHE	B4	MP3	MB	15	1072
DIA	C4	MP2	NO	14	1085
NOCHE	A4	MP1	NO	20	1049
DIA	C4	MP2	NO	14	1072
NOCHE	B4	MP3	MB	15	1066.76
NOCHE	B4	MP3	MB	26	1038
NOCHE	B4	MP3	MB	27	1020
NOCHE	A4	MP1	NO	14.5	1068
NOCHE	B4	MP3	MB	13	1084.17
NOCHE	B4	MP3	MB	15	1063.47
NOCHE	A4	MP1	NO	16	1062
NOCHE	B4	MP3	MB	11	1142.43
NOCHE	A4	MP1	NO	14	1074

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

El resultado se muestra a continuación: Ver Figura 32.

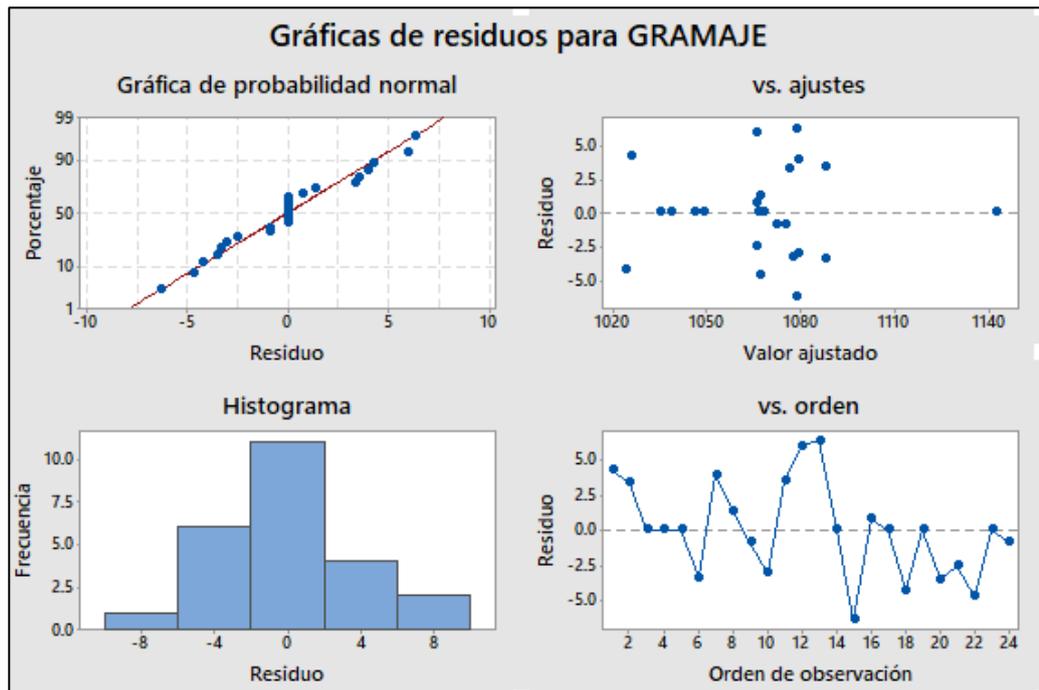


Figura 32: Gráfica de residuos de los datos del gramaje  
 Fuente: La empresa de estudio  
 Elaboración: Propia.

Del gráfico de residuos se puede apreciar que se respetan los tres principios para realizar Anova: Normalidad de los datos, independencia de los datos y varianza constante.

Ya verificado los principios, se procede a ver los resultados, los cuales se muestran en la Figura 33.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
TURN0	1	1.28	1.285	0.07	0.805
MP	2	234.58	117.288	5.96	0.026
PIGMENTO	1	28.51	28.508	1.45	0.263
Caudald de aire	11	5140.73	467.339	23.75	0.000
Error	8	157.44	19.679		
Falta de ajuste	2	25.83	12.915	0.59	0.584
Error puro	6	131.61	21.934		
Total	23	7810.45			

Figura 33: Anova realizado a las variables de entrada con respecto al gramaje  
 Fuente: La empresa de estudio.  
 Elaboración: Propia.

La interpretación de los resultados del ANOVA es el siguiente:

Las variables MP (materia prima) y caudal de aire, son significativos en la variación del gramaje, debido a que el P-valor es menor a 0.05, lo que quiere decir que, al variar estas entradas, también variara la salida de forma significativa.

El caudal de aire es más significativo que la materia prima, ya que tiene un P-valor de 0.00.

Las otras variables de entrada, turno y pigmento, quedan descartadas para la siguiente fase del DMAIC, con lo que el diseño de experimentos se realizará solo con las variables significativas.

La fase Analizar, se resume en la siguiente Figura 34:

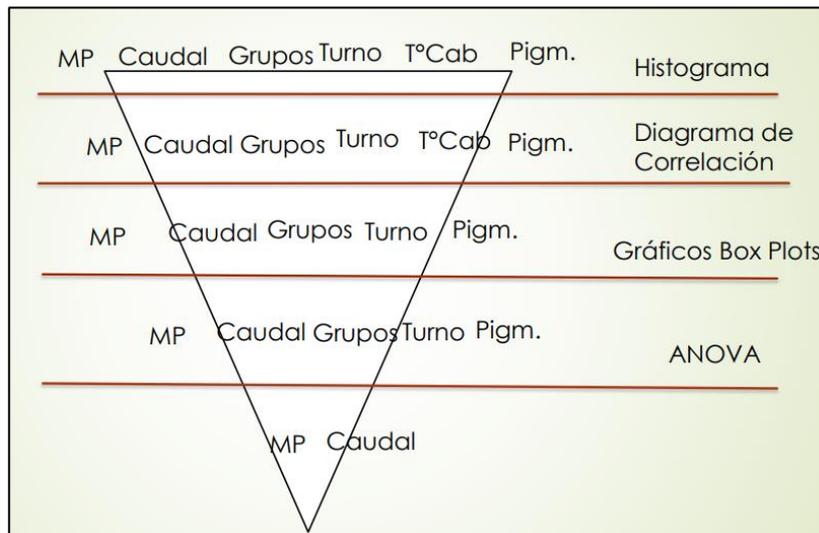


Figura 34: Resumen gráfico de la fase analizar.  
Elaboración: Propia.

Este es un resumen, en representación gráfica. Se identificaron las posibles variables que influyen en la salida (gramaje de las planchas). Se aplicaron una serie de “filtros estadísticos” para ir descartando variables, y finalmente quedarnos con las que son significativas y poder realizar mejoras en el proceso.

#### 4.4 MEJORAR

El objetivo de esta fase es encontrar la combinación adecuada de los niveles de los distintos factores significativos para las salidas del proceso, en este caso se debe de encontrar los valores de la materia prima (marca) y el valor que debe de tomar el caudal de aire para que el gramaje de las planchas se aproxime a 1050 gr/m<sup>2</sup>.

Para ello se identifican los 2 factores: Caudal de aire y marca de materia prima. A continuación, se debe identificar los distintos niveles que puede tomar cada uno de ellos como se muestra a continuación en la Tabla 09.

Tabla 09:  
Niveles de los factores significativos del proceso

Niveles de los factores	
MP	Caudal de aire (lt/min)
MP1	23
MP2	25

Fuente: La empresa de estudio  
Elaboración: Propia.

En la tabla anterior, se observa que la materia prima (MP) tiene tres niveles, MP1 y MP2, lo cual hace referencia a las dos distintas marcas usadas en el proceso de fabricación, se descartó el uso de MP3 debido a la gran dispersión de los gramajes que genera.

Con respecto al caudal de aire también tiene dos niveles, se consideraron los que más se aproximan al valor de 1050 gr/m<sup>2</sup>. Con estos datos se procede a realizar el diseño de experimentos.

A continuación, en la Tabla 10 se muestra el orden en el que se realizarán las corridas del diseño de experimentos.

Tabla 10:  
Orden de corridas para el diseño de experimentos

OrdenEst	OrdenCorrida	CAUDAL AIRE (lt/min)	MP
7	1	23	MP1
6	2	25	MP2
8	3	25	MP1
5	4	23	MP2
3	5	23	MP1
4	6	25	MP1
1	7	23	MP2
2	8	25	MP2

Elaboración: Propia.

El orden de las corridas es de forma aleatoria, por lo que se tiene que realizar de esta forma para respetar los principios del diseño de experimentos.

Los resultados obtenidos de la combinación de los diferentes niveles de los factores se muestran en la Tabla 11, se realizó dos replicas para cada corrida, respetando los principios del diseño de experimentos.

Se detalla que los productos resultados de los experimentos no se consideran defectuosos, ya que no presentan algún desperfecto funcional o estético, pero si está presente la no conformidad del gramaje en cada plancha, debido a que los gramajes más elevados reflejan un mayor consumo de materia prima.

Tabla 11:  
Resultados de las corridas.

OrdenEst	OrdenCorrida	CAUDAL AIRE (lt/min)	MP	Gramaje
7	1	23	MP1	1054.83
6	2	25	MP2	1051.7
8	3	25	MP1	1051.2
5	4	23	MP2	1055.21
3	5	23	MP1	1053.64
4	6	25	MP1	1049.75
1	7	23	MP2	1053.2
2	8	25	MP2	1051.5

Fuente: La empresa de estudio

Elaboración: Propia.

Al analizar esta información se obtienen los siguientes resultados: Ver Figura 35.

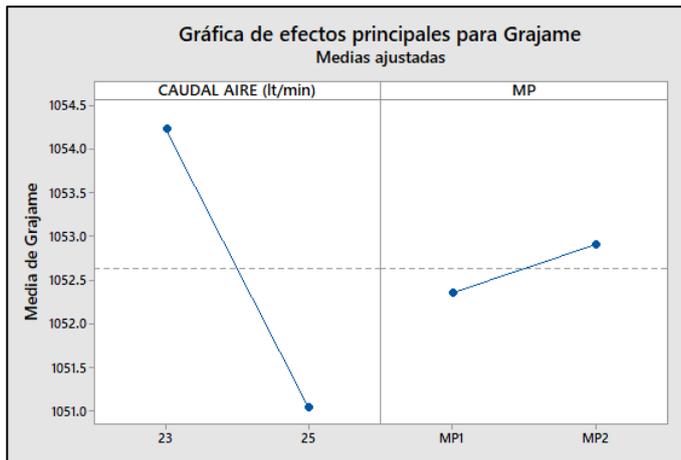


Figura 35: Gráfica de efectos principales para el gramaje.  
Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

En la gráfica anterior se puede apreciar que el factor caudal de aire, impacta más en el resultado del gramaje, con 23 bares se obtiene un mayor gramaje, 25 bares un gramaje.

En el caso de la materia prima utilizada, se aprecia que MP1 el gramaje tiende a ser menor, mientras que utilizando la MP2, el gramaje tiende a aumentar.

Para tomar una correcta decisión, se tiene que analizar la gráfica de interacción, en la cual se aprecia el resultado de la combinación de ambos factores. Ver Figura 36.

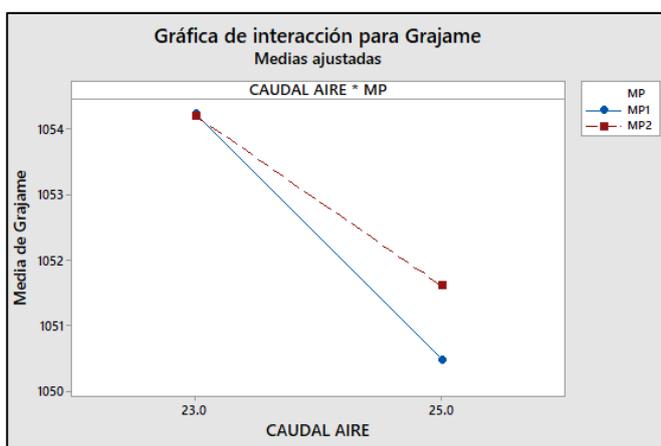


Figura 36: Gráfica de interacción para los gramajes  
Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

De la gráfica anterior, se aprecia que el resultado para obtener el menor gramaje es utilizando MP1 y el caudal de aire en 25 lt/min. Se toma esta decisión ya que el promedio de los gramajes con esta combinación de niveles de los factores está muy cercano a 1050 gr/m<sup>2</sup>, lo cual está dentro de los límites de especificación y además se consumirá el menor gramaje posible, o sea, menor consumo de materia prima.

Finalizada esta fase, obtenida la combinación adecuada de los distintos niveles de los factores para llegar al objetivo, se procede a la última fase, controlar.

#### **4.4.1 Implementación de mejoras**

Ya identificado los factores críticos del proceso, y conociendo los valores de los niveles en el cual deben de estar para obtener los resultados deseados, se procede a realizar mejoras sobre esos factores.

#### **4.4.2 Mejoras implementadas con respecto al uso de marca de MP**

Se capacitó al área comercial / departamento de compras, con respecto a los resultados que se obtenían al usar las distintas marcas de materia prima. Se logró la aprobación de abstener las compras de las otras dos marcas en las cantidades de la línea de muestra y solo adquirir la mara MP1 para la línea de muestra, debido al valor de los gramajes resultados. Ver Figura 37.



Figura 37: Primera mejora con respecto al uso de MP.  
Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Además de la capacitación y restricción de abastecimiento de las otras dos marcas de MP para la línea de muestra, en el área de almacén se procedió a identificar la marca de MP con la que se trabajará, mediante etiquetas verdes de APROBADO, colocándose en los 4 lados del Big Bag.

Las otras dos marcas de MP, fueron separadas del almacén de planta y se les colocó etiquetas rojas de DESAPROBADO, colocándose en los 4 lados del Big Bag o sacos, para el uso de la línea de producción que se tomó como muestra.

Finalmente, se capacitó al personal de almacén y producción para que verifiquen estas etiquetas antes de su despacho y uso para fabricación. Ver Figura 38.



Figura 38: Segunda mejora con respecto al uso de MP.  
Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

De esta forma, nos estamos asegurando de que el proceso de fabricación sea abastecido con la MP1.

#### 4.4.3 Mejoras implementadas con respecto al caudal de aire

Se agregaron Andons de tipo semáforo a los medidores de presión del caudal de aire, junto a una capacitación al personal de producción.

De esta manera los operadores podrán visualizar en qué nivel debe de estar la presión del aire para lograr los resultados deseados con respecto al gramaje. Ver Figura 39

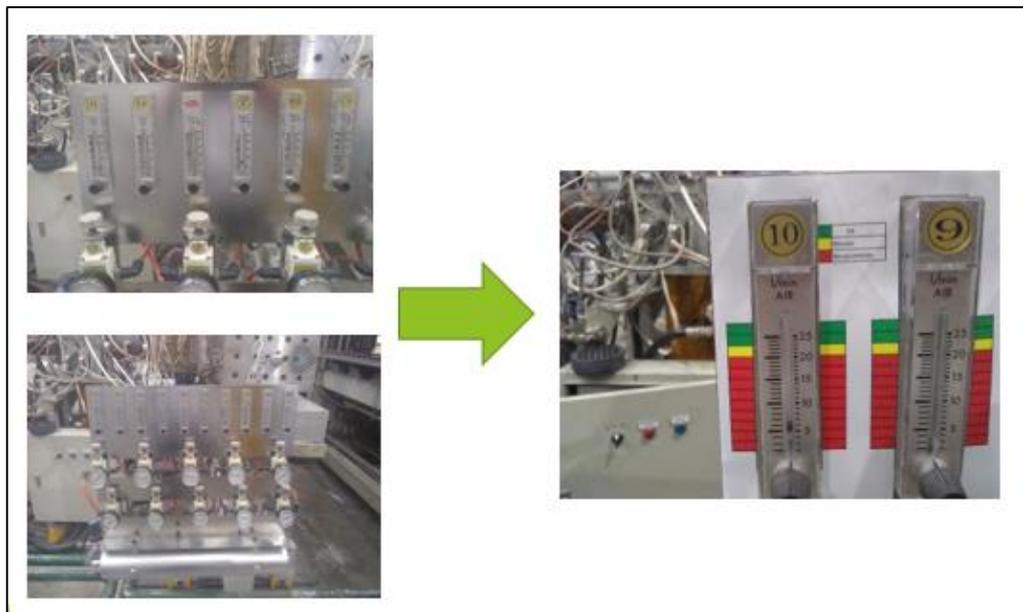


Figura 39: Primera mejora con respecto al caudal de aire.  
Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

#### 4.5 CONTROLAR

En esta fase se deben de controlar aquellas variables que son críticas para las salidas del proceso, en este caso se debe de controlar los valores del caudal de aire y marca de MP.

Para ello, se implementa un plan control, el cual se encuentra en los anexos.

También, se implementó gráficos de control X Barra R para la variable caudal de aire.

Dentro del plan control indica que cantidad de muestras medir, y con qué frecuencia.

Con los gráficos de control, el área de producción puede tomar las medidas respectivas del caso.

Se tomó 10 muestras, de 5 observaciones cada una. Con ello se realizó el gráfico de control y se aprecia que todas las muestras están dentro de los límites de control, por lo que el proceso está bajo control estadístico.

De esta forma nos estamos asegurando que la variable de entrada (caudal de aire), esté cumpla con el valor o esté dentro de los valores en el cual debe de estar para lograr los resultados deseados con respecto al valor de los gramajes. Ver Figura 40.

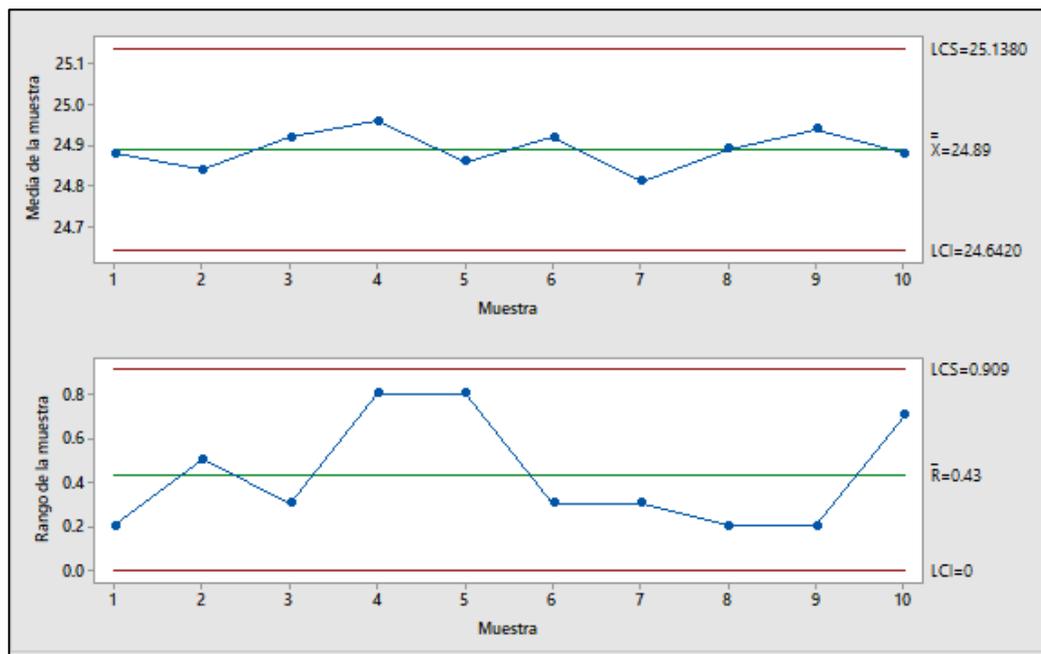


Figura 40: Gráfico de control del caudal de aire.

Fuente: La empresa de estudio.

Elaboración: propia.

El plan control indica que se está midiendo, en donde, cuantas muestras sacar para realizar la medición, como se va a realizar la medición, interpretar los resultados, y tomar acciones correctivas si fuese necesario.

Con estos resultados, se puede concluir que los gráficos de control, junto con un plan control, ayudaron a controlar la variabilidad de los gramajes, manteniendo los resultados generados en la fase de mejora de six sigma.

A continuación, en la Figura 41, se muestra el resultado de los gramajes después de implementar el DMAIC.

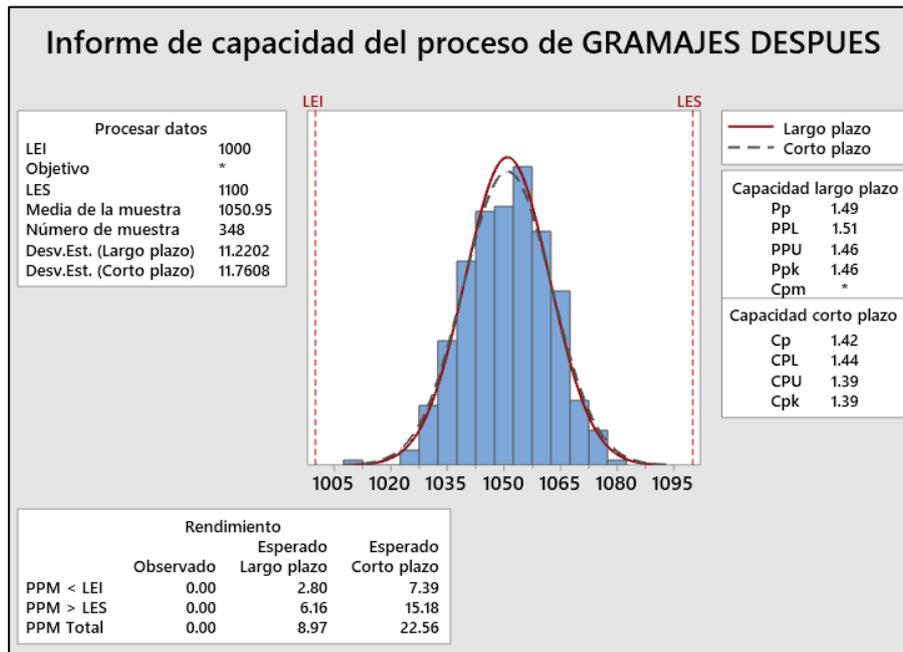


Figura 41: Capacidad de proceso de los gramajes después de las mejoras.  
 Fuente: La empresa de estudio.  
 Elaboración: Propia.

Se aprecia en los resultados, que la capacidad potencial ( $C_p$ ) incrementó a 1.42, por lo que el proceso ya es potencialmente capaz de cumplir con las especificaciones establecidas. La capacidad real ( $C_{pk}$ ) incrementó a 1.39, por lo que el proceso está centrado con respecto a las especificaciones. Además, el Nivel Sigma incrementó a 4.17, lo que se refleja en la disminución del DPMO a 3792.61

## 4.6 Implementación de 5S

La implementación de 5 S se realizó en el área de almacén de planta, debido a que un gran porcentaje de las mermas en el área de producción, se debían a una mala gestión proveniente del área de almacén de planta, encargado de despachar las materias primas e insumos necesarios para el proceso de fabricación.

Para la implementación de las 5S, se realizó una capacitación por cada fase de esta herramienta, en el área de almacén y producción, a continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada fase de esta herramienta. El programa completo de la duración del proyecto se muestra en el Anexo 5.

### 4.6.1 Seleccionar

En esta fase, el objetivo es clasificar que artículos son necesarios en el área de trabajo, tanto en almacén como en producción, ya que son las áreas involucradas que generan mermas en la fabricación de las planchas.

Para ello se utilizó un formato de selección de objetos para identificar los necesarios y los innecesarios. Ver Tabla 12

Tabla 12:  
Lista de objetos necesarios en almacén

Lista de objetos necesarios		
Área	Almacén	
Nº	Objeto	Cantidad
1	Parihuelas	45 und
2	Resina de policarbonato	35 Tn
3	Resina de UV	2 Tn
4	Film blanco	28 rollos
5	Film de marca	26 rollos
6	pigmentos solidos	6 Tn
7	pigmentos líquidos	3 Tn
8	Winchas	27 und

Fuente: La empresa de estudio  
Elaboración: Propia.

Al identificar los objetos necesarios, ahora se tiene definido que objetos deben estar en el área de almacén de planta, de esta forma se puede evitar el error por parte de almacén de despachar al área de producción.

También se logró identificar los objetos innecesarios en el área de almacén, los cuales se muestran a continuación en la siguiente Tabla 13:

Tabla 13:  
Lista de objetos innecesarios en almacén.

Lista de objetos innecesarios		
Área:	Almacén	
Nº	Objeto	Cantidad
1	Pigmentos vencidos	4 Tn
2	Films dañados	6 rollos
3	Resina rechazado	5 Tn
4	Pigmentos de muestra	400 Kg
5	Cascos antiguos	24 Und
6	Big bags	37 Und
7	cajas de cartón	41 Und
8	dosificador dañado	2 Und
9	Caja de herramientas vacía	4 Und

Fuente: La empresa de estudio  
Elaboración: Propia.

A continuación, se muestran algunas imágenes de algunos objetos innecesarios dentro de almacén de planta. Ver Figura 42.



Figura 42: Objetos innecesarios en almacén de planta.  
Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Ya teniendo identificado aquellos objetos que no son necesarios en el área de almacén, se procede a retirarlos de almacén de planta, con el fin de evitar cualquier tipo de error o confusión por parte de almacén de entregar algún tipo de resina, pigmento o film que no corresponda con la orden solicitada.

#### 4.6.2 Organizar

Teniendo solo los objetos necesarios dentro del área de almacén de planta, ahora se debe de organizar de tal forma que facilite su manipulación, y fluidez, dependiendo del uso y necesidad de cada objeto.

Algunos insumos críticos para el proceso, se encontraban a una larga distancia del área de producción, lo cual era un causante de generación de mermas, debido a que, por falta de estos insumos o llegada tardía de estos, ocurrían problemas en producción, A continuación, se presenta el layout del almacén antes de la etapa organizar. Ver Figura 43.

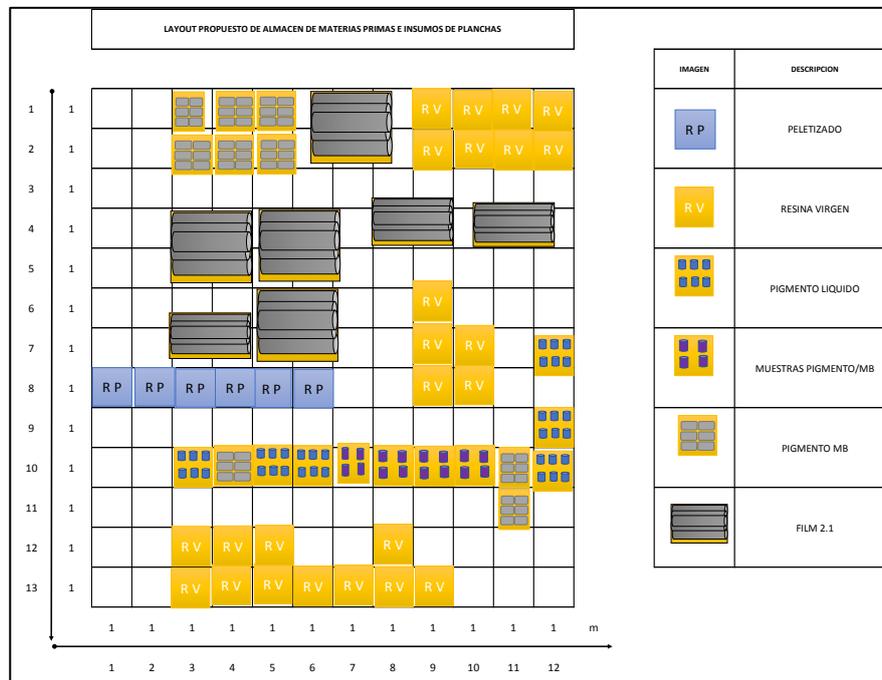


Figura 43: Layout antes de la fase organizar  
Fuente: La empresa de estudio  
Elaboración: Propia.

Como se aprecia en la figura anterior, después de la fase seleccionar, ahora solo quedaron los objetos necesarios dentro del área, pero estaban mal posicionados

para poder cumplir con las diferentes situaciones que se podían presentar en el área de producción,

La materia prima principal, la resina, estaba se encontraba dispersa y en distintas posiciones, la mayor parte muy distante al área de producción. Las parihuelas con los distintos colorantes de todo tipo, estaban mezclados y no permitían el libre flujo a otros insumos de producción, tales como la resina reprocesada y los films.

Se realizó la coordinación con el equipo de almacén para organizar la distribución de las materias primas e insumos, de tal forma que facilite el abastecimiento correcto y a tiempo al área de producción, teniendo en cuenta para ello el tipo de material, frecuencia de uso, urgencia, y criticidad. A continuación, se muestra la distribución del almacén de planta luego de la fase organizar. Ver Figura 44.

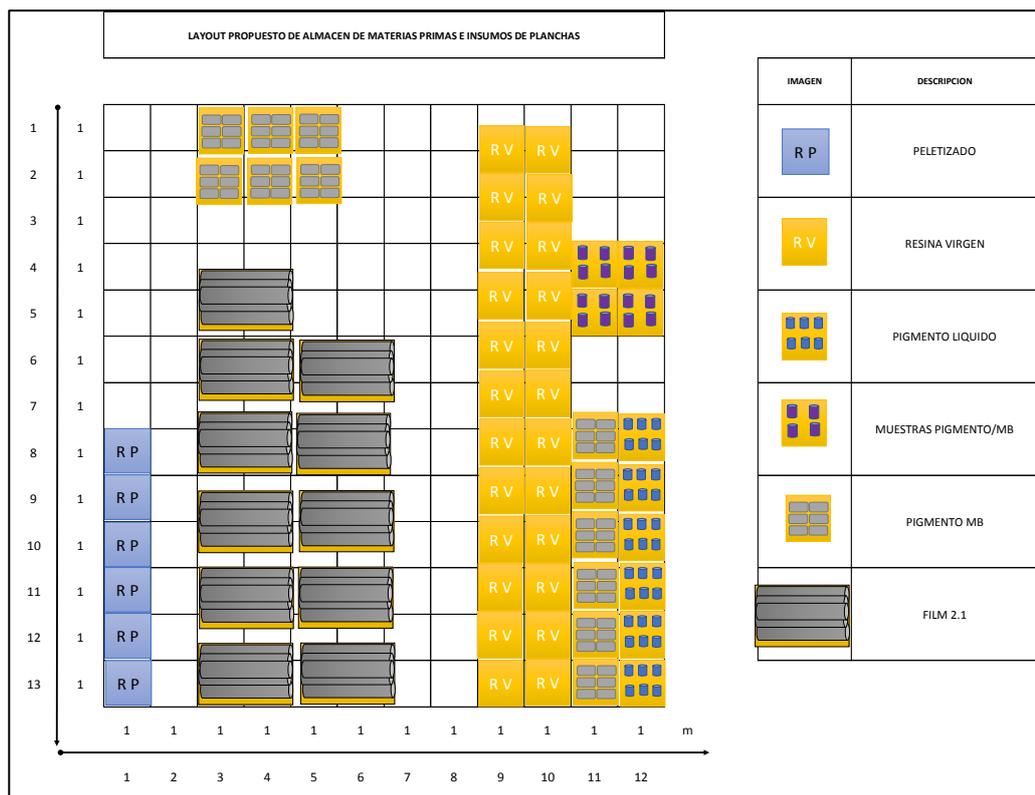


Figura 44: Layout después de la fase organizar  
 Fuente: La empresa de estudio  
 Elaboración: Propia.

La distribución actual del almacén ahora permite un abastecimiento continuo y correcto de las materias primas e insumos, para ello se colocó en forma de

columna las parihuelas con las materias primas. Además de ello, en la parte de atrás se colocó los stocks de seguridad de cada materia prima.

A continuación, se muestran algunas imágenes después de aplicar el segundo paso. Ver Figura 45.



Figura 45: Almacén de planta después de ordenar.  
Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

#### 4.6.3 Limpiar

En esta fase, se realizó la limpieza del área de almacén, además de ello se implementó programas de limpieza y revisión, para evitar la contaminación, despachar insumos caducados, mezcla entre insumos y materias primas.

Se realizó capacitaciones al personal de almacén para el programa de limpieza, el cual se estableció como un procedimiento.

El programa de limpieza contiene información sobre los responsables, frecuencia, método de limpieza, materiales y acciones recomendadas. Ver Tabla 14.

Tabla 14:  
Plan de limpieza en almacén de planta

<b>PLAN DE LIMPIEZA EN ALMACÉN DE PLANTA</b>	
Responsable	Jefe de almacén
	Supervisor de almacén 1
	Supervisor de almacén 2
Zonas y elementos	Pasillos de tránsito
	Parihuelas de plástico y mad.
	BigBag de MP e insumos
Frecuencia	2 Días
Materiales a utilizar	Limpia pisos
	Trapos industriales
	Alcohol 70%
Método de limpieza	Procedimiento PL01-V1
Responsable de los registros de limpieza	Jefe de almacén
	Supervisor de almacén 1
	Supervisor de almacén 2

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Además de los procedimientos y programas de limpieza establecidos, se detectó que una de las causas más comunes por la generación de mermas es la purga y defectos en el proceso debido al material contaminado con partículas de pvc provenientes de otro proceso de fabricación cercano, por lo que se decidió eliminar las partículas de pvc del ambiente de fabricación de las planchas mediante la instalación de extractores.

De esta forma se está manteniendo el área limpia y eliminando la principal fuente de contaminación que provoca la generación de merma.

A continuación, se muestran algunas imágenes sobre esta fase, limpiar, como las actividades realizadas y los implementos utilizados según los procedimientos establecidos para esta fase. Ver Figura 46.

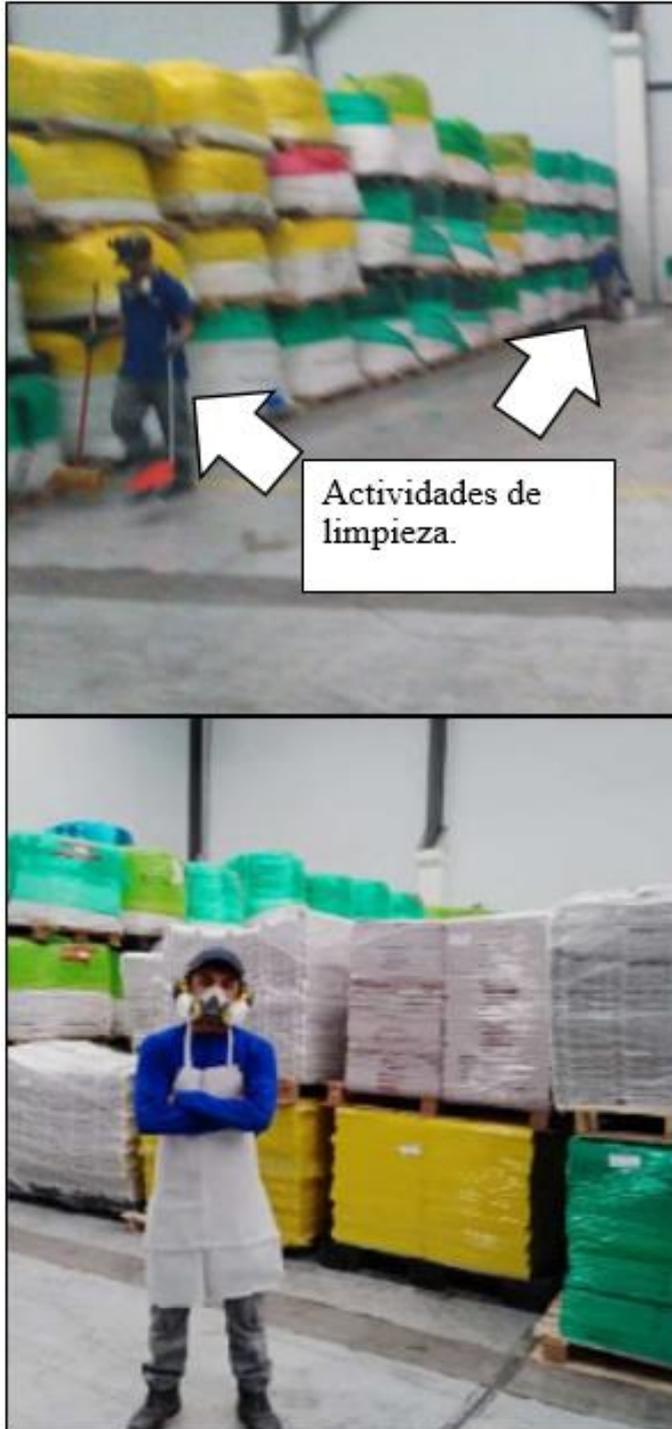


Figura 46: Actividades de limpieza  
Fuente: La empresa de estudio.

#### 4.6.4 Estandarizar

En esta etapa del proyecto 5s, lo que se busca es que se continúen las actividades ya establecidos en las etapas anteriores de la disciplina 5s. Para ello se procede a la generación de procedimientos de trabajo o instructivos de fácil comprensión sobre las actividades a realizar para mantener el orden y limpieza en el almacén de planta.

Además de ello, también se realizó capacitaciones con los grupos del proyecto y a los trabajadores de planta y almacén, dichos procedimientos fueron elaborados por el equipo conformado de 5s y aprobados por gerencia de planta.

#### 4.6.5 Seguimiento

En la etapa de seguimiento, se crean formatos y procedimientos de auditorías internas sobre el área en la que se implementó 5s, con el objetivo de mantener la continuidad de los resultados y no perderlos a través del tiempo.

A continuación, se muestra el programa elaborado de auditorías que se implementó. Ver Tabla 15.

Tabla 15:  
Plan de auditorías 5S

Plan de auditoria 5s	
Área:	Almacén de planta
Frecuencia:	Cada 15 días
Responsable:	Gerente de Planta y Jefe de Almacén
Seleccionar	Formato a utilizar: FA5S-01
Ordenar	Formato a utilizar: FA5S-01
Limpieza	Formato a utilizar: FA5S-01
Estandarización	Formato a utilizar: FA5S-01
Informe de resultados	Formato a utilizar: FA5S-02

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

En este plan de auditorías se indican frecuencia, responsables y área a inspeccionar, además de ello se indican los formatos a utilizar para las evaluaciones.

A continuación, se muestra otro formato utilizado en la fase de Seguimiento, en el cual se aprecia es utilizado para realizar auditorías y evaluar las áreas inspeccionadas, cada etapa de las 5s son evaluadas y calificadas, con respecto al puntaje que se sigue un criterio establecido en las reuniones de trabajo, se toman decisiones. Ver Figura 47.

Formato de evaluación 5S FA5S-01			
Instrucciones	Llenar el formato de auditoria 5s con respecto al siguiente criterio: Cumple: 1 0-10 -> Desaprobado ; 11-15 --> Aprobado , 16-20 --> Excelente No cumple: 0	FV:15-04-19 Fecha: Auditor: Resultado	GERENCIA DE PLANTA
FASE	Actividad		Observaciones
Seleccionar	Correcta identificación de objetos necesarios e innecesarios Separación de objetos innecesarios en zonas identificadas Actividades documentadas sobre separación de objetos Solo objetos necesarios dentro del área auditada Cada objeto tiene un lugar establecido Los objetos necesarios tienen su delimitación en el área auditada Existe seguridad en el área de bido a un buen orden La distribución y el ordenamiento de los objetos es entendible Existe un procedimiento para la devolución de objetos Existe procedimientos de limpieza Se cumplen los procedimientos de limpieza Las áreas de trabajo se encuentran limpias Se tiene controlado las fuentes de suciedad Reuniones periódicas con para retroalimentar los procedimientos de limpieza Se cuenta con los procedimientos implementados con respecto a las primeras 3S El personal responsable del área tiene conocimiento de los procedimientos actuales Se respetan los procedimientos establecidos Evidencia de reuniones periódicas para fomentar planes de mejora de 5s		
Limpiar			
Estandarizar			
PUNTAJE TOTAL:			

Figura 47: Formato de auditoria 5s  
Fuente: La empresa de estudio  
Elaboración: Propia

Con el procedimiento establecido para dar seguimiento a lo anteriormente implementado en las distintas etapas de 5s se da por finalizado la implementación del proyecto en piso de planta.

## 4.7 Estandarización del trabajo

En la fase Analizar, se comprobó que el grupo de trabajo C4, su dispersión de los gramajes era menor, y menor cantidad de productos no conformes, teniendo las mismas condiciones que los demás grupos de trabajo, por lo que se traduce en que el grupo C4 tiene un mejor método de trabajo.

Esta es la base, para realizar el trabajo estándar, e implementarla en los demás grupos de trabajo, teniendo en cuenta la mejor combinación de los niveles de los factores, hallados en la fase Mejorar. Ver Figura 48.

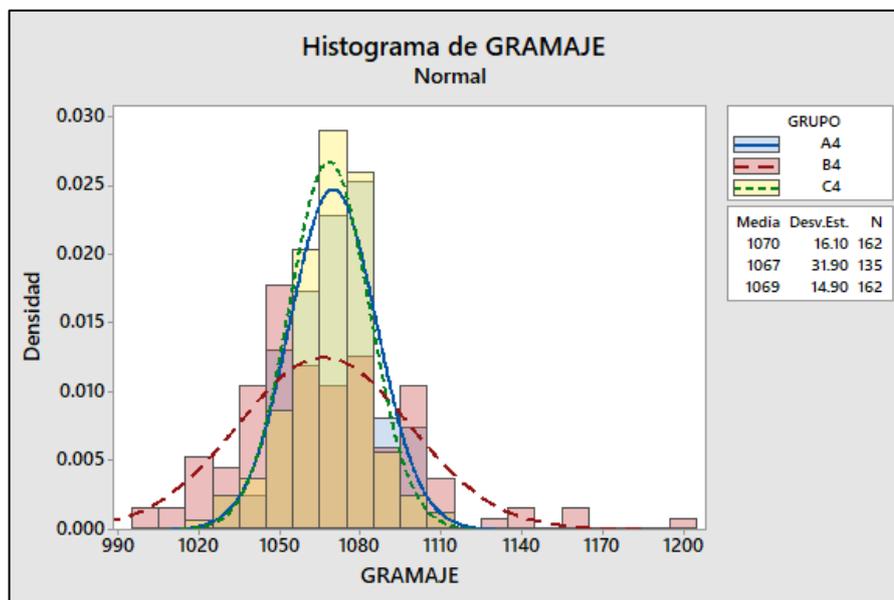


Figura 48: Histograma del gramaje con respecto a los grupos de trabajo.

Fuente: La empresa de estudio

Elaboración: Propia.

Para el trabajo estándar se debe de tener en cuenta lo siguiente:

- Materia prima a utilizar en el proceso de fabricación: MP1
- Caudal de aire: 25 lt/min.

Las siguientes condiciones de proceso, se obtuvieron de estudiar el método de trabajo y hacer un seguimiento al grupo C4, se obtuvo lo siguiente: Ver Tabla 16.

Tabla 16:  
Condiciones de proceso del grupo de trabajo con menor producción de no conformes

Característica	Condición
Tiempo de des humidificación de insumos y MP	2.5 Horas
RPM del Motor del extrusor	24.4 RPM
RPM del Motor del Co-extrusor	18.6 RPM
Tº de Cabezal superior	245ºC
Tº de Cabezal inferior	245ºC
Presión del caudal de aire	25 Lt/min
Tº del Horno de primer arrastre	145ºC
Distancia entre rodillos del primer arrastre	5.5 mm
Velocidad de arrastre del primer rodillo	2.3 m/min
Velocidad de arrastre del segundo rodillo	2.45 m/min
Dosificación de pigmento	2% F3:29.9 y F4:30
Marca de resina de PC a utilizar	MP1

Fuente: La empresa de estudio  
Elaboración: Propia.

También se obtuvo información sobre las actividades que se deben de realizar antes de iniciar producción, y tener en cuenta para evitar problemas poco tiempo después de iniciar producción. Tales actividades se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17:  
Actividades a realizar antes de iniciar producción.

Revisar la fecha de caducidad de las MP y los insumos
Revisar que el abastecimiento de MP no esté por acabarse
Revisar que la presión del caudal de aire esté nivelada
Revisar que la Tº del cabezal esté nivelada en todas las zonas
Revisar los canales del dosificador
Revisar que los rollos de film no estén por acabarse

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Además de las condiciones de trabajo, se obtuvo la siguiente información sobre acciones correctivas para los distintos defectos comunes que originan productos no conformes, como se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18:

Acciones correctivas realizadas por el grupo de trabajo con menor producción de no conformes

<b>Defectos comunes:</b>	<b>Acción correctiva</b>
Bordes débiles/ quebradizos	Subir Tº del cabezal superior e inferior de 35 a 40 ºC
Flujos / marcas longitudinales	Limpieza del calibrador, con disolvente, por 25 min
Burbujas / deformación	Regular la presión del caudal de aire y bajar la Tº aproximadamente 30 ºC
Pesos dispersos en la plancha	Nivelar el caudal de aire en las 7 zonas de la plancha
deformación de bordes, doblados hacia arriba o abajo	Bajar la temperatura del primer arrastre, a 140 ºC aproximadamente
Productos con tonalidad distinta o contaminada	Purgar el extrusor, aproximadamente 35 min.

Fuente: La empresa de estudio

Elaboración: Propia.

Con todos los datos obtenidos, se puede implementar trabajo estándar, plasmándose en un instructivo de trabajo con todas las condiciones y acciones que se deben de tomar antes, durante y después del proceso de fabricación para lograr reducir la cantidad de productos no conformes, apoyándose con las acciones que realiza el grupo de trabajo con menor producción de no conformes y los datos obtenidos en el diseño de experimentos.

El instructivo se diseñó para su fácil comprensión entre todos los involucrados, además de ello, a todos los grupos de trabajo en el área de producción se les dio una capacitación sobre el tema y se realizó el seguimiento sobre la implementación de los nuevos procedimientos de trabajo. Algunas imágenes utilizadas para los instructivos de trabajo se encuentran en el Anexo 9.

Se recolectaron datos mensuales después de la implementación de la metodología Lean Six Sigma, lo cual incluye el DMAIC, disciplina 5 S y trabajo estandarizado, los resultados se compararon con las muestras obtenidas antes de la implementación, los resultados se aprecian en la Tabla 19.

Tabla 19:  
Cuadro comparativo de resultados alcanzados

<b>Variables dependientes</b>	<b>Antes</b>	<b>Despues</b>	<b>UM</b>	<b>Diferencia UM</b>	<b>Diferencia %</b>	<b>Ahorro en Kg mensual</b>
<b>gr/m2</b>	1066.5	1050.95	gr/m2	15.55	1.5%	2,727.35
<b>merma Kg mensual</b>	9428.44	5851.51	Kg	3576.93	37.9%	3,576.93
<b>PNC mensual</b>	471	283	Und	188	39.9%	4,808.66
				Ahorro total Kg		11,112.94
				Ahorro total en \$		22,448.14

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

En la tabla anterior se observa el valor de los gramajes, los Kg de merma y productos no conformes, los valores son en promedio mensuales, antes y después de la implementación de la metodología Lean Six Sigma. También se observa la diferencia de cada variable en Kg mensuales y en porcentaje. Al ahorrar ahora 1.5% de materia prima por cada metro cuadrado presente en cada plancha de policarbonato, de forma mensual se está ahorrando en promedio 2727.35 Kg, al reducir las mermas mensuales en 37.9%, se logró ahorrar 3,576.93 Kg de materia prima mensual, y al reducir la producción de productos no conformes, se logró ahorrar 4,808.66 Kg de materia prima mensual, todo ello sumando un total de 11,112.94 Kg de MP al mes en promedio.

Teniendo en cuenta que el valor del Kg de resina de PC en el mercado se encuentre en promedio a 2.02 \$/kg, se está teniendo un ahorro mensual promedio de \$ 22.448.14.

En el punto 4.8 se evaluarán estadísticamente los resultados obtenidos, para verificar si el cambio en cada una de las variables dependientes es o no, significativa.

## 4.8 Análisis de los resultados

En el trabajo de investigación se implementó la metodología Lean Six Sigma en una planta de plásticos con el fin de determinar si se lograba mejorar la productividad en producción mediante la reducción de la variabilidad de los gramajes de los productos terminados, reducir las mermas en producción y reducir la cantidad de productos no conformes, utilizando herramientas propias de los enfoques Lean y Six Sigma para cada caso en particular.

A continuación, se muestran los resultados de las distintas herramientas utilizadas.

### 4.8.1 Resultados del DMAIC

En la Fase de medir de Lean Six Sigma, se obtuvo una muestra de 348 muestras (cortes) debido a los datos de desviación estándar, el error aceptado para el muestreo y un nivel de confianza del 95%. Para comparar los resultados de los gramajes antes y después de la implementación de esta metodología, también se recolectó la misma cantidad de muestras que se recolectó al inicio del proyecto.

A continuación, en la Tabla 20 se muestran un resumen de las muestras obtenidas, la cantidad de gramajes muestreados total se aprecian en el Anexo 7 y Anexo 8.

Tabla 20:  
Muestra de gramajes antes y después de la implementación.

Gramajes Antes		Gramajes Después	
1057.68	1080.69	1073.25	1060.65
1053.86	1051.51	1047.95	1044.31
1079.92	1059.12	1036.96	1044.52
1071.09	1094.12	1049.47	1065.57
1078.71	1067.75	1069.30	1062.68
1114.27	1047.93	1050.82	1053.01
1064.75	1068.09	1044.11	1063.98
1023.30	1065.95	1050.45	1058.52
1068.15	1067.39	1055.93	1049.20
1072.79	1037.34	1032.63	1043.36

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: propia.

A continuación, se realiza la prueba de normalidad a los datos de los gramajes antes y después de la implementación de la metodología lean six sigma.

### Prueba de normalidad a los gramajes antes y después de la implementación

$H_0$ : Datos = Normales

$H_1$ : Datos  $\neq$  Normales

Se aplica la prueba de normalidad por Kolmogorov-Smirnov debido a ser mayor de 50 datos, y se obtienen los siguientes resultados: Ver Figura 49.

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
	Estadístico	gl	Sig.
GramajesAntesR	,032	348	,200 <sup>*</sup>
GramajesDespuesR	,037	348	,200 <sup>*</sup>

Figura 49: Prueba de normalidad de gramajes antes y después de la implementación.  
Fuente: La empresa de estudio.

Dado que el Valor p es mayor a 0.05, no rechazamos la hipótesis nula, por lo que los datos provienen de una distribución normal.

A continuación, en la Figura 50 se muestran los estadísticos descriptivos de los gramajes antes y después de la implementación.

Descriptivos			
			Estadístico
GramajesAntesR	Media		1066,5044
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1064,6919
		Límite superior	1068,3170
	Media recortada al 5%		1066,6875
	Mediana		1066,1100
	Varianza		295,541
	Desv. Desviación		17,19129
GramajesDespuesR	Media		1050,9481
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1049,7651
		Límite superior	1052,1310
	Media recortada al 5%		1051,0164
	Mediana		1051,4300
	Varianza		125,892
	Desv. Desviación		11,22015

Figura 50: Estadísticos descriptivos de los gramajes.  
Fuente: La empresa de estudio.

### Prueba T para muestras relacionadas

Se realiza la comparación de medias relacionadas y se obtiene los siguientes resultados:

Se plantea la prueba de hipótesis:

H0:  $\mu_{\text{antes}} = \mu_{\text{despues}}$

H1:  $\mu_{\text{antes}} \neq \mu_{\text{despues}}$

A continuación, en la Figura 51, se muestran los resultados de la comparación de medias de los gramajes antes y después de la implementación.

Prueba de muestras emparejadas							
		Diferencias emparejadas					
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior	
Par 1	GramajesAntesR - GramajesDespuesR	15,55635	20,50490	1,09918	13,39446	17,71824	,000

Figura 51: Resultado de comparación de medias de los gramajes.  
Fuente: La empresa de estudio.

El Valor P es 0.000, al ser menor que 0.05, rechazamos la hipótesis nula, por lo que existe una diferencia significativa en la media de los gramajes antes y después de la implementación, cuya diferencia se encuentra entre 13.39 y 17.71, con un nivel de confianza del 95%.

#### 4.8.2 Resultados de la implementación de 5S

Se realizará una comparación de medias entre las mermas mensuales registradas del año 2018 y las mermas mensuales registradas del año 2019, desde mayo hasta octubre, debido a que en el mes de mayo se terminó la implementación de esta disciplina en almacén de planta. Ver tabla 21.

Tabla 21:  
Muestras de merma antes y después de la implementación.

MERMA ANTES		MERMA DESPUES
16,604.04	12,894.90	5,663.30
13,204.10	7,862.36	6,434.80
9,332.70	9,584.25	5,802.50
11,245.20	7,187.49	5,743.70
11,356.20	9,302.75	5,848.20
9,532.30	9,738.91	6,143.53

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Se procede a realizar la prueba de normalidad de los datos registrados, que se muestran a continuación.

Se plantea la prueba de hipótesis para normalidad:

$H_0$ : Datos = Normales

$H_1$ : Datos  $\neq$  Normales

A continuación, en la Figura 52 se observan los resultados:

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MermasAntes	,221	12	,110	,917	12	,260
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
MermasDespues	,217	6	,200 <sup>*</sup>	,969	6	,884

Figura 52 : Prueba de normalidad de las mermas de producción.  
Fuente: La empresa de estudio.

Al ser el tamaño de muestra menores a 30 datos, se realiza la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, por lo que se observa un valor de P de 0.262 y 0.884 para los registros de mermas antes y después de la implementación respectivamente, siendo ambos mayores al error, 0.05, por lo que no rechazamos la hipótesis nula, y concluimos que los datos pertenecen a una distribución normal.

Al ser los datos de ambos grupos normales, se pueden realizar pruebas paramétricas, en este caso el de comparación de medias, prueba T, para determinar si existe una diferencia significativa en el promedio de ambos grupos.

Se plantea la hipótesis para comparación de medias:

$$H_0: u_{\text{antes}} = u_{\text{despues}}$$

$$H_1: u_{\text{antes}} \neq u_{\text{despues}}$$

En la Figura 53 se aprecian los resultados:

Prueba T				
Estadísticas de muestras emparejadas				
		Media	N	Desv. Desviación
Par 1	MermasAntes	9428,4433	6	1981,27609
	MermasDespues	5851,5050	6	384,49036
		Media		Sig. (bilateral)
Par 1	MermasAntes - MermasDespues	3576,93833		,009

Figura 53: Resultados de comparación de medias de las mermas de producción.  
Fuente: La empresa de estudio.

En los resultados, se aprecia que el valor P (sig.) es igual a 0.009, por lo que es menor a 0.05, por lo que rechazamos la hipótesis nula y se puede afirmar que sí existe una diferencia significativa entre las medias de las mermas de producción antes y después de la implementación de la disciplina 5S, con una diferencia en promedio de 3,576.9 Kg.

#### 4.8.3 Resultados de la implementación de trabajo estándar

Tras la implementación de trabajo estándar en la línea de producción se obtuvieron los siguientes resultados de proporción de no conformes antes y después de la implementación, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 22.

Tabla 22:  
Proporción de PNC antes y después de la implementación.

Proporción de PNC Antes		Proporción PNC Despues
6.0%	5.9%	4.0%
8.4%	7.0%	3.4%
4.5%	6.9%	3.6%
4.4%	7.6%	3.9%
6.3%	6.9%	4.2%
7.8%	6.2%	4.1%
7.1%	6.8%	4.7%

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

A continuación, se realiza la prueba de normalidad de los datos.

$H_0$ : Datos = Normales

$H_1$ : Datos  $\neq$  Normales

Los resultados de la prueba de normalidad se aprecian en la Figura 54.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Proporcion_Antes	,153	15	,200 <sup>*</sup>	,948	15	,491
Proporcion_Despues	,163	7	,200 <sup>*</sup>	,974	7	,924

Figura 54 : Prueba de normalidad de proporción de PNC.

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Se aprecia que el valor P en ambos casos es de 0.491 y 0.924, ambos son mayores que 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula, y podemos confirmar que los datos provienen de una distribución normal. Por lo que se procede a realizar pruebas paramétricas para verificar si hay una diferencia significativa entre ambas medias.

### Comparación de medias de proporción de PNC antes y después

Se realiza la prueba T para comparar medias de las proporciones de PNC antes y después de la implementación, por lo que se plantea la siguiente hipótesis:

$$H_0: \mu_{\text{antes}} = \mu_{\text{despues}}$$

$$H_1: \mu_{\text{antes}} \neq \mu_{\text{despues}}$$

Los resultados se aprecian en la Figura 55.

		Media			
Par 1	Proporcion_Antes	6,3571			
	Proporcion_Despues	3,9857			
		Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia		Sig. (bilateral)
Par 1	Proporcion_Antes - Proporcion_Despues	2,37143	Inferior	Superior	
			,93101	3,81185	,007

Figura 55: Comparación de medias de proporción PNC antes y después.  
Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

Se aprecia que el valor P (sig.) es de 0.007, al ser menor que 0.05 se rechaza  $H_0$ , por lo que podemos afirmar que existe una diferencia significativa entre las medias de proporción de PNC antes y después de la implementación del trabajo estándar, teniendo un 95% de confianza que la diferencia está entre 0.93% y 3.81%.

### **Cambios en la productividad de la planta.**

De acuerdo con los resultados mostrados anteriormente, la reducción de la media y la variabilidad de los gramajes de los productos, la reducción de las mermas de producción y la reducción de productos no conformes generaron ahorros en consumo de Kg de materia prima.

En la tabla 19, mostrada anteriormente, se puede observar los ahorros en consumo de Kg de materia prima, teniendo un total de 11,112.94 Kg MP /mes.

Con estos ahorros generados, se puede realizar el cálculo de incremento en la productividad de la línea de producción tomada como muestra, como se aprecia en la Tabla 23.

Tabla 23: Incremento en la productividad

	<b>Antes</b>		<b>Después</b>	
	Productividad	Índice	Productividad	Índice
<b>Salidas Kg</b>	189,125.00	0.90	193,933.66	0.96
<b>Entradas Kg</b>	210,830.15		202,215.08	

Fuente: La empresa de estudio.  
Elaboración: Propia.

El aumento de la producción de 4,808.66 Kg (reducción de productos no conformes), y reducción en los consumos de MP debido a la reducción en el gramaje/m<sup>2</sup> y reducción de las mermas en el proceso de producción, ambos sumando un ahorro de 8,615.07 Kg de MP. Esto refleja un incremento en la productividad de 0.9 a 0.96 Kg/Kg MP.

## CONCLUSIONES

1. El DMAIC como parte de la metodología Lean Six Sigma, logró reducir la variabilidad y la media de los gramajes de las láminas de PC, pasando de 1066.50 gr/m<sup>2</sup> a 1050.95 gr/m<sup>2</sup> y la desviación estándar de 17.19 a 11.22 gr/m<sup>2</sup>.
2. El Nivel Sigma con respecto a los gramajes cambió de 1.95 a 4.17, lo que se refleja en un DPMO de 3,792.61, trayendo como resultados un ahorro mensual de 2,727.35 Kg de MP.
3. La implementación de la disciplina 5S logró reducir las mermas generadas en el área de producción en un 37.9% (3,574.94 Kg/mes).
4. La implementación del trabajo estándar logró reducir la producción de artículos no conformes, pasando de un promedio de 471 PNC/mes a 283 PNC/mes, siendo la proporción de 6.5% a 4.0%, además de generar ahorros en consumo de MP de 4,808.66 Kg mensuales.
5. La implementación de la metodología Lean Six Sigma, que componen el uso del DMAIC, 5S y trabajo estándar para este caso de estudio, logró mejorar la productividad de la empresa de plásticos teniendo una productividad antes de 0.90 Kg en producto/ Kg de MP a 0.96 Kg en producto/Kg de MP, siendo el ahorro de 60 gr de MP por cada Kg de PT, lo cual al mes refleja un ahorro de 11,112.94 Kg de MP.
6. El uso adecuado de la metodología y las herramientas de Lean y Six Sigma, pueden lograr cambios significativos en todo tipo de procesos (producción o servicios), logrando una ventaja competitiva para las empresas.
7. De acuerdo a los resultados obtenidos de la metodología, se puede confirmar la parte teórica, la cual indica que Lean Six Sigma logra incrementar la calidad y productividad de los procesos, mediante la eliminación de los desperdicios y reducción de la variabilidad.

## RECOMENDACIONES

1. Debido a los resultados obtenidos, se recomienda implementar la metodología Lean Six Sigma en los demás procesos de la empresa, procesos de producción o administrativos.
2. Se recomienda que todo el personal involucrado en el proceso que se va a mejorar, participe en el proyecto, ya que la metodología Lean se basa en las personas y en el trabajo en equipo.
3. Se recomienda capacitar a todo el personal con una certificación de Lean Six Sigma Yellow Belt, ya que con ello tendrán conocimientos sólidos sobre las herramientas implementadas, como trabajo estándar y la disciplina 5S, y a los responsables de los procesos, como el jefe de planta, con una certificación Green Belt o Black Belt.
4. Se recomienda la implementación de la metodología Lean Six Sigma en los demás sectores de la industria, como el metalúrgico, metal mecánico, alimentos, farmacéuticos, textil, etc.
5. Se recomienda que las empresas cuenten con un área propia de mejora continua, debido a que podrán contar con un equipo de profesionales especializados en distintas herramientas de mejora que podrán lograr cambios significativos en las empresas.
6. Se recomienda registrar datos de los procesos, todas las variables de entrada y todas las variables de salida, ya que esos datos podrán usarse para realizar el análisis respectivo y proponer mejoras.
7. Se recomienda iniciar con proyectos piloto, aplicar la metodología en un proceso, para un solo tipo de producto o familia de productos, y al obtener resultados, el equipo implementador con esta experiencia, puede replicar la metodología en procesos más complicados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Delgado, E. (2015). *Propuesta de un plan para la reducción de la merma utilizando la metodología six sigma en una planta de productos plásticos* (Tesis de maestría), Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Aguirre, A. (2010). *Aplicación de la metodología seis sigma para mejorar la capacidad de proceso de la variable nivelación vertical en la aplicación de pintura (fondos) de una ensambladora de vehículos* (tesis de maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
- Barragán, F. (2015). *Implementación de la metodología DMAIC de lean seis sigma para la reducción de desperdicios en el quirófano de un hospital privado de san Luis Potosí*. (Tesis de maestría), Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Potosí, Bolivia.
- Rueda. L. (2007). *Aplicación de la metodología seis sigma y lean manufacturing para la reducción de costos, en la producción de jeringas hipodérmicas desechables*. (Tesis de maestría). Instituto Politécnico Nacional. México.
- Nieto. A. (2014). *Implementación de la metodología seis sigma para el mejoramiento continuo del proceso de venta de servicios tecnológicos y comunicacionales en Ecuadortelecom S.A.* (Tesis de maestría). Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil. Ecuador.
- Gutiérrez, H. y Vara, R. (2009). *Control estadístico de la calidad y seis sigma*. México: McGRAW-HILL.
- Hernández, J. y Vizán A. (2013). *Lean manufacturing, conceptos, técnicas e implantación*. Madrid, España: Fundación EOI.

- Herrera, R. y Fontalvo, T. (2012). *Seis sigma: métodos estadísticos y sus aplicaciones*.
- Socconini, L. (2015). *Certificación lean six sigma Green belt para la excelencia en los negocios*. Barcelona, España: Marge Books.
- Jiménez, J., Castro, A. y Brenes, C. (2009). *Productividad*. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliourpsp/reader.action?docID=3181049&ppg=1&query=productividad>
- Barbosa R. (2009). *Monitoreo y análisis estadístico de procesos con aplicaciones*. Barranquilla, Colombia: Universidad del Norte.
- Manzano, M. y Gisbert, V. (2016). *Lean manufacturing: implantación de 5S*. 3C Tecnología.
- Socconini, L. (2018). *Lean Company más allá de la manufactura*. Guadalajara, Mexico. Pandora Impresiones
- Arbaiza, L. (2013). *Como elaborar una tesis de grado*. Lima Perú: Universidad ESAN.
- Azañero, F. (2016). *Como elaborar una tesis universitaria*. Lima. Perú. R&F Publicaciones y Servicios.
- Hernandez, R., Fernadnez, C. y Baptista, P. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico. McGraw-HILL.
- Arguelles, J. (2018). *Proyectos seis sigma: el camino a la excelencia operacional*. Potosí. Colombia: Editorial Reverté.
- Tolosa, L. (2016). *Técnicas de mejora continua en el transporte*. Editorial: Marge Books.
- Piattini, M., García, F., García, I., Pino, F. (2018). *Calidad de sistemas de información*. Madrid. España. Editorial: Ra-Ma.

Martín, P. y Socconini, L. (2019). *Lean energy 4.0: Guía de implementación*. Barcelona. Editorial: Marge Books.

Anaya, J. (2017). *Organización de la producción industrial: un enfoque de gestión operativa en fábrica*. Madrid. España. Editorial: ESIC EDITORIAL.

Socconini, L. y Reato, C. (2019). *Lean Six Sigma: Sistema de gestión para liderar empresas*. Barcelona. Editorial: Marge Books.

Pardo, J. (2017), *Gestión por procesos y riesgo operacional*. España. Editorial: AENOR International.

Rajadell, M. (2019). *Creatividad: Rendimiento y mejora continua*. Barcelona. España. Editorial: REVERTÉ.

Baca, G., Cruz, M., Cristobal, I., Baca, G., Gutiérrez, J., Pacheco, A., Rivera, Á., Rivera, I., Obregón, M. (2014). *Introducción a la ingeniería industrial*. México. D.F. EDITORIAL: Grupo editorial Patria.

Gillet, F. y Seno, B (2014). *La caja de herramientas: control de calidad*. México. EDITORIAL: Grupo Editorial Patria.

Martínez, A. y Cegarra, J. (2014). *Gestión por procesos de negocio: organización horizontal*. Madrid. España. Editorial de economistas.

Baca, G., Rodríguez, N., Pacheco, A., Reyes, J., Alcántar, E., Prieto, A., Pérez, G., Rivera, I., Pinzón, C., Vittoria, M., Rivera, G. (2014). *Administración integral, hacia un enfoque de procesos*. México. Universidad Iberoamericana.

González, P. (2017). *Proceso de gestión de calidad en hostelería y turismo*. UF0049. Editorial: Tutor Formación.

Luna, A. (2014). *Proceso administrativo*. México. Editorial: Patria.

Álvarez, F. (2015). *Calidad y auditoría en salud*. Bogotá. Colombia. Editorial: ECOE ediciones.

López, P. (2016). *Herramientas para la mejora de la calidad*. Madrid. España. Editorial: Fundacion Confemental.

Socconini, L. (2019). *Lean manufacturing: paso a paso*. Barcelona. Editorial: Marge Books.

Socconini, L. (2019). *Lean Service: Certification manual*. Barcelona. Publisher: Marge Books.

# ANEXOS

## Anexo 1: Declaración de Autenticidad

A continuación, se muestra el formato de autenticidad y no plagio.

	<b>Universidad Ricardo Palma</b>	<b>Escuela de Posgrado</b>
<b>DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO</b>		
<b>DECLARACIÓN DEL GRADUANDO</b>		
Por el presente, el graduando: <i>(Apellidos y nombres)</i>		
Calderón Carrillo, José Iván		
en condición de egresado del Programa de Posgrado:		
Maestría en Ingeniería Industrial con Mención en Planeamiento y Gestión Empresarial		
deja constancia que ha elaborado la tesis intitulada:		
Implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar la productividad en una empresa de plásticos.		
<p>Declara que el presente trabajo de tesis ha sido elaborado por el mismo y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica, de investigación, profesional o similar.</p> <p>Deja constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no ha asumido como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de la Internet.</p> <p>Asimismo, ratifica que es plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asume la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento y es consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.</p> <p>En caso de incumplimiento de esta declaración, el graduando se somete a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y los dispositivos legales vigentes.</p>		
 Firma del graduando		06/12/19 Fecha

## Anexo 2: Autorización de consentimiento para realizar la investigación

A continuación, se muestra el formato de autorización para realizar la investigación.

		<b>Universidad Ricardo Palma</b>		<b>Escuela de Posgrado</b>	
<b>AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN</b>					
<b>DECLARACIÓN DEL RESPONSABLE DEL AREA O DEPENDENCIA DONDE SE REALIZARÁ LA INVESTIGACIÓN</b>					
Dejo constancia que el área o dependencia que dirijo, ha tomado conocimiento del proyecto de tesis titulado:					
Implementación de la metodología Lean Six Sigma para mejorar la productividad en una empresa de plásticos					
el mismo que es realizado por el Sr./Srta. Estudiante (Apellidos y nombres):					
Calderón Carrillo José Iván					
, en condición de estudiante - investigador del Programa de:					
Maestría en Ingeniería Industrial con mención en planeamiento y gestión empresarial					
Así mismo señalamos, que según nuestra normativa interna procederemos con el apoyo al desarrollo del proyecto de investigación, dando las facilidades del caso para aplicación de los instrumentos de recolección de datos.					
En razón de lo expresado doy mi consentimiento para el uso de la información y/o la aplicación de los instrumentos de recolección de datos:					
Nombre de la empresa:			Autorización para el uso del nombre de la Empresa en el Informe Final		SI
Polyroof S.A.C.					<input checked="" type="checkbox"/>
Apellidos y Nombres del Jefe/Responsable del área:			Cargo del Jefe/Responsable del área:		
Ortiz Alarcón Luis Enrique			Jefe de planta		
Teléfono fijo (incluyendo anexo) y/o celular:			Correo electrónico de la empresa:		
980-580-662			Enrique.ortiz@klar.com.pe		
 Firma			06-08-2019 Fecha		

### Anexo 3: Matriz de consistencia

A continuación, se presenta la Matriz de consistencia utilizada en la investigación del estudio. (Ver Tabla 24).

Tabla 24:  
Matriz de Consistencia

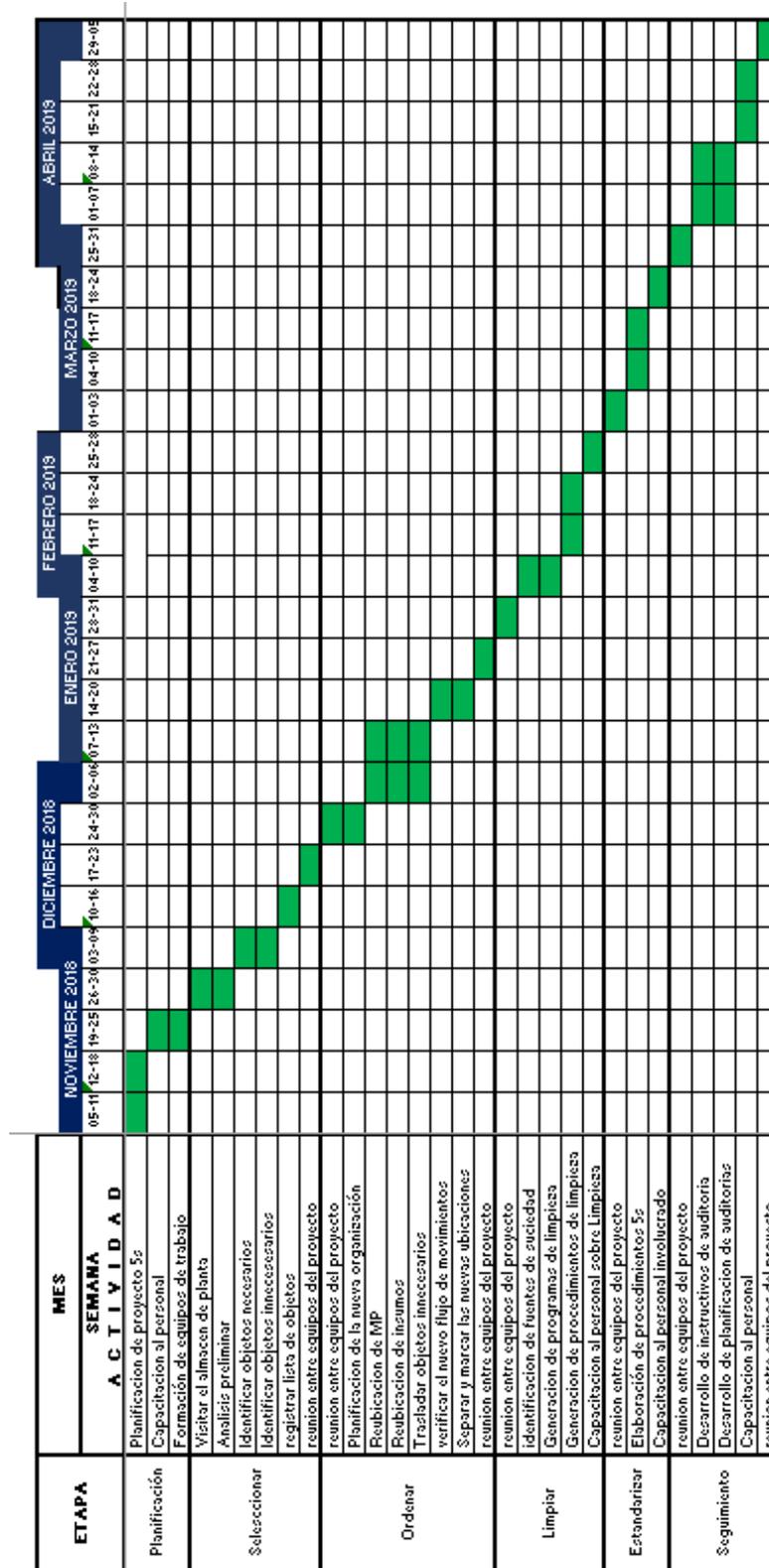
Problemas Principal	Objetivos General	Hipótesis General	Variables Independiente	Indicador V.I.	Variables Dependiente	Indicador V.D.
¿Cómo mediante la implementación de la metodología Lean six sigma se logrará mejorar la productividad en una empresa de plásticos?	Implementar la metodología Lean six sigma para mejorar la productividad en una empresa de plásticos.	Si se implementa la metodología Lean six sigma entonces mejorará la productividad en una empresa de plásticos	<i>Metodología Lean Six Sigma</i>	--,--	<i>Productividad</i>	--,--
Problemas Especifico	Objetivos Específicos	Hipótesis Especificas				
¿Cómo reducir la variabilidad de gramajes en la producción de planchas de policarbonato mediante el DMAIC?	Implementar el DMAIC para reducir la variabilidad de gramajes en la producción de planchas de policarbonato de la empresa de plásticos.	Si se implementa el DIMAIC, entonces se reducirá la variabilidad de gramajes en la producción de planchas de policarbonato de la empresa de plásticos	DMAIC	Si / No	Variabilidad de gramajes	Promedio de gramajes Desviación estándar
¿Cómo reducir las mermas en la producción de planchas de policarbonato, mediante la metodología 5S?	Implementar la metodología 5 S para reducir las mermas en la producción de planchas de policarbonato de la empresa de plástico.	Si se implementa la metodología 5 S entonces se reducirá las mermas en la producción de planchas de policarbonato de la empresa de plásticos	Metodología 5S	Si / No	Mermas	Kg merma mensual
¿Cómo reducir los productos no conformes de planchas de policarbonato, mediante la implementación de la estandarización del trabajo?	Implementar la estandarización del trabajo para reducir los productos no conformes de planchas de policarbonato de la empresa de plástico.	Si se implementa la estandarización del trabajo entonces se reducirán los productos no conformes de planchas de policarbonato de la empresa de plásticos	Estandarización del trabajo	Si / No	Productos no conformes	(Productos no conformes / Total de producción) x 100

Fuente: Elaboración Propia

#### **Anexo 4: Protocolos o Instrumentos utilizados**

De acuerdo a lo redactado en el Capítulo III, no se cuentan con protocolos ni instrumentos utilizados al analizar la información recolectada directamente de los registros del departamento de producción.

## Anexo 5: Gantt de implementación de 5s



Fuente: La empresa de estudio.

## Anexo 6: Plan control de la fase controlar del DMAIC

PROCESO			PROCESO DE MEDICION			MUESTREO			TOMA DE DECISIÓN		
Paso Proceso	¿Qué controlamos?	Critico	Límites de especificacion requeridos	Lugar	Metodo de control	Tamaño de muestra	Frecuencia	Quien lo mide	Donde se registra	Decisión / accion correctiva	Nº Doc
Extrusion	Caudal de aire	si	24-25	Línea de producción	Grafico Xbra-R	7	cada hora	Operador de producción	Formato PR 02	Regulación del barometro	PPRO-003
Extrusion	Marca de Resina de PC	si	MP1	Línea de producción	Visual	1	cada hora	Operador de producción	Formato PR 02	Informar al jefe de producción	PPRO-003

Fuente: La empresa de estudio.

## Anexo 7: Datos completos de los gramajes antes de la implementación

Muestra de gramajes antes de la implementación					
1065.66	1040.74	1040.74	1075.93	1053.87	1057.68
1068.35	1061.75	1061.75	1069.76	1064.32	1053.86
1075.39	1074.71	1074.71	1022.33	1024.28	1079.92
1034.50	1056.87	1056.87	1071.68	1086.05	1071.09
1058.96	1057.05	1057.05	1054.44	1101.57	1078.71
1083.71	1074.39	1074.39	1064.19	1082.56	1114.27
1060.21	1068.47	1068.47	1076.94	1064.33	1064.75
1091.46	1077.58	1077.58	1061.41	1040.11	1023.30
1075.09	1071.61	1071.61	1072.45	1074.73	1068.15
1064.31	1091.00	1091.00	1056.16	1059.34	1072.79
1069.93	1074.27	1074.27	1065.34	1057.52	1080.69
1079.18	1042.63	1042.63	1070.33	1085.13	1051.51
1052.85	1060.91	1060.91	1064.41	1079.44	1059.12
1070.55	1053.53	1053.53	1098.50	1083.89	1094.12
1080.62	1057.94	1057.94	1062.78	1046.14	1067.75
1073.13	1089.43	1089.43	1088.04	1059.64	1047.93
1058.02	1063.02	1063.02	1071.42	1082.79	1068.09
1066.37	1074.31	1074.31	1071.79	1065.02	1065.95
1065.61	1069.28	1069.28	1058.34	1077.57	1067.39
1066.27	1061.15	1061.15	1091.90	1074.47	1037.34
1074.49	1061.21	1062.53	1045.98	1110.47	1091.73
1061.08	1087.18	1074.72	1054.04	1069.73	1045.54
1081.95	1052.77	1073.74	1078.60	1084.52	1033.64
1065.12	1091.24	1066.34	1098.75	1036.17	1065.52
1064.15	1084.02	1106.44	1059.49	1077.97	1072.86
1049.40	1076.85	1089.83	1095.53	1074.49	1089.04
1066.46	1085.11	1049.36	1062.73	1064.39	1059.07
1054.80	1076.78	1062.92	1028.74	1035.01	1082.51
1061.83	1063.04	1050.31	1056.14	1070.22	1061.93
1056.40	1077.44	1056.26	1044.50	1084.32	1105.52
1048.02	1091.30	1057.62	1065.73	1038.80	1037.26
1080.03	1058.26	1064.59	1099.56	1088.72	1090.03
1061.95	1097.93	1045.04	1037.77	1049.79	1045.36
1084.41	1049.46	1074.14	1104.40	1073.01	1061.73
1059.63	1067.25	1048.81	1092.21	1059.53	1061.83
1029.56	1059.14	1067.92	1042.01	1067.86	1072.39
1054.61	1059.80	1082.48	1063.38	1065.11	1088.45
1047.71	1047.79	1069.26	1071.93	1060.84	1063.18
1060.52	1081.32	1059.47	1082.05	1048.04	1085.29
1064.63	1074.05	1077.81	1052.53	1071.20	1058.60
1069.96	1076.37	1094.02	1049.50	1066.85	1054.28
1063.23	1038.46	1042.62	1055.50	1061.75	1064.16
1088.76	1067.37	1049.23	1061.62	1090.82	1076.98
1043.36	1049.80	1043.15	1048.81	1073.51	1054.35
1071.55	1077.60	1075.86	1078.13	1059.76	1086.22
1072.10	1092.38	1081.52	1063.36	1068.63	1072.22
1044.14	1057.59	1042.86	1083.34	1065.05	1075.28
1059.12	1076.51	1047.05	1056.39	1049.35	1067.75
1046.50	1044.18	1070.19	1085.50	1055.14	1030.55
1091.26	1070.90	1048.17	1070.53	1063.94	1060.36
1088.35	1073.29	1044.84	1082.21	1076.90	1035.68
1085.67	1075.23	1018.31	1081.24	1093.35	1085.45
1076.69	1037.65	1049.89	1085.80	1062.20	1094.07
1062.85	1056.41	1056.66	1051.06	1095.91	1081.61
1031.74	1069.60	1053.95	1057.85	1059.34	1080.30
1053.19	1075.35	1072.59	1067.78	1074.43	1081.17
1045.76	1043.59	1045.29	1082.40	1062.30	1051.51
1040.93	1067.37	1051.79	1070.71	1091.73	1074.62
1063.15	1099.88	1073.61	1051.48	1060.75	1064.41
1067.66	1047.00	1091.38	1077.79	1102.50	1086.69

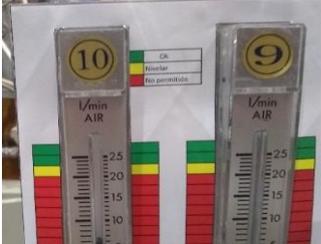
Fuente: La empresa de estudio.

## Anexo 8: Total de muestras de los gramajes después de la implementación

Muestra de gramajes después de la implementación					
1073.25	1046.85	1049.26	1069.31	1060.41	1066.22
1047.95	1029.86	1055.97	1053.53	1032.72	1059.52
1036.96	1036.08	1046.76	1049.34	1065.14	1050.61
1049.47	1042.37	1063.79	1046.34	1049.48	1046.90
1069.30	1042.58	1038.43	1033.38	1051.44	1059.73
1050.82	1052.94	1047.80	1048.31	1051.00	1045.43
1044.11	1064.35	1049.61	1068.54	1040.26	1058.81
1050.45	1045.42	1044.72	1029.51	1074.83	1056.45
1055.93	1038.58	1047.12	1059.04	1058.28	1041.44
1032.63	1044.96	1040.54	1056.04	1072.22	1045.31
1060.65	1050.84	1063.43	1043.34	1030.21	1035.08
1044.31	1048.59	1029.04	1056.39	1057.32	1061.25
1044.52	1035.87	1061.02	1044.67	1065.53	1037.48
1065.57	1076.72	1039.57	1063.85	1047.08	1054.49
1062.68	1066.16	1061.73	1058.93	1060.27	1043.87
1053.01	1037.90	1044.77	1054.10	1044.38	1052.76
1063.98	1042.31	1064.81	1073.10	1053.29	1063.46
1058.52	1040.65	1055.54	1056.61	1046.31	1047.31
1049.20	1054.57	1056.52	1066.64	1051.55	1054.16
1043.36	1062.68	1076.10	1066.29	1053.66	1066.03
1038.41	1044.11	1054.73	1060.07	1046.25	1058.04
1047.77	1035.53	1043.78	1038.72	1058.61	1051.82
1046.22	1037.67	1069.62	1055.99	1039.17	1046.42
1052.87	1059.06	1051.90	1047.03	1056.73	1056.57
1059.54	1060.35	1048.50	1040.25	1047.71	1038.92
1053.16	1060.86	1051.68	1067.86	1042.05	1056.43
1029.54	1039.20	1058.33	1055.16	1040.65	1052.78
1034.14	1055.32	1054.06	1072.42	1063.64	1043.44
1067.06	1051.90	1060.02	1063.02	1038.98	1044.53
1058.71	1050.05	1035.68	1048.67	1040.33	1032.77
1056.33	1037.77	1048.06	1057.63	1062.63	1057.40
1034.80	1058.74	1069.03	1034.97	1064.12	1047.97
1060.02	1060.81	1044.94	1052.56	1050.47	1058.05
1062.17	1057.05	1028.15	1053.71	1059.60	1048.98
1056.56	1048.17	1065.25	1049.61	1038.74	1045.13
1034.97	1037.72	1051.19	1055.87	1048.87	1047.29
1058.21	1041.78	1056.90	1051.16	1057.94	1054.98
1042.87	1052.41	1047.19	1064.12	1059.18	1060.97
1037.10	1048.53	1062.58	1056.87	1029.26	1035.82
1068.72	1061.38	1056.94	1058.24	1040.31	1051.38
1070.17	1041.02	1055.66	1042.94	1067.20	1050.41
1059.31	1026.43	1047.01	1045.38	1026.05	1049.51
1058.90	1057.41	1047.24	1032.39	1041.22	1035.51
1045.66	1029.01	1057.43	1053.32	1038.21	1049.43
1054.12	1077.80	1052.54	1032.59	1033.43	1041.61
1037.02	1055.05	1045.35	1028.27	1065.02	1042.01
1058.52	1062.03	1050.54	1052.69	1047.01	1061.52
1032.64	1052.49	1065.74	1054.25	1055.48	1054.38
1066.44	1044.95	1060.98	1041.81	1049.91	1050.82
1044.29	1040.58	1063.18	1055.69	1063.05	1044.11
1063.20	1053.14	1070.07	1028.62	1067.16	1050.45
1063.73	1071.85	1027.10	1050.98	1056.14	1055.93
1058.99	1050.36	1037.86	1033.25	1043.23	1032.63
1039.10	1037.67	1028.25	1056.56	1035.35	1060.65
1053.90	1052.15	1074.27	1047.89	1044.37	1044.31
1056.60	1009.86	1038.84	1053.08	1075.07	1044.52
1045.87	1034.95	1052.26	1051.42	1042.85	1062.68
1052.16	1070.68	1042.86	1063.09	1053.00	1053.01
1062.25	1040.49	1048.21	1058.72	1038.04	1063.98
1046.46	1039.71	1061.89	1039.71	1059.47	1058.52

Fuente: La empresa de estudio.

## Anexo 9: Algunas imágenes utilizadas en los instructivos del trabajo estándar

	
<p>Verificación de la temperatura del cabezal superior e inferior en 7 zonas</p>	<p>Verificación de la marca de la MP a utilizar en la línea de producción</p>
	
<p>Verificación del caudal de aire mediante la señalización</p>	<p>Identificación y paro de línea por fallas en producción (flujo, burbujas)</p>
	
<p>Colocación y verificación del estado del Film al final de la línea</p>	<p>Acción correctiva: Purga del extrusor</p>

Fuente: La empresa de estudio.