

**APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA REDUCIR EL DESPERDICIO DE LA
LÍNEA DE INYECCIÓN DE PREFORMAS EN LA EMPRESA IBERPLAST S.A.**

DANIELA GISELLE MORENO MALAGÓN

Proyecto integral de grado para optar al título de Ingeniería Industrial

Orientador

Sergio Javier Martínez Ramírez

Ingeniero Industrial

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

BOGOTÁ D.C.

2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Sergio Javier Martínez Ramírez
Firma del Director

Firma del Presidente del Jurado

Firma Jurado 1

Firma Jurado 2

DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano de la Facultad de Ingeniería

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director de Programa Ingeniería Industrial

Dr. Julio Anibal Moreno

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis agradecimientos a la Universidad de América, por el apoyo en la formación profesional que adquirí durante estos años.

A mi familia por su apoyo incondicional y por darme la motivación necesaria para adelantar este trabajo.

A los Ingenieros Marcos Daniel Ortega y Carlos Arturo Porras por su oportuna colaboración y valiosos consejos en el desarrollo del proyecto.

A la Empresa Iberplast por permitirme acceder a sus instalaciones y a la información requerida para la realización del presente proyecto.

A mi Director de proyecto de grado, el Ingeniero Sergio Javier Martínez, por su ayuda y orientación en la ejecución del trabajo.

A todas aquellas personas que de una u otra forma contribuyeron en el desarrollo del presente trabajo.

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
1.1 Antecedentes	20
1.2 Pregunta de investigación	23
1.3 Justificación.....	24
1.4 Hipótesis	26
1.5 Objetivo general	27
1.6 Objetivos específicos	27
2. METODOLOGÍA	28
2.1 Diagnóstico	28
2.2 Metodologías de mejora continua	29
2.3 Caracterización de la metodología.....	29
2.4 Aplicación de la metodología	30
2.5 Estudio financiero.....	31
3. MARCO REFERENCIAL	32
3.1 Marco empresarial	32
3.2 Marco teórico	34
3.2.1 <i>Diagnóstico</i>	34
3.2.2 <i>Metodologías de mejora continua</i>	41
3.2.3 <i>Caracterización de la metodología</i>	46
3.2.4 <i>Aplicación de la metodología</i>	48
3.2.5 <i>Estudio financiero</i>	53
3.3 Marco histórico.....	54
3.4 Marco normativo	57
4. DIAGNÓSTICO.....	59
4.1 PESTAL	59
4.1.1 <i>Factor político</i>	59
4.1.2 <i>Factor económico</i>	60
4.1.3 <i>Factor social</i>	62

4.1.4	<i>Factor tecnológico</i>	63
4.1.5	<i>Factor ambiental</i>	63
4.1.6	<i>Factor legal</i>	65
4.2	Análisis del sector manufacturero	66
4.3	Análisis del subsector plástico	69
4.3.1	<i>Exportaciones</i>	69
4.3.2	<i>Importaciones</i>	70
4.3.3	<i>Desperdicio</i>	71
4.4	Diagnóstico de la empresa	72
4.5	Matriz DOFA	73
4.5.1	<i>Debilidades</i>	74
4.5.2	<i>Oportunidades</i>	74
4.5.3	<i>Fortalezas</i>	75
4.5.4	<i>Amenazas</i>	75
4.6	Priorización de causas	77
5.	METODOLOGÍAS DE MEJORA CONTINUA	86
5.1	Control Estadístico de Procesos	88
5.2	Kaizen	88
5.3	Ingeniería de Métodos	89
5.4	Ingeniería de Valor	90
5.5	Total Quality Management	90
5.6	Lean Manufacturing	91
5.7	Seis Sigma	92
5.8	Lean Six Sigma	92
6.	CARACTERIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA	99
6.1	Definir	101
6.2	Medir	103
6.3	Analizar	103
6.4	Mejorar	104
6.5	Controlar	104
7.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	106

7.1	Definir.....	106
7.1.1	<i>Project Charter</i>	106
7.1.2	<i>Mapeo del proceso</i>	111
7.1.3	<i>Métricas del proceso</i>	112
7.2	Medir	118
7.2.1	<i>Recolección de datos</i>	118
7.2.2	<i>Línea base</i>	120
7.3	Analizar	125
7.3.1	<i>Causas potenciales</i>	126
7.3.2	<i>Análisis y validación de causas</i>	129
7.3.3	<i>Priorizar y seleccionar causas</i>	134
7.4	Mejorar	136
7.4.1	<i>Definir acciones de mejora</i>	137
7.4.2	<i>Implementar acciones de mejora</i>	140
7.4.3	<i>Validar resultados</i>	146
7.5	Controlar	147
8.	ESTUDIO FINANCIERO.....	148
8.1	Inversión.....	151
8.2	Flujo de efectivo	153
8.2.1	<i>Flujo de efectivo actual</i>	155
8.2.2	<i>Flujo de efectivo propuesto</i>	155
8.3	Tasa interna de oportunidad (TIO)	157
8.4	Valor presente neto (VPN)	159
8.5	Relación beneficio/costo (B/C)	160
9.	CONCLUSIONES	161
	BIBLIOGRAFÍA	162
	ANEXOS	168

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de participación en ventas de los productos fabricados en Iberplast S.A.....	15
Figura 2. Diagrama de Pareto de los defectos en las preformas plásticas.....	17
Figura 3. Árbol del problema de la línea de inyección de preforma de Iberplast	19
Figura 4. Inversión en protección y conservación del ambiente por grupos de divisiones industriales.....	67
Figura 5. Distribución de los residuos convencionales dispuestos por los establecimientos industriales según tipo de residuo	68
Figura 6. Matriz DOFA del desperdicio de la inyección de preforma	76
Figura 7. Diagrama causal para la generación del desperdicio	78
Figura 8. Esquema del proceso de ejecución.....	87
Figura 9. Pirámide de las 4P del modelo Toyota	96
Figura 10 . Ciclo DMAIC para Lean Six Sigma.....	101
Figura 11. Ejemplo de un Project Charter	102
Figura 12. Project Charter del proyecto.....	107
Figura 13. Diagrama de flujo de la Inyección de Preformas	111
Figura 14. Comportamiento del desperdicio agosto 2019 – agosto 2020.....	112
Figura 15. Diagrama de Pareto del desperdicio por máquina	114
Figura 16. Project Charter de la fase 1 del proyecto	116
Figura 17. Project Charter de la fase 2 del proyecto	117
Figura 18. Prueba de normalidad	121
Figura 19. Gráfica de control I-MR	123
Figura 20. Análisis de capacidades y nivel Sigma.....	124
Figura 21. Prueba de normalidad de los datos recolectados.....	130
Figura 22. Prueba de normalidad de los datos normalizados.....	132
Figura 23. Diagrama de Pareto del desperdicio por causal.....	136
Figura 24. Diagrama del proceso de inyección de las máquinas Husky 1, 2 y 4	140
Figura 25. Ejemplo de tablero kanban.....	147

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Porcentaje de desperdicio en las líneas de producción	14
Tabla 2. Porcentaje de participación en ventas de los productos fabricados en Iberplast S.A.....	15
Tabla 3. Cantidad de preformas por defecto en el último año	16
Tabla 4. Características de las metodologías de mejora continua más utilizadas	25
Tabla 5. Defectos en preformas PET	37
Tabla 6. Notación diagrama causal.....	38
Tabla 7. Tipos de causas.....	40
Tabla 8. Normatividad para los envases y residuos sólidos plásticos.....	58
Tabla 9. Importaciones a Colombia de productos plásticos período Ene-Jul 2019 y 2020	61
Tabla 10. Exportaciones a Colombia de productos plásticos período Ene-Jul 2019 y 2020.....	62
Tabla 11. Normatividad para los envases y residuos sólidos plásticos.....	66
Tabla 12. Exportaciones del grupo de productos Manufacturas	70
Tabla 13. Importaciones del grupo de productos Manufacturas	71
Tabla 14. Producción de preformas en la empresa Iberplast S.A. con el material recuperado utilizado	73
Tabla 15. Roturas de la hipótesis dinámica	77
Tabla 16. Escala de Likert	79
Tabla 17. Criterios de evaluación.....	80
Tabla 18. Matriz Rij (matriz absoluta)	81
Tabla 19. Matriz del modelo objetivo	81
Tabla 20. Triángulo de Fuller	82
Tabla 21. Matriz del modelo subjetivo.....	82
Tabla 22. Matriz del modelo definitivo.....	83
Tabla 23. Matriz relativa.....	83
Tabla 24. Clasificación de los intervalos	84
Tabla 25. Priorización de causas.....	85
Tabla 26. Descripción de las metodologías de mejora continua	94
Tabla 27. Identificación de las metodologías	97
Tabla 28. Matriz de ponderación para seleccionar una metodología.....	98
Tabla 29. Porcentaje de desperdicio de agosto 2019 – agosto 2020	108
Tabla 30. Kilogramos de desperdicio de agosto 2019 – agosto 2020	109
Tabla 31. Desperdicio por máquinas	113
Tabla 32. Desperdicio en las fases propuestas por la empresa	115
Tabla 33. Formato para la recolección de datos	119
Tabla 34. Causales de desperdicio.....	119
Tabla 35. Desperdicio en las máquinas Husky 1, 2 y 4	120

Tabla 36. Diagrama de los 5 por qué.....	126
Tabla 37. Análisis de estadística descriptiva de los datos recolectados	129
Tabla 38. Análisis de estadística descriptiva de los datos normalizados.....	131
Tabla 39. Diseño de experimentos	133
Tabla 40. Análisis de varianza	134
Tabla 41. Desperdicio por causal en la medición	135
Tabla 42. OEE Husky 1, 2 y 4 de agosto 2019 - agosto 2020	137
Tabla 43. Porcentaje de cumplimiento del plan de mantenimiento	138
Tabla 44. Ciclos de las máquinas Husky 1, 2 y 4	141
Tabla 45. Frecuencia y tiempo de reparación de las fallas mecánicas	142
Tabla 46. Duración en horas de los mantenimientos preventivos.....	142
Tabla 47. Rendimiento de las máquinas Husky 1, 2 y 4 en la situación actual.....	143
Tabla 48. Producción en unidades de la situación actual	143
Tabla 49. Duración en horas de los mantenimientos preventivos propuestos	144
Tabla 50. Rendimiento de las máquinas Husky 1, 2 y 4 en la situación propuesta	145
Tabla 51. Producción en unidades de la situación propuesta.....	145
Tabla 52. Validación de resultados en las métricas del Project Charter de la fase 1..	146
Tabla 53. Costo de las actividades propuestas	149
Tabla 54. Costos y tiempos del mantenimiento preventivo actual y propuesto.....	149
Tabla 55. Costo de los mantenimientos preventivos realizados en el último año	150
Tabla 56. Costo de la materia prima en la inversión	151
Tabla 57. Costo del mantenimiento en la inversión	152
Tabla 58. Inversión del proyecto	152
Tabla 59. Ingresos, costos y gastos año 2020.....	153
Tabla 60. Proyección de la inflación período 2020-2025	154
Tabla 61. Flujo de efectivo actual	155
Tabla 62. Flujo de efectivo propuesto	156
Tabla 63. Tasa de la inflación y el DTF 2020-2025.....	157
Tabla 64. Flujo de efectivo final	159

RESUMEN

La empresa Iberplast S.A está generando un porcentaje de desperdicio mayor al de la meta impuesta por la Alta Dirección en la línea de Inyección de Preformas, lo que genera sobrecostos para mitigar ese desperdicio. Por lo anterior, el presente proyecto propone reducir el desperdicio de esta línea de producción mediante la aplicación de la metodología Lean Six Sigma utilizando el ciclo DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar).

PALABRAS CLAVE: metodologías de mejora continua, Lean Six Sigma, desperdicio, inyección de plástico, preforma.

INTRODUCCIÓN

Según el concepto de la metodología Lean Manufacturing, el desperdicio es todo aquello no agrega valor y por lo que el cliente no está dispuesto a pagar. Cuando una empresa genera desperdicios en sus líneas de producción está haciendo mal uso de sus recursos como tiempo, materia prima y dinero.

Las metodologías de mejora continua son utilizadas para controlar los procesos y así, producir la menor cantidad de defectos. El Seis Sigma, una de las metodologías de mejora continua, afirma que un proceso correctamente controlado genera máximo 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO), es decir, tiene una eficiencia del 99,9997%.

El presente trabajo tiene la finalidad de responder a la pregunta de investigación planteada: ¿de qué manera, al aplicar una metodología de mejora continua, se reducirá el desperdicio de la línea de inyección de preformas en la empresa Iberplast S.A.?

Para ello se realizará un diagnóstico externo e interno de la empresa para identificar las posibles causas críticas del problema mediante técnicas multicriterio para la priorización de las causas. Seguidamente, se determinará cuál metodología de mejora continua es la más indicada para lograr el objetivo de reducir el desperdicio, y con ello se caracterizará el proceso para aplicar correctamente la metodología. Después, se realizará una simulación de la aplicación de la metodología. Y finalmente, se realizará un estudio financiero para analizar si el proyecto es viable para la empresa.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Iberplast S.A., “es una compañía dedicada a la fabricación y comercialización nacional e internacional de tapas y preformas, elaborados con resinas plásticas, acero cromado y aluminio, para bebidas carbonatadas, agua mineral, licores y productos farmacéuticos, entre otros” [1]. Además, forma parte de la Organización Ardila Lülle (OAL), uno de los principales conglomerados empresariales de Colombia y de América Latina.

En el año 2019, la empresa ha presentado un alto nivel de desperdicio en sus procesos productivos, con un 1,7% en promedio anual en su planta de producción (Tabla 1).

Tabla 1.

Porcentaje de desperdicio en las líneas de producción

Desperdicio	1 Semestre	2 Semestre	Promedio
Inyección Preforma Madrid	3,35%	2,44%	2,89%
Inyección Preforma Malambo	1,88%	2,09%	1,99%
Total Inyección	3,24%	2,24%	2,74%
Fabricación de tapas	2,12%	1,06%	1,59%
Soplado	0,70%	0,78%	0,74%
Extrusoplado	1,81%	0,22%	1,02%
Inyección de cajas	2,77%	2,25%	2,51%
Litografía	0,19%	0,20%	0,19%
Fabricación Tapa Corona	2,81%	2,69%	2,75%
Fabricación Tapa Aluminio	0,67%	0,70%	0,69%
Impresión	1,69%	1,02%	1,36%
Promedio	1,93%	1,43%	1,7%

Nota. La tabla presenta el porcentaje de desperdicio de las líneas de producción de la empresa Iberplast S.A. en el año 2019. Elaboración propia a partir de datos suministrados por la empresa

La línea de inyección de preformas es la que mayor desperdicio produce, con un 2,89% en el año 2019 (Tabla 1), pero también es la que mayores ingresos genera para la compañía, con una participación del 51% en ventas (Tabla 2 y Figura 1).

Tabla 2.

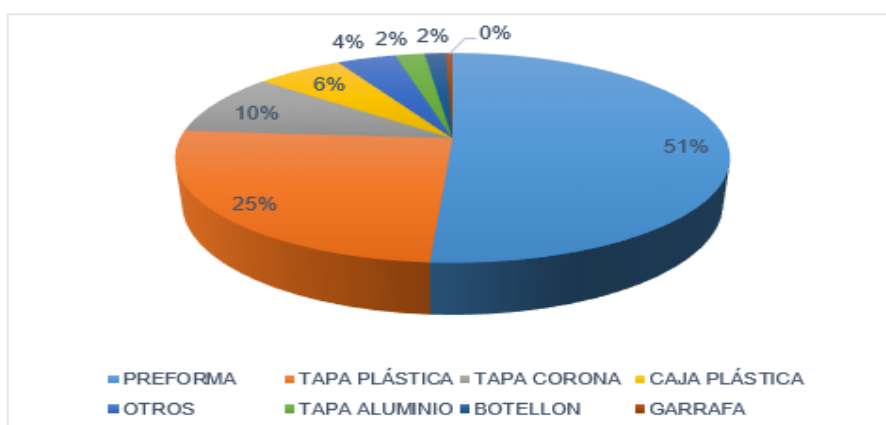
Porcentaje de participación en ventas de los productos fabricados en Iberplast S.A.

Producto	Participación en ventas
Preforma	51,08%
Tapa plástica	25,16%
Tapa corona	9,59%
Caja plástica	6,04%
Tapa aluminio	2,05%
Botellón	1,49%
Garrafa	0,47%
Otros	4,12%

Nota. Esta tabla presenta el porcentaje de participación de las ventas de los productos de Iberplast. Elaboración propia a partir de datos suministrados por la empresa.

Figura 1.

Porcentaje de participación en ventas de los productos fabricados en Iberplast S.A.



Nota. La figura muestra el porcentaje de participación de las ventas por los productos fabricados. Elaboración propia a partir de datos suministrados por la empresa.

El desperdicio de las preformas plásticas se clasifican en: torta (acumulación amorfa de material) o por defectos en el producto terminado, que afectan su ciclo de vida y sus propiedades organolépticas. Los defectos que se han presentado en esta línea de producción en el último año se evidencian en la Tabla 3 y en la Figura 2.

Tabla 3.

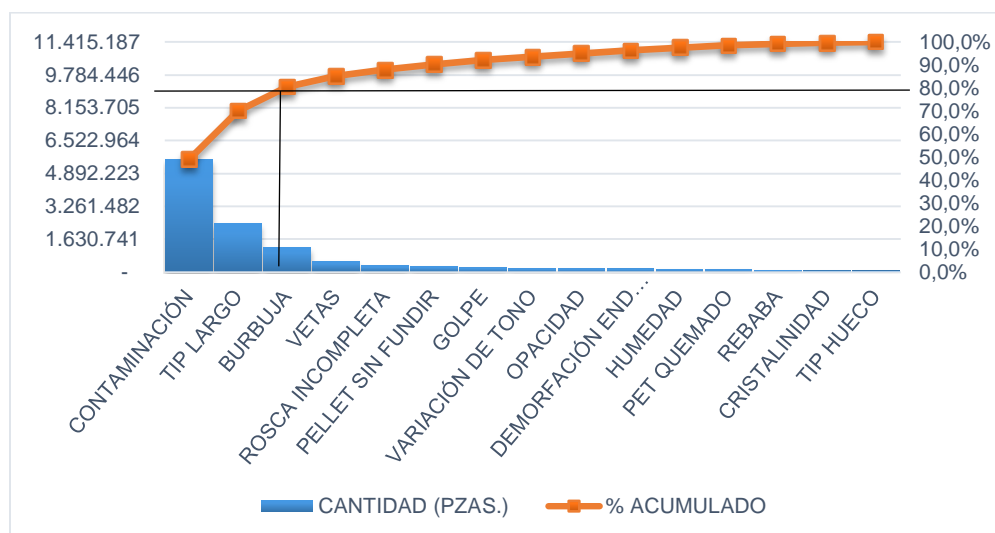
Cantidad de preformas por defecto en el último año

Defecto	Cantidad (Piezas)	% Acumulado
Contaminación	5.583.159	48,9%
Tip largo	2.404.326	70,0%
Burbuja	1.212.156	80,6%
Vetas	522.403	85,2%
Rosca incompleta	307.264	87,9%
Pellet sin fundir	275.686	90,3%
Golpe	206.611	92,1%
Variación de tono	167.136	93,5%
Opacidad	160.000	95,0%
Deformación end cap	151.620	96,3%
Humedad	133.594	97,4%
Pet quemado	121.069	98,5%
Rebaba	77.500	99,2%
Cristalinidad	49.000	99,6%
Tip hueco	43.663	100,0%

Nota. La tabla presenta la cantidad de preformas no conformes por defecto. Elaboración propia a partir de datos suministrados por la empresa Iberplast.

Figura 2.

Diagrama de Pareto de los defectos en las preformas plásticas



Nota. La figura separa el 80% de los defectos que se presentaron más frecuentemente del 20% que menos se presentó entre mayo 2019 a febrero 2020. Elaboración propia a partir de datos suministrados por la empresa Iberplast.

Como se observa en el diagrama de Pareto (Figura 2.), los defectos vitales que se han presentado en el proceso de inyección de preformas son la contaminación, el tip largo (punto largo de inyección en la parte inferior de la preforma) y la burbuja (entrada de aire durante la plastificación), por lo que son los que primero se deben eliminar.

Algunas de las causas para que se presente ese tipo de desperdicio en esta línea de producción son:

- La depreciación en los equipos, que se debe a un mantenimiento poco frecuente en las máquinas o a las piezas desgastadas de las mismas.
- El desconocimiento de los pasos previos al uso de los activos operacionales de la compañía, por parte del personal que no posee la capacitación adecuada.

- Los bajos estándares de la calidad de la materia prima, que se da por una inspección del material deficiente o por el material recuperado no conforme.
- Los cortes imprevistos de energía eléctrica en la planta de producción.

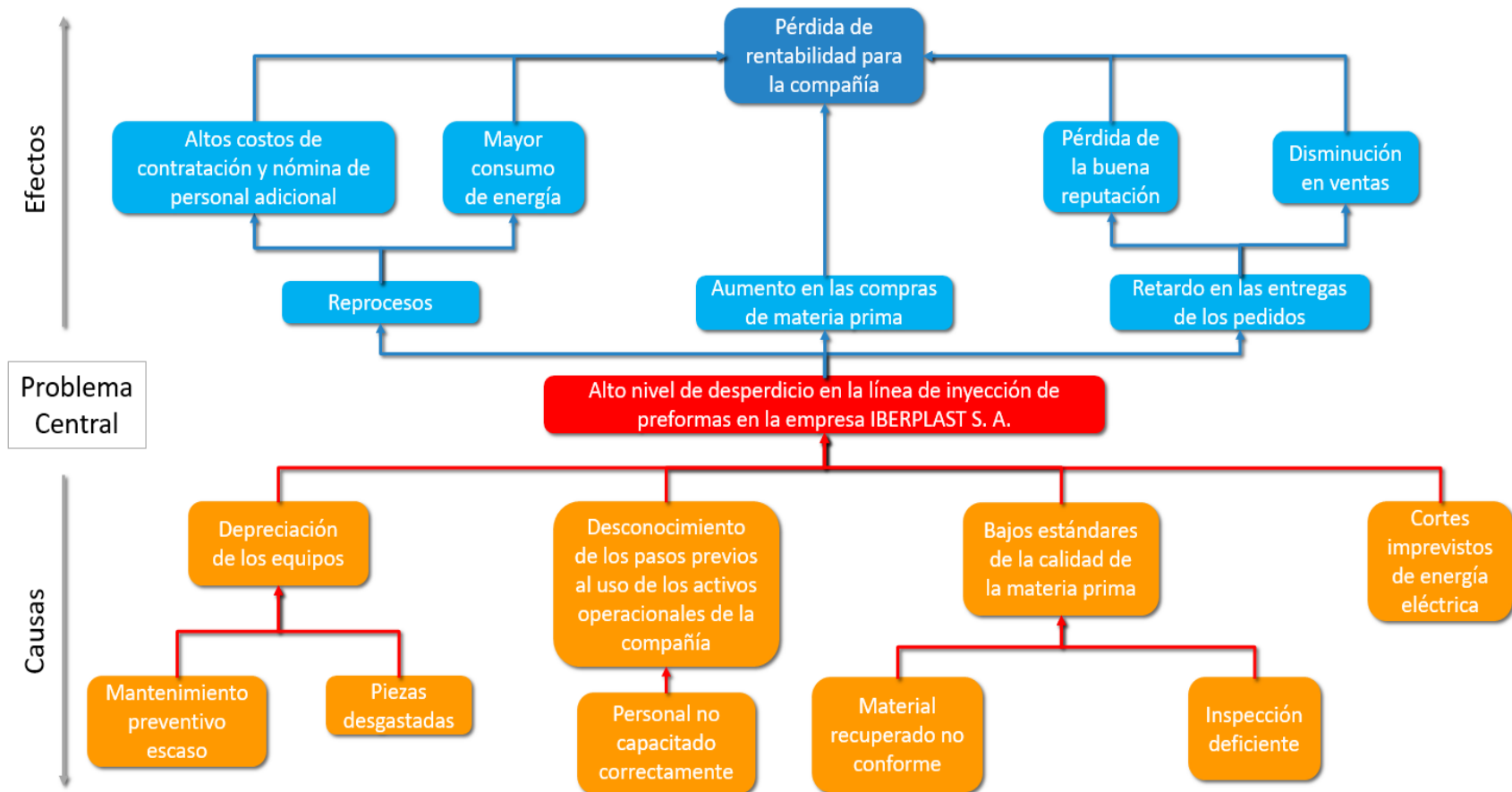
Dichas causales están impactando el flujo de efectivo de la compañía, debido a que para mitigar el desperdicio que generan, se aumentan las compras de materia prima para reponer el material del producto rechazado; se presentan retrasos en las entregas de los pedidos por no producir el producto terminado conforme en el tiempo planeado; y se realizan reprocesos para recuperar el material plástico que tiene las características adecuadas para volver al proceso como materia prima.

Iberplast está perdiendo la buena reputación en el mercado y están disminuyendo sus ventas, por los retrasos en las entregas de los pedidos. Además, está incurriendo en altos costos de energía, contratación y nómina de personal adicional para la ejecución de los reprocesos.

Al momento en que una empresa tiene conocimiento de los costos en los que está incurriendo para mitigar los efectos del desperdicio que produce, trata de eliminarlo y ajustar la producción para ser lo más eficiente posible. Para ello, hace uso de alguna metodología o herramienta que permita realizar lo descrito anteriormente, mediante la mejora continua.

Figura 3.

Árbol del problema de la línea de inyección de preforma de Iberplast



Nota. La figura expone el árbol del problema del proyecto. Elaboración propia.

1.1 Antecedentes

El concepto de mejora continua nace a mediados del siglo XX, el cual pretende introducir mejoras en los productos, servicios y procesos. Es la forma más efectiva de mejorar la calidad y la eficiencia de una empresa, por medio de la estabilización del proceso y la posibilidad de mejora.

El uso de estadística en la manufactura comenzó en el año 1920 en Bell Laboratories por el Dr. Walter A. Shewhart, el Dr. Harold Dodge, y el Dr. Harry Romig, con el fin de controlar y llevar la trazabilidad del proceso.

A partir de esto, se desarrollaron herramientas o metodologías enfocadas en la mejora continua, apoyadas en el uso de la estadística del proceso, para implementar planes de mejoramiento.

A continuación, se describen las metodologías de mejoramiento continuo, centradas en la calidad, más utilizadas en los procesos de manufactura a nivel mundial:

- **Gestión de la Calidad Total.** La Gestión de la Calidad Total o TQM, por sus siglas en inglés Total Quality Management, es una estrategia de gestión orientada a la valorización de la calidad en cada una de las fases del proceso de producción, creando conciencia desde el cargo más bajo hasta el cargo más elevado, para crear una ventaja competitiva a la compañía enfocando sus esfuerzos en la satisfacción del cliente.
- **Ciclo PHVA.** El ciclo PHVA (planear, hacer, verificar, actuar) o círculo de Deming es una metodología que describe los pasos a llevar a cabo para lograr la mejora continua de forma sistemática. Se entiende como mejoramiento la disminución de fallas, el aumento de la eficiencia, la solución de problemas, eliminación de riesgos potenciales, entre otros.
- **Lean Manufacturing.** Nace del Sistema de Producción Toyota (TPS), cuyo objetivo es eliminar todos los elementos que no agregan valor al proceso (sobreproducción, reproceso, transporte, defectos, inventario, espera, movimiento),

cumpliendo con los requerimientos del cliente a los costos más bajos posibles. Es una metodología que pretende aumentar la eficiencia del trabajo, creando una conciencia de mejora continua en cada una de las personas implicadas en el proceso.

El Lean Manufacturing utiliza herramientas para la eliminación del desperdicio o para agilizar la producción, algunas de ellas son las 5S's, el Mantenimiento Productivo Total (TPM), SMED (Single-Minute Exchange of Die), Heijunka, Poka Yoke, Kanban, Kaizen, entre otras.

- **Seis Sigma.** Es una metodología de mejora de proceso que se centra en reducir la variación del proceso, buscando eliminar los defectos de un producto o servicio. El objetivo del Seis Sigma es reducir al mínimo los errores que se producen en un proceso, hasta llegar a producir 3,4 DPMO (defectos por millón de oportunidades).

En esta metodología se utiliza el ciclo DMAIC, el cual consiste en definir el problema y los objetivos del proyecto, medir en detalle los diversos aspectos del proceso actual, analizar los datos, mejorar el proceso y controlarlo.

- **Lean Six Sigma.** Esta metodología es la combinación del Lean Manufacturing y el Seis Sigma. “Es considerada como una herramienta de mejora continua que va más allá de un simple estándar de calidad, aborda los procesos y elimina lo que no agrega valor, elimina la variación y centra el proceso a las especificaciones del cliente” [2].
- **Teoría de las restricciones.** “La teoría de las restricciones o TOC (Theory of Constraints) es una metodología de mejora que proporciona un camino a seguir para mejorar continuamente la capacidad de producción. Para ello se basa en atacar las restricciones o cuellos de botella que limitan la capacidad de los procesos productivos” [3].

En los últimos años, “las empresas colombianas han estado enfocando sus estrategias en la calidad del producto o servicio que ofrecen. Un indicador que demuestra que Colombia va por el camino de la calidad es que el 80% de las compañías que han

representado al país en los Premios Iberoamericanos a la calidad desde el año 2000, se han llevado este galardón” [4]. Algunas de estas organizaciones son Indumil, Intercor - Cerrejon, Comolsa del Grupo Carvajal, la fábrica de café liofilizado en Chinchiná de la Federación Nacional de Cafeteros, Sofasa, Petrobrás Colombia, Fiduciaria Bancolombia y la Cámara de Comercio de Bogotá.

En Colombia se registran iniciativas de implementación Lean a finales del siglo XX y comienzos del siglo XXI, en empresas multinacionales como General Motors. Sofasa, empresa antioqueña ensambladora de automóviles, fue una de las líderes en la implementación del Lean Manufacturing en el país, gracias a la integración como accionista con Toyota Motor.

Además, también existen casos de implementación de Lean Six Sigma (LSS) en Colombia. Uno en el sector alimenticio, en la elaboración de mezclas de nutrición parenteral (2014), y otro en la elaboración de muebles de madera (2014). Del mismo modo, se encuentra esta herramienta (LSS), aplicada en proyectos logísticos, transporte en el sector minero y en el sector textil. Empresas como Siemens S.A. e Incolmotos Yamaha S.A. son un claro ejemplo de la aplicación del LSS.

De acuerdo a una investigación de los factores claves de éxito en la implementación de estas herramientas en las empresas colombianas, se determinó que existen cuatro factores para una correcta aplicación, los cuales son: el compromiso de la alta dirección, el seguimiento continuo con indicadores de gestión adecuados, el liderazgo y el entrenamiento.

En la empresa de estudio de este proyecto, Iberplast S.A., no se han implementado formalmente metodologías de mejora continua, por la ausencia de los factores nombrados anteriormente. Sin embargo, si se han tomado medidas para obtener una mejor calidad en sus procesos.

El 14 de diciembre de 2018, Iberplast S.A. certificó su Sistema de Gestión de la Calidad con la norma ISO 9001:2015. Adicional a esto, obtuvo la certificación de Basura Cero desde el 14 de junio de 2019, donde consiguió un puntaje de 100/100 y una calificación oro; esto quiere decir que la compañía reconoció la materia prima como objeto de aprovechamiento a través de su reintegro a los ciclos económicos, productivos y ecológicos (economía circular).

Otra de las medidas que ha tomado la empresa a través de los años, es disponer de un supernumerario encargado de apoyar al Área de Calidad con la inspección del producto a medida que se produce para identificar de manera oportuna los defectos de la preforma.

Además, se adquirió una nueva máquina para cambiarla por otra, que ya no daba el mejor rendimiento. A partir de ese momento, se designó a un Ingeniero dedicado al área de inyección de preformas para controlar el proceso y realizar un adecuado seguimiento.

Actualmente, se está llevando a cabo la implementación del método SMED (Single-Minute Exchange of Dies), “herramienta de mejora continua que de forma metodológica busca reducir el tiempo de cambio de referencia en máquinas de entornos productivos” [5].

A partir de todos estos esfuerzos que ha realizado la empresa, se han visto mejoras en cuanto a la calidad del producto. No obstante, su desperdicio varía mucho y no llega a la meta de la organización, la cual es de 0,5% mensual.

1.2 Pregunta de investigación

Por lo anterior, este proyecto tiene como finalidad dar solución a la siguiente pregunta: ¿de qué manera, al aplicar una metodología de mejora continua, se reducirá el desperdicio de la línea de inyección de preformas en la empresa Iberplast S.A.?

1.3 Justificación

El presente trabajo tiene como finalidad la aplicación de una metodología de mejora continua, con énfasis en la calidad, en la línea de inyección de preformas de la empresa Iberplast S.A. para reducir el desperdicio, y con ello mejorar la eficiencia del proceso.

Uno de los costos más significativos en los que incurre Iberplast S.A. en sus procesos es en el reproceso y la recuperación del desperdicio. Estos costos son fábricas ocultas para la empresa, pues son costos que se generan pero que normalmente no se registran.

Algunos ejemplos de costos que se presentan en la empresa, se pueden dividir en dos:

- **Evidentes.** Inspección de materiales comprados, ensayos realizados para aceptar un producto, auditorías internas de calidad, certificación del sistema de gestión de calidad, calificación de personal, revisión de documentación, desechos, averías, costos por productos fuera de especificaciones, por debajo del estándar, devoluciones de clientes.
- **Escondidos.** Capacidad instalada subutilizada, tiempo de personal arreglando fallas cometidas durante la operación, materiales o insumos adicionales para efectuar las reparaciones, insatisfacción de clientes, costos extra de entregas, pérdida de credibilidad, clientela perdida, deslealtad de clientela, tiempo de ciclo excesivo, baja productividad, personal desmotivado, entregas tardías, márgenes pobres o decrecientes, inventario excesivo.

El costo de no calidad se ve compensado por el retorno sobre la calidad, esto es, por los beneficios recibidos al reducir el desperdicio, los reprocesos, tiempos perdidos y al aumentar la productividad.

En la Tabla 4, se evidencia la relación de las características de cada una de las metodologías descritas anteriormente.

Tabla 4.

Características de las metodologías de mejora continua más utilizadas

Características	Gestión de la Calidad Total	Ciclo PHVA	Lean Manufacturing	Seis Sigma	Lean Six Sigma	Teoría de las restricciones
Identifica problemas	X		X	X	X	X
Mide situación actual		X	X	X	X	X
Analiza situación actual		X		X	X	
Implementa mejoras	X	X	X	X	X	
Controla		X		X	X	X
Involucra talento humano	X		X		X	
Reduce costos			X		X	X
Centrado en el cliente	X			X	X	

Nota. La figura presenta una relación de las características de cada metodología. Elaboración propia.

Se observa que existen varias metodologías de mejora continua que se pueden aplicar en este proyecto, pero deben ser evaluadas para analizar si se adaptan a las propiedades de la empresa.

1.4 Hipótesis

Al aplicar una metodología de mejora continua en la línea de inyección de preforma, de la empresa Iberplast S.A., se reducirá el desperdicio del proceso que se verá reflejado en la optimización de recursos y minimización de costos.

1.5 Objetivo general

Aplicar una metodología para reducir el desperdicio de la línea de inyección de preformas en la empresa Iberplast S.A.

1.6 Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico interno y externo de la empresa Iberplast S.A.
- Identificar la metodología de mejora continua más adecuada para la empresa Iberplast S.A.
- Caracterizar la metodología seleccionada, para una correcta comprensión de las variables implicadas.
- Aplicar la metodología en la línea de inyección de preformas de Iberplast S.A.
- Establecer la viabilidad de la metodología mediante un análisis financiero con la relación beneficio/costo.

2. METODOLOGÍA

El diseño metodológico está conformado por el tipo de investigación que se va a realizar, las fuentes y técnicas de recolección de información que se van a utilizar, las herramientas de análisis, y el procedimiento para hacer la síntesis final, de cada uno de los objetivos para el desarrollo del proyecto.

2.1 Diagnóstico

En la fase del diagnóstico interno y externo de la empresa Iberplast S.A., se realizará una investigación descriptiva, la cual tiene como finalidad caracterizar la realidad a estudiar por medio de la identificación de sus propiedades y la descripción de su composición. Con este tipo de investigación se describirá el ambiente interno y externo de la empresa, es decir, el estado actual de la empresa, cómo se encuentra en el sector manufacturero y en el subsector del plástico, y hacia dónde tienden.

Las fuentes de información que se utilizarán serán escritos como libros, PDF, artículos científicos, entre otros, que se consultarán en bases de datos (Ebsco Hot, Emerald Insight, Ambientalex.Info, Leyex.Info, OnePetro, ScienceDirect, Digitalia, entre otros), y herramientas de búsqueda (Lumieres: Repositorio Digital de la Universidad de América y Google Académico). Además, se consultarán personas con conocimiento en el campo de acción en el que se realizará el proyecto como ingenieros, técnicos y operarios que desarrollan sus labores en la empresa de estudio.

Para esta fase se realizará un PESTAL a nivel Colombia, y se mencionarán los aspectos relevantes en Cundinamarca, enfocado principalmente hacia el municipio de Madrid, con el fin de analizar el ambiente externo a la empresa. Se analizará el sector manufacturero y el subsector del plástico. Se diagnosticará la empresa, con un enfoque en el área de producción, debido a que el proyecto se centra en una línea de producción. Y para finalizar, se realizará una matriz DOFA, para estudiar en conjunto el ambiente interno y externo de la empresa.

2.2 Metodologías de mejora continua

Para la identificación de la metodología de mejora continua más adecuada para la empresa Iberplast S.A., se realizará una investigación evaluativa, ya que comprueba la adecuación de un programa, un proceso, una herramienta o una actuación con respecto a las metas esperadas. Con este tipo de investigación se evaluará la metodología más adecuada para cumplir con el objetivo de reducir el desperdicio en la línea de inyección de preforma.

Las fuentes de información que se utilizarán serán escritos como libros, PDF, artículos científicos, entre otros, que se consultarán en bases de datos (Ebsco Hot, Emerald Insight, OnePetro, ScienceDirect, Digitalia, entre otros), y herramientas de búsqueda (Lumieres: Repositorio Digital de la Universidad de América y Google Académico). Además, se consultarán ingenieros con conocimiento en herramientas de mejora continua.

Las metodologías que se van a evaluar son el Kaizen, el Lean Manufacturing, el Total Quality Management, el Control Estadístico de Procesos, el Seis Sigma y el Lean Six Sigma. Se realizará un cuadro comparativo con dichas metodologías para exponer las ventajas y las desventajas de cada una.

2.3 Caracterización de la metodología

Para la caracterización de la metodología seleccionada en la fase anterior, se realizará una investigación cualitativa, debido a que es una técnica descriptiva de recopilación de datos que se utiliza para describir detalles que ayudan a explicar el comportamiento. Con este tipo de investigación se describirá el proceso de inyección de preforma y las variables implicadas en las que se impactará al momento de aplicar la metodología.

Las fuentes de información que se consultarán son archivos suministrados por la empresa sobre el proceso de inyección de preforma, y herramientas de búsqueda

como Lumieres: Repositorio Digital de la Universidad de América y Google Académico. Además, se consultarán ingenieros, técnicos y operarios con conocimiento en el proceso de inyección de preforma.

Para el desarrollo de esta fase se identificarán las variables y los pasos a seguir para la correcta implementación de la metodología.

2.4 Aplicación de la metodología

Al momento de aplicar la metodología en la línea de inyección de preformas, se realizará una investigación correlacional, la cual tiene el objetivo de identificar los nexos que un hecho o fenómeno tiene con otros y cómo influye cada uno en el problema o inconveniente presentado. Con este tipo de investigación se estudiarán las variables que afectan al proceso para la generación del desperdicio, y cómo se pueden afectar para disminuirlo.

Las fuentes de información que se utilizarán serán escritos como libros, PDF, artículos científicos, entre otros, que se consultarán en bases de datos (Ebsco Hot, Emerald Insight, OnePetro, ScienceDirect, Digitalia, entre otros), herramientas de búsqueda (Lumieres: Repositorio Digital de la Universidad de América y Google Académico), e informes elaborados por la empresa. Además, se consultarán ingenieros, técnicos y operarios con conocimiento en la inyección de preforma y en la mejora continua de un proceso.

En esta fase se realizarán simulaciones del proceso de inyección de preforma con el escenario actual de la empresa y con el escenario propuesto, para obtener unos resultados y analizarlos. Lo anterior con el fin de llegar a unas conclusiones y proponer unos ajustes para la correcta aplicación de la metodología.

2.5 Estudio financiero

Para establecer la viabilidad de la metodología mediante un análisis financiero con la relación beneficio/costo, se realizará una investigación exploratoria, ya que se utiliza cuando el objetivo es hacer una primera aproximación a un asunto desconocido o sobre el que no se ha investigado lo suficiente. Esto permitirá decidir si efectivamente se pueden realizar investigaciones posteriores y con mayor profundidad. Con este tipo de investigación, se determinará si al aplicar la metodología, el beneficio para la compañía es mayor al costo en el que incurrirá.

Las fuentes de información que se utilizarán serán estudios financieros, flujos de caja y datos históricos de la empresa de estudio. Además, se estudiarán escritos como libros, PDF, artículos científicos, entre otros, que se consultarán en bases de datos (Ebsco Hot, Emerald Insight, OnePetro, ScienceDirect, Digitalia, entre otros), y herramientas de búsqueda (Lumieres: Repositorio Digital de la Universidad de América y Google Académico). También, se consultarán profesionales en finanzas.

En esta fase se calculará la inversión necesaria para el proyecto, el flujo de efectivo actual y el propuesto, y la relación beneficio/costo, para determinar si el proyecto es viable y generará utilidades a la empresa.

3. MARCO REFERENCIAL

En consecuencia con la metodología planteada anteriormente, a continuación se plantea el marco empresarial, el marco teórico, el marco histórico y el marco normativo para correcta comprensión de los términos y conceptos utilizados en este proyecto.

3.1 Marco empresarial

Iberplast S.A., “es una compañía dedicada a la fabricación y comercialización nacional e internacional de tapas y preformas, elaborados con resinas plásticas, acero cromado y aluminio, para bebidas carbonatadas, agua mineral, licores y productos farmacéuticos, entre otros” [1]. Además, forma parte de la Organización Ardila Lülle (OAL), uno de los principales conglomerados empresariales de Colombia y de América Latina.

a. Ubicación geográfica. Iberplast se encuentra ubicada en el municipio de Madrid, Cundinamarca. Este municipio posee una superficie de 12.000 hectáreas (120 km²), una altitud de 2.554 metros y sus coordenadas son 4.733 de latitud y -74.267 de longitud. Delimita con los municipios de Mosquera, Bojacá, Facatativá y Funza. Además, se encuentra a 25 km de Bogotá D.C.

b. Misión. “En IBERPLAST S.A. mediante la utilización eficiente de nuestro excelente talento humano que está en permanente formación, de los recursos físicos disponibles y de la más avanzada tecnología en sus equipos, trabajamos para producir y comercializar envases y empaques elaborados con resinas plásticas, acero cromado o aluminio, y la prestación de servicios de impresión en lámina metálica que cumplan las normas nacionales e internacionales, o acuerdos privados de calidad, trabajando siempre con responsabilidad y respeto por los clientes, los colaboradores, la comunidad y el medio ambiente, tomando siempre como base los objetivos y las políticas de los accionistas, para afianzar nuestra posición en el mercado nacional y expandirnos a nivel internacional” [6].

c. Visión. “Ser la empresa líder en el mercado nacional y reconocida internacionalmente en la industria de envases y empaques plásticos y metálicos (acero o aluminio), con estándares y normas de categoría mundial en armonía con la calidad y el medio ambiente con decidido trabajo en equipo, proyectándonos a nivel subregional e internacional la imagen de la compañía” [6].

d. Historia. Iberplast se constituye en el año 1989, ubicada en la calle 13 de Bogotá. Inicia con la producción de preformas, cajas y botellas retornables en PET. Cuatro años después (1993) incluye la línea de recuperado a su proceso productivo. A medida que pasaba el tiempo, Iberplast amplió la capacidad de sus líneas de producción: cajas plásticas (1996), soplado botellas PET (1997) e inyección de preformas (1998).

En el año 2005, implementó el sistema SAP en sus operaciones administrativas para su optimización. En el año 2006, la empresa comenzó a producir botellas PRB con impresión en papel y tapas plásticas por el proceso de compresión. En el año 2007, Iberplast absorbe a la empresa Tapas La Libertad y se certifica en el Sistema de Gestión de la Calidad ISO 9001/2000.

Al ver que su capacidad instalada no era suficiente para la demanda que tenía, adquirió un lote para la construcción de una nueva planta en el municipio de Madrid, Cundinamarca en el año 2008. En el año 2012, trasladó toda su operación para la mega planta en Madrid.

El 14 de diciembre de 2018, Iberplast S.A. certificó su Sistema de Gestión de la Calidad con la norma ISO 9001/2015. Adicional a esto, obtuvo la certificación de Basura Cero desde el 14 de junio de 2019, donde consiguió un puntaje de 100/100 y una calificación oro; lo que quiere decir que la compañía reconoció la materia prima como objeto de aprovechamiento a través de su reintegro a los ciclos económicos, productivos y ecológicos (economía circular).

3.2 Marco teórico

A continuación se relacionan los aspectos a considerar en el proyecto de grado.

3.2.1 *Diagnóstico*

El diagnóstico es un estudio que se realiza para conocer la situación actual de la empresa. Para diagnosticar una organización en todos sus aspectos, se deben analizar los entornos externos y la situación interna de esta. El análisis externo permite identificar y evaluar oportunidades y amenazas para la empresa, con respecto al entorno en el que se encuentra, es decir, al sector y subsector, los aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales. El análisis interno se enfoca en estudiar los recursos y las capacidades que tiene la organización, que permiten identificar fortalezas y debilidades, especialmente aquellas que constituyen competencias centrales y ventajas competitivas.

a. **PESTAL.** El PESTAL es una herramienta de análisis estratégico con enfoque en el ambiente externo de la organización. El alcance del PESTAL lo define el investigador, ya que puede ser a nivel internacional, nacional o regional. A nivel nacional se considera el país donde se encuentre la organización de estudio, en este caso el país a considerar es Colombia, en donde se analizará la situación actual del sector manufacturero y subsector del plástico.

- **Factores políticos.** Los factores políticos son aquellos relacionados con la vida política nacional que pueden afectar a la actividad de la empresa en el futuro. Algunos ejemplos son los cambios de gobierno y sus programas electorales, la política fiscal, guerras y conflictos, cambios en los tratados comerciales, acuerdos internacionales, entre otros.

- **Factores económicos.** Los factores económicos consideran cómo el entorno macroeconómico nacional puede afectar a la organización. Algunos ejemplos son las

tasas de empleo, el PIB, impuestos, inflación, aranceles, devaluación y reevaluación de la moneda.

- **Factores sociales.** Los factores sociales evalúan elementos de la sociedad colombiana como la cultura, la religión, las creencias, los hábitos, y las preferencias, que pueden afectar a la empresa. Algunos ejemplos son el nivel de educación, modas, patrones de compra, estilo de vida, nivel de ingresos, edad, entre otros.
- **Factores tecnológicos.** Los factores tecnológicos tienen que ver con la disponibilidad de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) que se encuentran en el mercado del país. Por ejemplo, nuevos códigos de programación, nueva maquinaria o dispositivos tecnológicos, software en la nube, entre otros.
- **Factores ambientales.** Los factores ambientales o ecológicos evalúan de qué forma afecta el medio ambiente del territorio colombiano a la organización. Por ejemplo, el cambio climático, consumo de recursos no renovables, reciclaje, contaminación, riesgos naturales (terremotos, derrumbes, incendios), entre otros.
- **Factores legales.** Los factores legales se encargan de la evaluación del cumplimiento de las leyes establecidas que se relacionan con la actividad de la empresa. Se debe conocer la legislación y los cambios en la normatividad del país en el que está establecida la organización. Algunos ejemplos son la propiedad intelectual, salud y seguridad en el trabajo, salario mínimo, licencia, entre otros.

b. Sector manufacturero. El sector manufacturero hace parte del sector secundario de la economía, ya que es el encargado de transformar la materia prima en un producto totalmente terminado, elaborado por medio de un proceso industrial. Su objetivo es entregar bienes que sean comercializados en los distintos mercados para su consumo final.

c. Subsector plástico. El subsector o la industria del plástico se dedica a la elaboración de productos plásticos a partir de la transformación de materias primas de origen petroquímico. La industria transformadora produce productos semielaborados, que son insumos para otras industrias, y productos plásticos terminados para el

consumo final: envases, materiales de construcción, electricidad y electrónica, medicina, entre otros.

Las materias primas plásticas son elaboradas por la industria petroquímica, mediante el procesamiento industrial de derivados mayormente de petróleo, gas natural, y sal (cloruro de sodio), y agrupan al PEAD, PEBD, PVC, PP, PS, PET, ABS, SAN, resinas poliéster y poliamidas, entre otras

d. PET. El tereftalato de polietileno es un polímero conformado por el etileno y el paraxileno. Puede ser transformado por medio de procesos de inyección, extrusión, termoformado y soplado. Es un material muy resistente al desgaste, a los productos químicos, al impacto y al fuego, además, posee una gran transparencia y dureza.

e. Inyección de plástico. Es un proceso semicontinuo que consiste en fundir un polímero para inyectarlo dentro de un molde que debe estar frío y cerrado a presión. Cuando se ha inyectado el material, este se solidifica y se obtiene la pieza moldeada.

f. Desperdicio. El desperdicio es todo aquello que no agrega valor y por lo que el cliente no está dispuesto a pagar. En el caso de la inyección de preformas, se considera desperdicio los productos no conformes y la torta (acumulación amorfa de material).

g. Defectos en preformas PET. En las preformas PET se presentan varios defectos por condiciones como temperatura y presión. Algunos de los defectos más presentados en las preformas de Iberplast se describen en la Tabla 5.

Tabla 5.*Defectos en preformas PET*

Defecto	Descripción
Contaminación	Preforma con puntos negros por degradación del material o de los aditivos
Tip largo	Punto de inyección de la preforma más largo de lo permitido
Burbuja	Signos de presencia de humedad en el material. Las capas internas liberan calor que queda atrapado dentro de la pieza por la solidificación más rápida de las partes externas
Vetas	Una imperfección, larga y estrecha, sobre la superficie de un laminado o plástico reforzado causada por un local exceso de plástico
Rosca incompleta	No se completa la rosca por falta de presión en la inyección
Pellet sin fundir	Material sin fundir por baja temperatura o por baja presión
Golpe	La preforma se golpea con el molde provocando una deformación
Variación de tono	Por lo general, se presenta cuando se cambia de un color a otro
Opacidad	Sobre todo en materiales transparentes este defecto se manifiesta con la aparición de zonas lechosas o manchas blancas
Pet quemado	Material quemado por temperatura alta
Rebaba	Exceso de material en la rosca o en el tip de la preforma
Cristalinidad	Formación de pequeños cristales por condiciones de espacio, tiempo y reposo

Nota. La tabla describe los defectos que más se presentan en las preformas de la empresa Iberplast S.A. Elaboración propia basado en <http://www.dayamachinery.com/es/problem-and-solution-about-pet-injection-molding/> y <https://www.pt-mexico.com/art%C3%ADculos/solucion-de-cinco-problemas-comunes-en-moldeo-por-estirado-soplado-de-pet>

i. Matriz DOFA. La matriz DOFA (también conocida como matriz FODA, matriz DAFO o análisis SWOT en inglés), es una herramienta utilizada para la formulación y evaluación de estrategias. Su objetivo es identificar los puntos a perfeccionar y las potenciales iniciativas exitosas de una organización. DOFA es la sigla para debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas.

- **Fortalezas.** Son los factores internos a la empresa que crean valor, es decir, en los que la organización tiene una ventaja competitiva. Las fortalezas son factores claves de éxito.
- **Debilidades.** Son factores internos en los que la empresa está en desventaja con respecto a sus competidores. Son aspectos que la empresa tiene por mejorar.
- **Oportunidades.** Son factores externos a la empresa de los que se puede sacar provecho para generar progreso para la compañía. Estos factores están fuera de control de la organización.
- **Amenazas.** Son factores externos a la organización. Son obstáculos con los que se puede encontrar la empresa. Por lo general, se determinan por las fluctuaciones del mercado, las regulaciones del gobierno, o la opinión pública.

j. **Hipótesis dinámica.** Una hipótesis dinámica o causal representa la relación de las causales de un problema central, para ello es necesario definir antes las causas que influyen positiva o negativamente en el sistema. Para el diagrama causal se debe determinar la relación entre dos variables A y B como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6.

Notación diagrama causal

Vínculo	Regla	Descripción
A \longrightarrow B	Relación o vínculo causal	A tiene influencia en B
A $\xrightarrow{+}$ B	Relación de influencia positiva	A un aumento de A corresponde un aumento de B
A $\xrightarrow{-}$ B	Relación de influencia negativa	A un aumento de A corresponde una disminución de B
A $\xrightarrow{\parallel}$ B	Retardo o rotura	Mitiga o rompe la relación causal entre dos variables

Nota. La tabla representa la notación del diagrama causal. Tomado de <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7313>.

k. Técnica multicriterio. La técnica multicriterio es una herramienta utilizada para priorizar causas de un problema complejo en partes más simples permitiendo que estructurar un problema con múltiples criterios en forma visual, mediante la construcción de un modelo jerárquico.

Para la aplicación del modelo se deben realizar las siguientes matrices para llegar a las causas críticas del problema:

- **Matriz Rij (matriz absoluta).** Esta matriz clasifica cada causa con diferentes criterios de evaluación según la escala que se utilice.
- **Metodología objetiva.** Se debe calcular la entropía, la dispersión y el parámetro objetivo con las siguientes ecuaciones:

Ecuación 1. Entropía

$$E_i = \frac{-1}{\log m} * \sum_i (a_{ij} * \log a_{ij}) \quad [7]$$

Donde a es la clasificación, i son los criterios y j las causas

Ecuación 2. Dispersión

$$D_i = 1 - E_i \quad [7]$$

Ecuación 3. Parámetro objetivo

$$S_{oi} = \frac{D_j}{\sum_j D_j} \quad [7]$$

- **Metodología subjetiva.** Para esta metodología, se hace uso del Triángulo de Fuller, el cual compara criterio con criterio para determinar el nivel de importancia. Si se estima que un criterio es más importante que otro o que tienen el mismo nivel de importancia se califica con un uno (1), si por el contrario, el criterio es menos importante que otro, se califica con un cero (0).

Ecuación 4. Modelo subjetivo

$$S_{bi} = \frac{\sum P_{ij}}{\sum \sum P_{ij}} \quad [7]$$

- **Modelo definitivo.** En este modelo se unen la metodología objetiva con la subjetiva para obtener el factor de ponderación de cada criterio con la Ecuación 5.

Ecuación 5. Modelo definitivo

$$S_{di} = \frac{S_{oi} * S_{bi}}{\sum S_{oi} * S_{bi}} \quad [7]$$

- **Matriz relativa.** Finalmente, se realiza esta matriz multiplicando la matriz Rij por los factores de ponderación obtenidos. El resultado de cada causal se clasifica en críticos, activos, pasivos e indiferentes (Tabla 7).

Tabla 7.

Tipos de causas

Causa	Descripción
Crítico	Este tipo de problemas son aquellos que posiblemente afectan el desarrollo del sistema, debido a su influencia sobre los demás y la influencia que tienen los demás sobre estos
Activo	Están determinados como causas de gran importancia, debido a que presentan cierta afectación sobre las demás causas
Pasivo	Estos problemas no presentan un alto nivel de influencia sobre los demás, de igual forma, sirve como indicadores del cambio realizado sobre los problemas mencionados anteriormente
Indiferente	Estos problemas no generan ningún tipo de afectación sobre los demás problemas

Nota. La tabla muestra los tipos de causas que influyen en los problemas con su descripción. Tomado de <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7313>

Las causas críticas con en las que se deben enfocar los esfuerzos de la investigación del problema.

3.2.2 Metodologías de mejora continua

“Las metodologías de mejora continua se refieren a los sistemas de implementación, técnicas de control o filosofías, con las que a través de diversos fundamentos, se busca la generación de cambios positivos en los flujos de trabajo de las organizaciones” [8].

Algunos de los principios de estas metodologías son: el trabajo en equipo es clave, se crea una cultura de mejora continua influenciando positivamente la mentalidad de los involucrados, la simplicidad es fundamental, lo que no se puede medir no se puede gestionar, cada cosa debe tener su lugar.

a. Control Estadístico de Procesos. El Control Estadístico de Procesos (CEP) consiste en la “recolección, análisis e interpretación de datos, establecimiento de calidades, comparación de desempeños, verificación de desvíos, todo eso para su utilización en las actividades de mejoría y control de calidad de productos, servicios y diagnóstico de defectos” [9].

Además, la utilización del CEP disminuye costos principalmente por: la inspección por muestreo y la reducción de productos no conformes. Lo anterior se debe a que esta herramienta permite que se realicen en el momento justo acciones preventivas, y no correctivas.

b. Kaizen. La palabra Kaizen viene del japonés “kai”, cambio y “zen”, para mejorar. Por lo tanto, se define como el cambio para mejorar, o mejora continua. Debido a esto, el Kaizen debe estar presente en todos los procesos con los que cuenta una empresa. En otras palabras, la excelencia operacional se busca a partir de la metodología Kaizen.

La principal característica de este método es que se debe tener claro para su aplicación es que siempre existen problemas para mejorar, por lo que su enfoque es global, con tendencia a la armonía y al equilibrio.

c. Ingeniería de Métodos. “La Ingeniería de Métodos es una técnica que somete cada operación de una pieza de trabajo a un análisis minucioso para eliminar cada elemento u operación innecesaria, y para acercarse al método más rápido y efectivo de realizar cada elemento u operación necesaria” [10].

d. Ingeniería de Valor. “La Ingeniería de Valor es una de las técnicas más efectivas para identificar y eliminar costos. Implica la aplicación de un plan sistemático para obtener un efecto deseado, comparando los costos del componente con respecto a su finalidad o funcionamiento en la producción o montaje” [11].

e. Total Quality Management (TQM). La calidad juega un papel muy importante en las organizaciones, debido a la necesidad de ofrecer productos que cumplan con las especificaciones y superen las expectativas del cliente. Por lo que surgió el sistema Total Quality Management (TQM) que se centra en mejorar un proceso habitual, mediante puntos de control en diferentes etapas de la producción, y es impulsado por la cultura organizacional. En otras palabras, el TQM es “un enfoque para mejorar continuamente la calidad de los bienes y servicios entregados, a través de la participación de todos los niveles y funciones de la organización” [12].

f. Lean Manufacturing. La Manufactura Esbelta o Lean Manufacturing, nace del Sistema de Producción Toyota (TPS), cuyo objetivo es eliminar el desperdicio (muda), cumpliendo con los requerimientos del cliente a los costos más bajos posibles. El desperdicio o muda (término en japonés), significa residuo, inutilidad, despilfarro, ociosidad, superfluo; es decir, es todo aquello que no agrega valor. Las siete (7) mudas del proceso son:

- **Sobreproducción.** Producir más de lo demandado o producir algo antes de que sea necesario.
- **Esperas.** Es el tiempo, durante la realización del proceso productivo, en el que no se añade valor.
- **Transporte.** Cualquier movimiento innecesario de productos y materias primas.
- **Inventario.** Se refiere al stock acumulado por el sistema de producción y su movimiento dentro de la planta, que afecta a los materiales, el producto semielaborado y el producto terminado.
- **Movimientos.** Todo movimiento de personas o equipamiento que no agrega valor.
- **Reproceso.** Son los pasos innecesarios en las actividades de trabajo y no requeridos por el cliente.
- **Defectos.** Son productos que no cumplen los requerimientos (internos o externos) del cliente, y además, incurren en costos adicionales por necesidad de repetir la producción.

“La principal filosofía en la que se sustenta el Lean Manufacturing radica en la premisa de que todo puede hacerse mejor; de tal manera que en una organización debe existir una búsqueda continua de oportunidades de mejora” [13]. La Manufactura Esbelta consta de varias herramientas que facilitan alcanzar el objetivo del método, algunas de ellas son:

- **Justo a Tiempo.** “La metodología Justo a Tiempo (JIT, Just In Time) es una filosofía industrial que puede resumirse en fabricar los productos estrictamente necesarios, en el momento preciso y en las cantidades debidas: se debe comprar o producir solo lo que se necesita y cuando se necesita” [14].
- **5S.** Consiste en cinco (5) actividades que se realizan con el objetivo de crear condiciones de trabajo que permitan la ejecución de labores de forma organizada, ordenada y limpia. Los principios fundamentales de esta herramienta son la clasificación u organización (seiri), el orden (seiton), la limpieza (seiso), la estandarización (seiketsu) y la disciplina (shitsuke).

- **SMED.** El SMED (Single Minute Exchange of Die) tiene como objetivo cambiar de referencia en un solo dígito de minuto, con el fin de reducir los tiempos de preparación para obtener tiempos de fabricación más cortos. Esta herramienta se desarrolla en cuatro (4) fases: separar las operaciones internas de las externas, convertir operaciones internas en externas, organizar las operaciones externas, y reducir el tiempo de las operaciones internas.
- **TPM.** El objetivo del Mantenimiento Productivo Total (TPM) es eliminar la pérdida de tiempo de producción debido al estado de los equipos, es decir, “mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas” [15].
- **Kanban.** El kanban es un término japonés que significa tarjeta con signos o señal visual. Tiene como objetivo indicar el avance de las tareas, mediante el uso de tableros; el tablero más básico de esta herramienta está compuesto por tres columnas: “por hacer”, “en proceso”, y “terminado”.

g. Seis Sigma. El Seis Sigma es un método que se centra en la mejora del proceso, y su objetivo es reducir los defectos a 3,4 partes por millón (ppm), es decir, garantizar una eficiencia del 99,9997%. “Esta metodología fue introducida como una iniciativa de negocio para producir excelentes resultados, mejorar el proceso, expandir las habilidades de los trabajadores y cambiar la cultura de la organización; para obtener un proceso casi perfecto” [16].

En estadística, se utiliza la letra griega sigma (σ) para denotar la desviación estándar de una población, la cual indica la uniformidad del conjunto de datos. Cuando se presenta una desviación estándar alta, se puede concluir que el proceso no está controlado, y que se debe mejorar. Al disminuir la desviación estándar en los procesos, se obtienen los resultados esperados. Debido a esto, se describe la desviación estándar como una consistencia de la calidad de un proceso.

Un proceso se considera Seis Sigma cuando se tienen 4,5 desviaciones estándar entre el resultado promedio y su límite inferior de especificación, y de la misma manera 4,5 desviaciones estándar entre el promedio y el límite de especificación superior.

La metodología Seis Sigma se basa en cinco (5) fases para su aplicación, las cuales son: definir, medir, analizar, implementar y controlar (DMAIC). El DMAIC, al ser un ciclo, se debe realizar en el orden mencionado para lograr los resultados esperados.

- **Definir.** En esta fase se identifica y/o validan las oportunidades, el alcance, los objetivos y los participantes del proyecto. En general, en esta fase se define lo que se hará y cuál es el resultado esperado al final del ciclo. Además, se centra en que los participantes entiendan el problema que se está tratando de solucionar y las metas que se van a alcanzar.
- **Medir.** El objetivo de este paso es recolectar datos e información para analizar y evaluar el escenario actual. El equipo debe determinar qué se va a medir y cuáles técnicas utilizar para la recolección de dicha información, con el fin de obtener datos cuantitativos (estadística).
- **Analizar.** Esta fase se centra en identificar la causa raíz del problema. Por lo general, al momento de analizar el problema, se identifican a varias causas que parecen raíz, pero la clave del éxito está en priorizar y validar la causa raíz del problema planteado.
- **Implementar.** El propósito de esta fase es identificar, evaluar, y seleccionar las soluciones adecuadas. Luego, se debe llevar a cabo un enfoque de gestión de cambios para ayudar a la organización a adaptarse a los cambios introducidos a través de la implementación de las soluciones.
- **Controlar.** En esta fase se debe realizar un seguimiento del plan de acción propuesto, con el fin de no generar un desvío del camino acordado para llegar al resultado esperado.

h. Lean Six Sigma. La metodología Lean Six Sigma (LSS) es la combinación entre el Lean Manufacturing y el Seis Sigma, por lo que tiene la ventaja de ambas

herramientas: eliminar el desperdicio y acelerar el proceso del Lean, y la reducción de la variación del Seis Sigma. Este método es más efectivo que los dos por separado, debido a que se complementan entre sí.

El objetivo de Lean Six Sigma es “reducir los costos de producción, aumentar la productividad, mejorar la seguridad en proceso, reducir el tiempo de salida al mercado y mejorar la calidad del producto y rendimientos” [2].

i. **4P del modelo Toyota.** El modelo describe un compromiso y determinación de la dirección en transmitir a su equipo de trabajo una filosofía de mejora continua a largo plazo en donde se utilizaron las siguientes técnicas: Práctica de la mejora continua son “Kaizen” (cambio a mejor), “genchi genbutsu” (ir y ver), “heijunka” (nivelar la carga de trabajo satisfacer la demanda reduciendo desperdicios), “Jidoka” (parar el proceso cuando sucede un problema, buscar la solución, detectar y eliminar la causa raíz), “Just-in-time”(fabricar la cantidad necesaria en el momento justo, para tener un stock mínimo). Este modelo se representa gráficamente mediante una pirámide con base en la filosofía y ascendiente hasta la resolución de problemas.

j. **Matriz de ponderación.** Para identificar la metodología adecuada para la empresa Iberplast, se hará uso de una matriz de ponderación para comparar las metodologías. La matriz de ponderación es una herramienta para la toma de decisiones multicriterio, es decir, establece prioridades entre un conjunto de factores para facilitar la elección de la alternativa óptima. Dicha matriz consta de una columna con los factores a considerar, otra columna donde se le asigna un peso a cada factor, y las columnas siguientes corresponden a cada alternativa a evaluar.

3.2.3 Caracterización de la metodología

Caracterizar la metodología consiste en describir sus características y las variables que utiliza para lograr el resultado esperado. Para ello, es necesario implementar las siguientes herramientas:

a. Project Charter. Es un documento que se genera al inicio del proyecto oficial, así mismo, le confiere al director del proyecto la autoridad para asignar los recursos de la organización a las actividades del proyecto, objetivos principales y restricciones que este debe cumplir.

b. Diagrama de flujo. Es una representación gráfica de la secuencia de un proceso, mediante el uso de figuras estandarizadas para cada operación. Con ello, se identifican desperdicios y ventajas competitivas dentro de la empresa.

Los elementos más utilizados en un diagrama de flujo son el rectángulo, para describir una acción, el rombo, para tomar una decisión, y el óvalo para determinar el inicio y el final del proceso.

c. Recolección de datos. Se enfoca en reunir información de diversas fuentes, con el fin de obtener una recopilación de datos para brindar exactitud y garantizar la integridad de un estudio, también se refiere al enfoque sistemático de reunir y medir información por medio de sitios web, encuestas en línea, programas de fidelización y aplicaciones móviles.

Los criterios más utilizados para la construcción y elaboración de las técnicas de recolección son la naturaleza del objeto de estudio, las posibilidades de acceso con los investigadores, el tamaño de la población o muestra, los recursos con los que se cuenta, la oportunidad de obtener datos, tipo y naturaleza de la fuente de datos

d. Pruebas de hipótesis. Es un proceso para determinar la validez de una afirmación hecha sobre la población basándose en evidencia muestral. Las hipótesis deben plantearse antes de hacer la muestra por medio de la hipótesis nula, la cual representa lo que se cree hasta el momento y la hipótesis alterna, plantea lo opuesto a la hipótesis nula.

e. **Diseño de experimentos (DOE).** Es una herramienta estadística que se basa en experimentos para obtener información y en base a esa información obtenida tomar mejores decisiones para mejorar, optimizar o encontrar la mejor relación entre los factores que intervienen en un proceso y de esa manera obtener la mayor rentabilidad de sus procesos.

f. **Análisis de varianza (ANOVA).** Es una herramienta estadística para el estudio del efecto de uno o más factores, también consiste en calcular la media de cada uno de los grupos para comparar la varianza de estas medias frente a la varianza promedio dentro de los grupos. Las hipótesis contrastadas en un ANOVA de un factor se conocen como hipótesis nula y alterna. Existen diferentes tipos de ANOVA: modelos de efectos fijos, modelos de efectos aleatorios (Modelo II), modelo 2 - a multifactoriales y modelos mixtos.

g. **Diagrama de Pareto.** Es una representación gráfica de los datos obtenidos sobre un problema que ayuda a identificar cuáles son los aspectos prioritarios que hay que tratar para mejorar la calidad. También se conoce como diagrama de ABC o diagrama 20-80, su fundamento es identificar las causas vitales del problema que representan el 80% y el 20% representa las causas triviales.

3.2.4 Aplicación de la metodología

Para la aplicación de la metodología se realizará una simulación del escenario actual y el propuesto, para obtener y analizar los resultados, y realizar los ajustes pertinentes para el logro del objetivo del proyecto.

a. **Prueba de normalidad.** La prueba de normalidad tiene como objetivo analizar cuanto difiere la distribución de los datos observados respecto a lo esperado si procediesen de una distribución normal con la misma media y desviación típica. Pueden diferenciarse tres estrategias: las basadas en representaciones gráficas, en métodos analíticos y en test de hipótesis.

Los resultados de la prueba indican si se debe rechazar la hipótesis nula o alterna. Existen diferentes tipos de prueba de normalidad que puede utilizar para evaluar la normalidad: prueba de Anderson - Darling, prueba de normalidad de Ryan-Joiner, prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.

b. Valor P. El valor P se utiliza en todas las pruebas estadísticas, se calcula usando la distribución de muestreo del estadístico de prueba bajo la hipótesis nula, los datos de la muestra y el tipo de prueba que se realiza. Por otro lado, el límite de un valor $P < 0,05$ corresponde a la aceptación de la hipótesis nula (H_0) y rechaza a la hipótesis alterna (H_L). Sin embargo el valor P, no se debe usar para sacar conclusiones, sino para identificar posibilidades, como una prueba de esperanza matemática.

c. Desviación estándar. Es una medida de dispersión que se emplea para variables de razón que indica cuanto pueden alejarse los valores respecto al promedio (media). La desviación estándar es utilizada para buscar probabilidades de que un evento ocurra.

La fórmula para calcular la desviación estándar para datos no agrupados viene dada por la Ecuación 6.

Ecuación 6. Desviación estándar.

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \mu)^2}{N}}$$

Donde,

N: número de datos o elementos de la muestra.

i: índice de la suma que toma los valores 1, 2, 3...n.

X_i : valor del i-ésimo dato de la muestra.

μ : media aritmética de la muestra.

d. Gráfica de control. Es una herramienta utilizada para distinguir las variaciones debidas a las causas asignables o especiales a partir de las variaciones aleatorias inherentes al proceso. Por otra parte, esta gráfica representa cierta sensibilidad que otros no tienen, debido a que suelen tener una tendencia constante, por lo que cualquier error o alteración puede ser percibido rápidamente, también adquieren valores de intervalos medidos en un intervalo de tiempo determinado como datos continuos de variables.

e. Análisis de capacidades. Su propósito es identificar el potencial de la empresa para establecer ventajas competitivas mediante la identificación y valoración de los recursos y habilidades que se posee.

- **Cp.** Es una medida de la capacidad potencial del proceso que relaciona la diferencia entre los límites de especificación permitidos (LSE-LIE) y la variación 6σ con base en la desviación estándar dentro de los subgrupos. En la Ecuación 7, se expresa la fórmula para calcular esta capacidad

Ecuación 7. Capacidad potencial.

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

- **CPL.** Es una medida de la capacidad potencial del proceso con base en su límite de especificación inferior y compara la distancia de la media del proceso al límite de especificación (Ecuación 8).

Ecuación 8. Capacidad potencial en base a su límite de especificación inferior.

$$C_{PL} = \frac{x - LIE}{3\sigma}$$

- **CPU.** Es una medida de la capacidad potencial del proceso con base en su límite de especificación superior y compara la dispersión unilateral del proceso (3σ) con base en la variación de los subgrupos (Ecuación 9).

Ecuación 9. Capacidad potencial en base a su límite de especificación superior.

$$CPU = \frac{LSE - X}{3\sigma}$$

- **CPK.** Es una medida de la capacidad potencial del proceso y es igual al mínimo entre CPU y CPL, también compara la distancia de la media del proceso al límite de especificación más cercano (LES o LEI)

f. Nivel sigma. Es un indicador de variación que se utiliza para determinar cuántas desviaciones estándar caben entre los límites de especificación del proceso, ayuda a priorizar y manejar proyectos, diseñar productos y mejorar procesos.

g. 5 por qué. Es una herramienta de análisis de causa – efecto, que actúa a través de preguntas. También es considerada como una técnica utilizada para analizar un problema haciendo la pregunta ¿Por qué?, una vez obtenida la respuesta es necesario preguntarse 5 veces el ¿Por qué? , para profundizar rápidamente cual fue la naturaleza del problema.

h. Minitab. Es un programa de estadísticas que permite ingresar datos rápidamente y ejecutar una variedad de análisis en ellos. Éste examina los datos para buscar tendencias, predecir patrones, visualizar las interacciones de los datos e identificar factores importantes para responder incluso preguntas y problemas más complicados de solucionar.

i. Simulación. La simulación consiste en imitar o fingir que se está realizando una acción cuando en realidad no se está llevando a cabo. Al implementar sistemas informáticos, se puede “conocer el funcionamiento de determinados sistemas o

anticiparse a problemas. Estos sistemas de simulación facilitan estudiar qué tipo de respuestas se pueden ofrecer ante determinadas situaciones, sin ningún tipo de riesgo físico ni para los humanos ni para las máquinas” [19]. La simulación se realizará en el escenario actual y en el escenario propuesto para la empresa.

j. Promodel. Es un programa de simulación que permite realizar modelos y optimizarlos. Permite simular cualquier tipo de sistemas de logística, call center, manufactura, ensamble, entre otros.

k. OEE (Overall Equipment Effectiveness o ETE, Efectividad total de los equipos). Es una herramienta integral de evaluación comparativa que sirve para medir el aprovechamiento integral de la maquinaria industrial, así mismo mide la productividad, disponibilidad, rendimiento, calidad y la eficiencia de producción.

l. Pilares TPM. El proceso de mantenimiento productivo total consta de ocho pilares, que contribuyen a las empresas a prevenir, eliminar fallas que puedan surgir en los procesos de producción y garantizar la seguridad de sus colaboradores. Esta herramienta cuenta con ocho (8) pilares que son utilizados para lograr una mejora continua: mejoras Enfocadas o Kobetsu Kaizen, Mantenimiento Autónomo o Jishu Hozen, Mantenimiento Planificado, Mantenimiento de Calidad o Hinshitsu Hozen, Prevención del Mantenimiento, Actividades de Departamentos Administrativos y de Apoyo, Formación y adiestramiento y Gestión de Seguridad y Entorno.

m. Molde. Es un recipiente o pieza hueca, en donde se adiciona una mezcla líquida o blanda para que en el momento de solidificarse tome la forma del recipiente.

n. Unidades deshumidificadas de aire. Es un equipo de acondicionamiento de aire que comprende una cantidad de desecante líquido y el volumen del desecante aire, en el que el aire exterior se pone en contacto con una segunda parte del desecante líquido y un sistema de refrigeración que comprende a un intercambiador de calor.

o. Circuito de refrigeración. Existen dos procesos en el circuito de refrigeración de alta presión, el cual se transporta el líquido y de baja presión, el cual se transporta el vapor, este se constituye por un compresor, un condensador, un evaporador y elementos de expansión.

p. Bombas de vacío. Es un equipo mecánico diseñado para extraer gases o líquidos del interior de recipientes o sistemas, mediante el trasiego de los gases o fluidos. Estas bombas funcionan mediante la relación a la presión atmosférica, puesto que permite mantener presiones menores a la atmosférica. Existen bombas de vacío sin aceite y con aceite, bombas combinadas de canal lateral entre otras.

3.2.5 Estudio financiero

El estudio financiero tiene como propósito obtener medidas y relaciones que faciliten la toma de decisiones, mediante el uso de ciertas herramientas e indicadores. En este proyecto, se realizará un estudio financiero para comparar la situación actual de la empresa y la situación propuesta, para conocer si es factible la aplicación de la metodología de mejora continua en la línea de inyección de preforma.

a. Inversión. Según el banco BBVA, “el término inversión se refiere al acto de postergar el beneficio inmediato del bien invertido por la promesa de un beneficio futuro más o menos probable. Una inversión es una cantidad limitada de dinero que se pone a disposición de terceros, de una empresa o de un conjunto de acciones, con la finalidad de que se incremente con las ganancias que genere ese proyecto empresarial” [20].

b. Flujo de efectivo. El flujo de efectivo o cash flow en inglés, es la variación de entradas y salidas de dinero en un período de tiempo determinado. Los principios más importantes para administrar efectivo son: incrementar las entradas de efectivo de forma rápida, disminuir y retrasar las salidas de dinero.

c. Inflación. Es el precio sostenido de los precios de bienes y servicios en un tiempo determinado. Cuando la inflación sube, la unidad monetario tiene menos valor; por el contrario, cuando la inflación disminuye, la unidad monetaria tiene más valor.

d. Depósito a término fijo (DTF). Es una tasa de interés promedio de las tasas de captación diarias (CDTs) a 90 días pagadas por el sistema financiero, como bancos, corporaciones financiera, entre otros.

e. Tasa interna de oportunidad (TIO). Esta tasa representa el valor que se espera recuperar en un proyecto, se determina con la inflación, el DTF y una tasa estipulada por el inversionista.

f. Valor presente neto (VPN). El valor presente neto (VPN) se utiliza para evaluar proyectos de inversión a largo plazo. Permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: maximizar la inversión. “Para actualizar esos flujos netos se utiliza una tasa de descuento denominada tasa de expectativa o alternativa/oportunidad, que es una medida de la rentabilidad mínima exigida por el proyecto que permite recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios” [21].

g. Relación beneficio/costo. “La relación beneficio/costo (B/C) ayuda a determinar la viabilidad de un proyecto, ya que toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios por cada peso que se sacrifica en el proyecto. Para calcular la relación (B/C), primero se halla la suma de los beneficios traídos al presente, y se divide sobre la suma de los costos” [22].

3.3 Marco histórico

El primer polímero del que se habló fue elaborado por Charles Goodyear en el año 1839, mediante la modificación de las propiedades mecánicas de la goma natural, extraída de un árbol de Brasil (jebe), mezclándola con azufre y una alta temperatura. Este producto se conoció como vulcanización.

En el año 1860, se ofreció un gran premio a la persona que pudiera sustituir el marfil para fabricar bolas de billar por la escasez de este material en Estados Unidos. John Hyatt fue el ganador inventando el celuloide. En 1872, se patentó la primera máquina de moldeo por inyección de plástico en la historia, con un proceso más simple al de las máquinas actuales.

En 1907, Leo Baekeland inventa la baquelita, considerada como el primer plástico termoestable. Tenía características como aislante, resistente al calor moderado, a ácidos y al agua. Debido a esto, desde el año 1930 los científicos se encontraban en la creación de los polímeros que se conocen actualmente.

Por otro lado, el control estadístico de procesos se remonta al año 1920 en los laboratorios Bell en Estados Unidos, donde Walter Shewhart, físico, ingeniero y estadístico estadounidense, observa que no se manejan datos en los procesos industriales y de la vida cotidiana. Llegó a la conclusión de que un proceso debe estar controlado.

El control estadística de procesos consiste en medir las variables de calidad de un producto, que se comparan con las especificaciones del cliente. Cuando se presentan no conformidades, se deben realizar las acciones correctivas para solucionar el problema.

A finales de la segunda guerra mundial, Japón era un país con una industria con falta de calidad. En 1949 se consolidó la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros (JUSE), que tenía como objeto desarrollar y difundir ideas del Control de la Calidad en el país. El Dr. William Edwards Deming, un estadístico estadounidense, fue invitado como capacitar en control estadístico de la calidad por la JUSE. En 1954, la JUSE invita Joseph Juran para dictar un seminario de la administración del control de la calidad. A partir de los aportes de estos dos expertos, Japón reestructuró su industria. La mejora continua se convierte en la principal estrategia de la administración japonesa, y con ello el nacimiento del término Kaizen. El Kaizen proviene de la palabra

japonesa Kai que significa cambio y Zen que significa para mejorar, tiene como objetivo mejorar continuamente involucrando a todas las personas en la organización.

a. Ingeniería de Métodos. La Ingeniería de Métodos se remonta a la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII y principios del XIX en Inglaterra, cuando Frederick Taylor, considerado como el padre de la administración, comenzó a realizar su trabajo sobre el estudio de tiempos. En 1917, Henry Gantt creó un instrumento de medición de los programas planeados contra los trabajos realizados. Pero fue en 1948, Harold Bright Maynard publicó el libro *Methods - Time - Measurement (MTM)* donde se analizaban todos los movimientos manuales requeridos para completar una tarea.

b. Ingeniería de Valor. La Ingeniería de Valor se desarrolló en el año 1947 en Estados Unidos en la compañía General Electric, cuando el asbesto, uno de los materiales más utilizados en la construcción, era escaso. General Electric consiguió un material sustituto menos costoso, pero por regulaciones de control de incendios, se prohibió dicho material. Debido a esto, Lawrence Miles, fue el encargado de encontrar el mejor método para aumentar el valor de cualquier producto.

c. Total Quality Management. El término de calidad total se utilizó por primera vez en 1969, pero hasta la década de los 80, se comenzó a hacer uso de esta herramienta con la siguiente filosofía: la calidad se define por los requerimientos de los clientes, la alta dirección tiene la responsabilidad directa de la mejora de calidad, el aumento de la calidad viene de un análisis sistemático y de la mejora de los procesos de trabajo y la mejora de la calidad es un esfuerzo continuo y realizado en toda la organización.

d. Lean Manufacturing. En el siglo XX, se remonta el origen del Lean Manufacturing en la Toyota Motor Company cuando fracasó el sistema de la producción en masa en Estados Unidos. En 1950, el japonés Eiji Toyoda, se da cuenta que el principal problema de un sistema de producción es el desperdicio. En 1973, se posicionó el nuevo sistema de producción Lean Manufacturing en muchos sectores, su

propósito era eliminar todo aquello que no agregara valor al proceso para reducir costos, cumpliendo con las expectativas del cliente.

e. Seis Sigma. La metodología Seis Sigma fue originada por el Ingeniero Bill Smith en el año 1987 en Motorola como mejora de la calidad. Los antecedentes del Seis Sigma son el Total Quality Management (TQM) y el Control Estadístico de la Calidad, desarrollados después de la segunda guerra mundial.

f. Lean Six Sigma. Se empezó a hablar de la combinación entre el Lean Manufacturing y el Seis Sigma a finales del año 1990, cuando AlliedSignal (empresa estadounidense de aeroespacial) y Maytag (empresa estadounidense de electrodomésticos) contrataron expertos en las dos metodologías.

3.4 Marco normativo

El sector plástico no posee una normatividad amplia. En la Tabla 8 se observan las normas vigentes para los envases y residuos sólidos plásticos.

Tabla 8.

Normatividad para los envases y residuos sólidos plásticos

Ley	Descripción
Resolución 4143 de 2012	Por la cual se dictan los requisitos sanitarios que deben cumplir los envases plásticos, elastómeros y sus aditivos destinados a entrar en contacto con alimentos de consumo humano.
Resolución 1407 de 2018	Reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases plásticos, vidrio, cartón, metal, entre otros.
Ley 09 de 1979 Artículo 256	Las materias primas, envases, empaques, envolturas y productos terminados para alimentos y bebidas se almacenarán en forma que se evite su contaminación y se asegure su correcta conservación.
Ley 09 de 1979 Artículo 266	Las superficies que estén en contacto con los alimentos o bebidas deben ser inertes a éstos, no modificar sus características organolépticas o físico-químicas y, además, estar libres de contaminación.
Ley N° 27314	Aplica a las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, incluyendo las distintas fuentes de generación de dichos residuos, en los sectores económicos, sociales y de la población

Nota. La tabla expone la normatividad impuesta por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para los envases que contienen alimentos y los residuos sólidos. Tomado de <https://www.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/Anexo-1-Marco-Juridico-RUA-Manufacturero.pdf>

4. DIAGNÓSTICO

Para realizar el diagnóstico se hizo un PESTAL, análisis del sector manufacturero, análisis del subsector plástico, diagnóstico de la empresa, una matriz DOFA y priorización de causas mediante hipótesis dinámica y técnicas multicriterio.

4.1 PESTAL

A continuación se presenta el análisis realizado de los aspectos políticos, económicos, sociales, tecnológicos, ambientales y legales que impactan al desperdicio de plástico en Colombia.

4.1.1 *Factor político*

El Gobierno actual del presidente Iván Duque se ha enfocado en la economía circular y sostenible, buscando aprovechar los desechos de los consumidores finales que pueden volver a procesarse y obtener varios usos después de su disposición final.

Debido a esto, Colombia se unió a la política ambiental mundial de la Responsabilidad Extendida del Productor (REP), que consiste en reutilizar los residuos del consumidor final, obligando a los productores a gestionar los desechos generados de sus productos. Uno de los propósitos de esta política es que el productor se vea en la necesidad de tomar acciones preventivas y correctivas en sus procesos para disminuir el impacto ambiental.

En el año 2018, se expidió la Resolución 1407, donde se estipula la reglamentación para la gestión de residuos de envases y empaques fabricados con plástico, cartón, papel, vidrio y metal. Por lo tanto, estas industrias deben generar un *plan de gestión ambiental de residuos de envases y empaques* que fomente la reutilización y aprovechamiento de los mismos.

Dicha resolución establece que las empresas identificadas como productoras de envases y empaques al 31 de diciembre de 2017 deben presentar el plan de gestión ambiental el 31 de diciembre de 2020 por tarde. Los productores identificados a partir del 01 de enero de 2018 deberán presentarlo el 31 de diciembre del año siguiente en el primer período fiscal.

La meta de esta resolución es que para el año 2021, los productores aprovechen el 10% de los envases y empaques existentes en el mercado. Cada año, aumenta la meta hasta llegar a aprovechar el 30% de estos productos en el año 2030.

Con la implementación de esta resolución y la presión por parte del Ministerio del Medio Ambiente, a comienzos de marzo 2020, más de 200 empresas empezaron a gestionar sus residuos mediante 21 proyectos piloto de aprovechamiento presentados a Agencia Nacional de Licencias Ambientales para su aprobación.

4.1.2 Factor económico

Actualmente, Colombia cuenta con 16 tratados de libre comercio (TLC) firmados con las más importantes economías del mundo: Israel, que entró en vigencia el 11 de agosto de 2020, México, el Triángulo del Norte (El Salvador, Guatemala y Honduras), la Comunidad Andina o CAN (Bolivia, Ecuador y Perú), Caricom (la Comunidad del Caribe), Chile, EFTA (Suiza, Noruega, Islandia y Liechtenstein), Canadá, Estados Unidos., Mercosur (Argentina, Brasil, Uruguay y Paraguay), Venezuela, Cuba, la Unión Europea, la Alianza del Pacífico, Costa Rica y Corea.

De acuerdo con estos TLC, los productos plásticos tienen 0% de arancel en países como Brasil, Estados Unidos, México, Perú, Ecuador y Chile. Por lo que, con estos países son los que más exportaciones e importaciones se realizan. De acuerdo a cifras del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, en la Tabla 9 se pueden observar las importaciones en Colombia en los períodos de Ene-Jul 2019 y 2020.

Tabla 9.*Importaciones a Colombia de productos plásticos período Ene-Jul 2019 y 2020*

Importaciones	2019	2020	2019	2020
	Dólares CIF		Participación (%)	
Sin TLC	284.756.985	247.828.454	44,12%	44,89%
Estados Unidos	101.730.275	82.532.429	15,76%	14,95%
Unión Europea	90.915.197	81.849.224	14,08%	14,82%
CAN	57.435.847	45.593.574	8,90%	8,26%
Mercosur	49.787.556	44.556.228	7,71%	8,07%
México	37.110.125	32.111.207	5,75%	5,82%
Chile	14.028.587	10.260.840	2,17%	1,86%
Canadá	4.627.129	4.746.903	0,72%	0,86%
EFTA	1.486.656	1.210.856	0,23%	0,22%
Venezuela	2.640.881	969.641	0,41%	0,18%
Triángulo del Norte	547.293	465.369	0,08%	0,08%
Caricom	410.706	11.291	0,06%	0,002%
Total	645.477.237	552.136.016	100,00%	100,00%

Nota. La tabla muestra las importaciones realizadas en Colombia en los períodos de Ene-Jul 2019 y de Ene-Jul 2020. Tomado de <https://www.nubemcit.gov.co/public.php?service=files&t=3040a9a7106f89ad382a71dd9993e4ba&path=%2FExportaciones%2FFOBDO%2FSECTOR%2FPER%C3%8DODO>

En la tabla anterior, se observa que el 55,11% de las importaciones en Colombia en el año 2020 son hechas con los países con los que se tienen tratados de libre comercio. Y el 44,89% de las importaciones son con países con los que no se tiene TLC, siendo China el país con mayor participación en este aspecto.

Por otro lado, el 84,24% de las exportaciones de productos plásticos de Colombia son con países con los que se tienen TLC, siendo los países de la CAN los que tienen mayor participación en los años 2019 y 2020 (Tabla 10).

Tabla 10.

Exportaciones a Colombia de productos plásticos período Ene-Jul 2019 y 2020

Exportaciones	2019	2020	2019	2020
	Dólares FOB		Participación (%)	
CAN	79.956.350	61.249.740	23,93%	21,94%
Estados Unidos	65.531.151	55.509.427	19,61%	19,88%
Sin TLC	50.303.216	44.005.346	15,05%	15,76%
México	38.754.496	28.341.087	11,60%	10,15%
Chile	26.113.680	22.531.370	7,82%	8,07%
Mercosur	22.600.599	19.654.981	6,76%	7,04%
Unión Europea	22.008.098	17.834.738	6,59%	6,39%
Triángulo del Norte	16.239.380	17.232.505	4,86%	6,17%
Venezuela	4.582.034	5.985.576	1,37%	2,14%
Caricom	5.937.986	4.951.015	1,78%	1,77%
Canadá	2.067.269	1.858.819	0,62%	0,67%
EFTA	40.196	18.322	0,01%	0,01%
Total	334.134.455	279.172.925	100,00%	100,00%

Nota. La tabla muestra las exportaciones realizadas en Colombia en los períodos de Ene-Jul 2019 y de Ene-Jul 2020. Tomado de <https://www.nubemcit.gov.co/public.php?service=files&t=3040a9a7106f89ad382a71dd9993e4ba&path=%2FExportaciones%2FFOBDO%2FSECTOR%2FPER%C3%8DODO>

4.1.3 Factor social

La mayoría de la población mundial habita en ciudades y zonas urbanas que se han convertido en centros de hiperconsumo con tal de satisfacer sus necesidades. Actualmente, se arraiga la cultura de adquirir, usar y desechar sin tener conciencia del daño al medio ambiente y del uso de los recursos finitos del planeta. El consumo de productos plástico aumenta linealmente, y por ende, también sus desechos.

Según el informe de Greenpeace Colombia: *Mejor sin plásticos* del 2018, se consumen 1.250.000 toneladas al año en materias primas, materiales, envases y empaques

consumidos, es decir, en promedio una persona genera 24 kg al año. El 56% de estos residuos plásticos es de un solo uso.

En cuanto al departamento de Cundinamarca, “al mes, se están generando 47.128 toneladas de desechos, siendo Soacha, el municipio que más produce (10.323 toneladas por mes), seguido por Fusagasugá (4.565), Girardot (2.975), Chía (2.722) y Mosquera (2.710)” [23].

4.1.4 Factor tecnológico

El reciclaje es una actividad que ha ido evolucionando a través del tiempo con ayuda de la tecnología. En el caso de Colombia, el reciclaje que más se utiliza es el mecánico, el cual consiste en recolectar productos plásticos y molerlos en grandes molinos para granular el material nuevamente.

Últimamente, el país ha ido implementando otra forma de recuperar este material mediante reciclaje químico, que busca cambiar la estructura de los materiales para descomponer los polímeros en monómeros.

Sin embargo, mediante estos tipos de reciclaje no se pueden reciclar pedazos de plástico muy pequeños o micro plásticos que miden entre 5 mm y 1 μ m. Existen dos tipos de micro plásticos: primarios, productos fabricados de forma intencional con ese tamaño (seda dental, exfoliantes), y secundarios, generados por la descomposición de plásticos más grandes.

4.1.5 Factor ambiental

A través de los años ha ido incrementado el interés por el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible por parte de las empresas y de la población en general. Según los análisis realizados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la contaminación atmosférica en Colombia es uno de los problemas ambientales de

mayor relevancia por los impactos en la salud y en el ambiente. “Esta contaminación es ocasionada mayoritariamente por las industrias manufactureras y las explotaciones mineras, junto a la quema de materiales agropecuarios y los contaminantes de los automóviles” [24].

El plástico se ha convertido en la mitad de los desechos del mundo, debido a su lenta descomposición natural y a su alta demanda en gran parte de los productos. De las 9.000 toneladas producidas de plástico en el mundo, sólo se ha reciclado el 9%.

El 56% del plástico que se consume en Colombia es de un solo uso, por lo que desde el año 2019 se empezaron a tomar medidas para reducir la adquisición de esos productos (pitillos, bolsas, empaques desechables) reemplazándolos con otros, y se avanzó en un proyecto de ley que busca prohibir los plásticos de un solo uso.

Acoplásticos, la entidad gremial colombiana sin ánimo de lucro que representa a las empresas de las cadenas productivas químicas, planteaba que “la mejor opción para enfrentar el desafío de los residuos plásticos en el país es promover la economía circular y el reciclaje, que a su vez generaría nuevas fuentes de empleo e ingresos” [25]. Esto se debe a que si se aprueba la medida legislativa, más de 100.000 trabajadores se verían afectados.

La industria de empaques está buscando reemplazar el plástico proveniente del petróleo, por otro que proviene de sustratos vegetales como la caña de azúcar, la papa, la yuca y otras plantas, ya que se produce 32.000 millones de unidades de empaques al año en el país.

La Gobernación de Cundinamarca está promoviendo el cambio de hábitos en los 116 municipios para proteger los recursos naturales, mediante la disminución del consumo de los artículos que impactan y afectan la salud humana y animal como lo son los plásticos. Municipios como Cáqueza, Cajicá y Funza ya prohibieron el uso de los

plásticos de un solo uso e implementaron la sustitución de éstos por elementos biodegradables.

Cada año, la Administración Municipal de Madrid y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) realizan una jornada de *reciclación*, una actividad que busca crear conciencia acerca del buen uso de los residuos. Se reciben materiales reciclables como: plásticos (botellas, recipientes), botellas de vidrio, empaques tetrapack, papel, latas, cartón, metales y materiales post consumo como baterías de celular, pilas, electrodomésticos, entre otros.

4.1.6 Factor legal

Debido a que la mayoría de la producción del plástico se encuentra en los envases y empaques, el Ministerio de Salud ha estipulado leyes y resoluciones para controlar esta clase de productos (Tabla 11).

Tabla 11.

Normatividad para los envases y residuos sólidos plásticos

Ley	Descripción
Resolución 4143 de 2012	Por la cual se dictan los requisitos sanitarios que deben cumplir los envases plásticos, elastómeros y sus aditivos destinados a entrar en contacto con alimentos de consumo humano.
Resolución 1407 de 2018	Reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases plásticos, vidrio, cartón, metal, entre otros.
Resolución 683 de 2012	Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano.
Ley 09 de 1979 Artículo 266	Las superficies que estén en contacto con los alimentos o bebidas deben ser inertes a éstos, no modificar sus características organolépticas o físico-químicas y, además, estar libres de contaminación.
Ley N° 27314	Aplica a las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final, incluyendo las distintas fuentes de generación de dichos residuos, en los sectores económicos, sociales y de la población.

Nota. La tabla expone la normatividad impuesta por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para los envases que contienen alimentos y los residuos sólidos. Tomado de <https://www.corpochivor.gov.co/wp-content/uploads/2016/06/Anexo-1-Marco-Juridico-RUA-Manufacturero.pdf>

4.2 Análisis del sector manufacturero

La industria manufacturera genera grandes cantidades de desechos diarios en sus procesos y en la disposición que los clientes finales le dan a éstos. Es por esto, que el Gobierno ha impuesto leyes que regulen el manejo de residuos sólidos como la Ley 27314 que establece las generalidades de las obligaciones, atribuciones y responsabilidades de la sociedad para el manejo y la gestión de estos residuos.

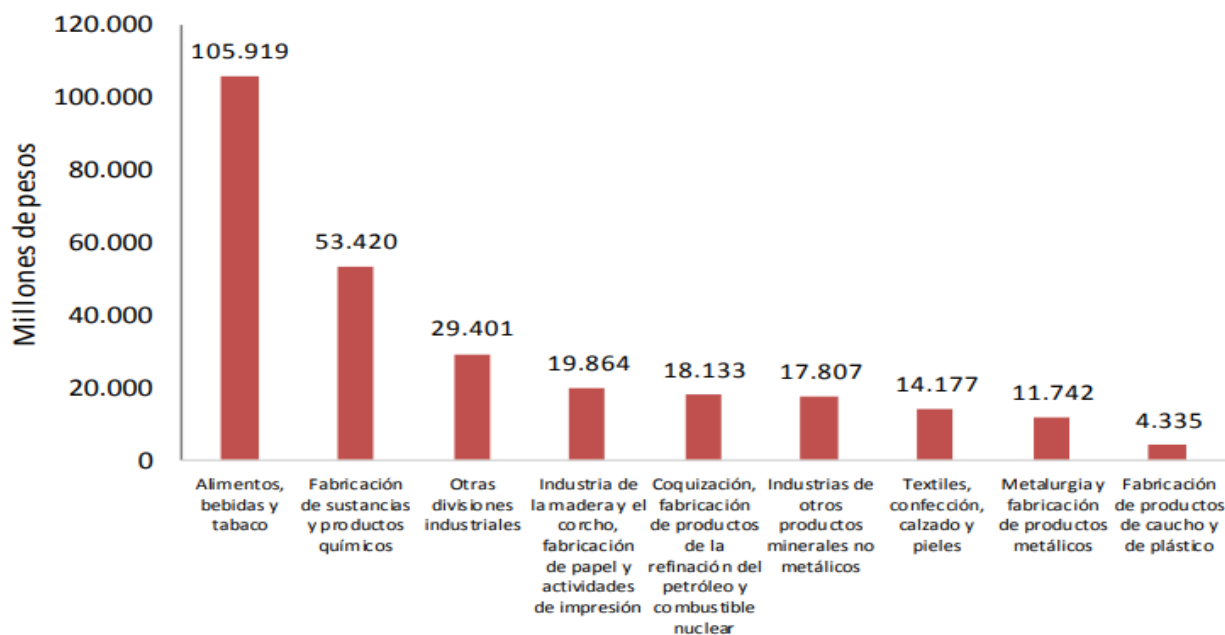
De igual manera, el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) realiza la Encuesta Ambiental Industrial (EAI) cada año para llevar la trazabilidad del

sector manufacturero en temas de gestión ambiental en el país. Esta encuesta tiene como objetivo registrar los avances o los retrocesos de los retos de competitividad, sostenibilidad ambiental y responsabilidad social empresarial en el sector.

La última Encuesta Ambiental Industrial publicada por el DANE fue la del año 2018, donde se evidencia que los grupos industriales invirtieron un total de \$274.797 millones de pesos en la protección y conservación del medio ambiente. La industria de alimentos, bebidas y tabaco es la industria que mayor inversión realizó con una participación del 38,5%; por el contrario, la industria de productos de caucho y plástico es la que menor inversión realizó con una participación del 1,6% (Figura 4).

Figura 4.

Inversión en protección y conservación del ambiente por grupos de divisiones industriales



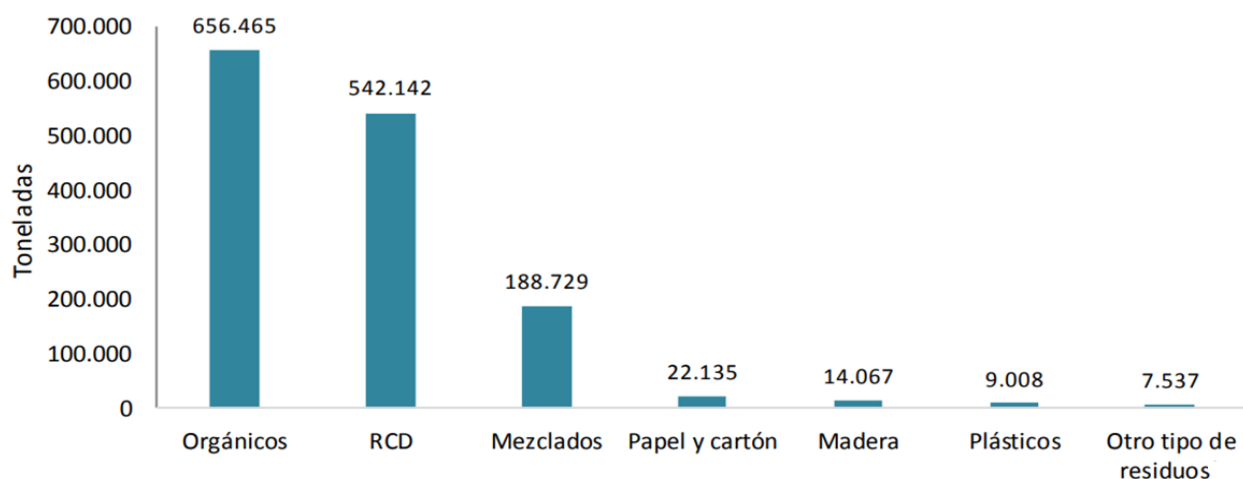
Nota. La figura muestra la inversión en protección y conservación del ambiente por grupos de divisiones industriales realizada en el año 2018 en millones de pesos. Tomado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/EAI/2018/bol_EAI_2018.pdf

Por otro lado, el sector manufacturero generó 9'080.533 toneladas de residuos convencionales, de los cuales se dispusieron el 15,9%, es decir, alrededor de 1.440.085 toneladas en el año 2018. Las toneladas restantes se reutilizaron, reciclaron, se destinaron a compostaje, combustible, venta, almacenamiento y donación.

En la Figura 5, se observa la distribución de los residuos por los establecimientos industriales. Cabe resaltar que “otros tipo de residuos” hace referencia a residuos metálicos, textiles, caucho y vidrio, y los residuos “RCD” son los residuos de construcción y demolición.

Figura 5.

Distribución de los residuos convencionales dispuestos por los establecimientos industriales según tipo de residuo



Nota. La figura presenta la distribución de los residuos convencionales dispuestos por los establecimientos industriales según tipo de residuo en el año 2018. Tomado de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/EAI/2018/bol_EAI_2018.pdf

Se evidencia que los residuos orgánicos son los que mayor proporción representan de los residuos dispuestos con 45,6%. Por el contrario, los residuos plásticos sólo representan el 0,6% de los residuos dispuestos en el 2018 con 9.008 toneladas.

4.3 Análisis del subsector plástico

El sector plástico colombiano es uno de los sectores manufactureros más dinámicos en el país, ya que ha tenido “una gran oportunidad para suplir la creciente demanda de productos esenciales como tapabocas, mascarillas y guantes, así como el auge de envases y empaques plásticos, debido a que estos facilitan la desinfección de productos y dan confianza al consumidor” [26]. A continuación se muestran las exportaciones, importaciones y desperdicio en el sector.

4.3.1 Exportaciones

Las exportaciones de los productos químicos y productos conexos, n.e.p. abordan las ventas externas de los productos plásticos. En este tipo de artículos presentó US\$255,3 millones FOB en julio 2020, es decir, una variación de -13,2% con respecto al año anterior.

En la Tabla 12 se puede observar que los productos químicos y productos conexos, n.e.p. contribuyeron 5,2 puntos porcentuales negativos a las exportaciones del grupo Manufacturas. Y en las exportaciones a nivel nacional, contribuyeron -1,2 puntos porcentuales.

Tabla 12.*Exportaciones del grupo de productos Manufacturas*

Descripción	Julio 2019p	Julio 2020p	Variación	Contribución a la	Contribución a la
	Millones de dólares FOB		%	variación del grupo (pp)	variación total (pp)
Manufacturas	745,3	585,9	-21,4	-21,4	-4,9
Maquinaria y equipo de transporte	166,3	101,9	-38,7	-8,6	-2,0
Productos químicos y productos conexos, n.e.p.	294,0	255,3	-13,2	-5,2	-1,2
Artículos manufacturados, clasificados principalmente según el material ¹	184,7	153,9	-16,7	-4,1	-0,9
Artículos manufacturados diversos	100,3	74,8	-25,4	-3,4	-0,8
<i>Ferroniquel</i>	38,1	28,9	-24,1	-1,2	-0,3

Nota. Esta tabla muestra las exportaciones en millones de dólares FOB, la variación y la contribución del grupo de productos Manufacturas de julio 2020 en relación con julio 2019. Tomado de <https://www.dane.gov.co/>

4.3.2 Importaciones

En junio 2020, las importaciones de productos químicos y productos conexos, n.e.p. fueron de US \$696,8 millones CIF, es decir, 17,2% menos con respecto a junio 2019 (Tabla 13).

Tabla 13.*Importaciones del grupo de productos Manufacturas*

Descripción	Junio 2019	Junio 2020	Variación %	Contribución a la variación del grupo (pp)	Contribución a la variación del total (pp)
	(Millones de dólares CIF)				
Manufacturas	3.065,2	2.298,6	-25,0	-25,0	-19,2
Maquinaria y equipo de transporte	1.370,6	934,2	-31,8	-14,2	-11,0
Productos químicos y productos conexos, n.e.p.	841,1	696,8	-17,2	-4,7	-3,6
Artículos manufacturados, clasificados principalmente según el material	534,5	440,0	-17,7	-3,1	-2,4
Artículos manufacturados diversos	319,1	227,7	-28,7	-3,0	-2,3

Nota. Esta tabla muestra las importaciones en millones de dólares CIF, la variación y la contribución del grupo de productos Manufacturas de junio 2020 en relación con junio 2019. Tomado de <https://www.dane.gov.co/>

Además, se observa que la contribución a la variación del grupo fue de 4,7 puntos porcentuales negativos, y que la contribución a la variación del total nacional fue de -3,6 puntos porcentuales.

4.3.3 Desperdicio

De acuerdo a un informe de Greenpeace por su movimiento “*Libérate del Plástico*”, el ranking de las empresas que más contaminación generan de acuerdo a las piezas de plástico recolectadas en todo el mundo es el siguiente [27].

- Coca-Cola
- PepsiCo
- Nestlé
- Danone
- Mondelez Internacional
- Procter & Gamble

- Unilever
- Perfetti van Melle
- Mars Incorporated
- Colgate-Palmolive

4.4 Diagnóstico de la empresa

Iberplast estipuló en su visión ser una empresa productora de empaques y envases de plásticos reconocida a nivel mundial en armonía con el medio ambiente, para ello, incluye en sus procesos material recuperado post-industria (residuos de procesos industriales) y post-consumo (residuos después de su uso final).

La empresa utiliza el reciclaje mecánico para la recuperación de sus desechos plásticos post-industria en un área destinada a ello, mediante uso de maquinaria especializada en moler y cristalizar productos de plástico.

Para incluir el material recuperado post-consumo, Iberplast le compra este tipo de resina a la empresa Enka de Colombia S.A., líder en el reciclaje de PET en el país. Con esto, Iberplast ha hecho parte de la política ambiental mundial de la Responsabilidad Extendida del Productor años antes de que se uniera Colombia.

En la Tabla 14, se observa el material post-industria y post-consumo que la empresa ha utilizado en la fabricación de preformas en el año 2019 y en el año 2020 (enero-agosto), y se puede concluir que desde el año 2019 se ha incluido el 20% de material post-consumo y el 3% de material post-industria en la línea de inyección de preformas.

Tabla 14.

Producción de preformas en la empresa Iberplast S.A. con el material recuperado utilizado

Año	Producción (Kg)	Material post consumo (Kg)	Material post industria (Kg)
2019	38.573.600,74	8.548.340,82	1.087.778,33
2020	21.227.520,45	3.453.361,72	891.763,62
Total	59.801.121,20	12.001.702,54	1.979.541,96

Nota. La tabla muestra la producción en kilogramos de las preformas en Iberplast con el material post-industria y post-consumo utilizado en la fabricación en el año 2019 y en el año 2020 hasta el mes de agosto. Elaboración propia en base de datos suministrados por la empresa.

Según el último dato publicado por Greenpeace, en Colombia se generan 1.250.000 toneladas de plástico al año, como se había mencionado anteriormente en el factor social del Pestal, siendo el 44% desechos que se pueden reciclar, es decir, 550.000 toneladas al año. En el año 2019, Iberplast utilizó en sus procesos 8.548 toneladas (Tabla 13), es decir, el 1,55% de los desechos reciclables producidos en un año.

De acuerdo con la Resolución 1407 del 2018, Iberplast es una de las empresa identificadas como productora de envases y empaques plásticos, lo que quiere decir que para el 31 de diciembre de 2020 debe presentar su *plan de gestión ambiental de residuos de envases y empaques*, el cual debe incluir cómo va a aumentar su porcentaje de aprovechamiento de envases y empaques reciclados post-consumo en sus procesos productivos.

4.5 Matriz DOFA

De acuerdo a la problemática central derivada del árbol del problema, se realizó la matriz DOFA enfocada en la generación del desperdicio del área de inyección de

preforma de la empresa Iberplast (Figura 6). A continuación se describen las debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas identificadas por el responsable del área de inyección de preformas de la empresa de estudio y por la investigación realizada del sector.

4.5.1 Debilidades

A continuación se presentan las debilidades existentes en el proceso de inyección de preformas para la generación del desperdicio:

- Falta de compromiso por parte del personal.
- Mezcla de material original con material recuperado.
- Cambios de referencia y material continuamente.
- Deficiente mantenimiento a la maquinaria por falta de personal en el Área de Mantenimiento.
- Cargue de material de piso. El material puede contaminarse.
- Mala parametrización o ajustes por parte del personal.

4.5.2 Oportunidades

A continuación se presentan las oportunidades que se observan externas al proceso de inyección de preformas para la disminución del desperdicio:

- Actualizaciones a los equipos o al conocimiento del proceso según recomendaciones del proveedor.
- Compra de tolvas para no cargar material desde el piso.
- Controlar el proceso de recuperación del material procesado garantizando la calidad.
- Importación de materiales de mejor calidad de los actuales, desde los países con los que se tienen TLC.

4.5.3 Fortalezas

A continuación se presentan las fortalezas presentes en el proceso de inyección de preformas para la disminución del desperdicio:

- Personal con el conocimiento para reducir el desperdicio.
- Maquinaria de alta tecnología.
- Limpieza de tuberías por donde pasa el material.
- Seguimiento diario del proceso.
- Se tiene una persona dedicada a la inspección del producto terminado para la identificación de defectos.

4.5.4 Amenazas

A continuación se presentan las amenazas externas al proceso de inyección de preformas para la generación del desperdicio:

- Materia prima fuera de especificaciones.
- Aditivos en mal estado.
- Características de los aditivos que generan contaminación.
- Mal almacenamiento de la materia prima o del producto terminado.
- Cortes imprevistos de energía.

Figura 6.

Matriz DOFA del desperdicio de la inyección de preforma

		FACTORES INTERNOS		
		FORTALEZAS	DEBILIDADES	
		F1 Personal calificado	D1 Falta de compromiso por parte del personal	
		F2 Maquinaria de alta tecnología	D2 Mezcla de material original con material recuperado	
		F3 Limpieza de tuberías por donde pasa el material	D3 Cambios de referencia y material continuamente	
		F4 Seguimiento diario del proceso	D4 Deficiente mantenimiento a la maquinaria	
		F5 Persona de inspección del producto terminado	D5 Cargue de material de piso	
			D6 Mala parametrización de la máquina	
FACTORES EXTERNOS	OPORTUNIDADES	O1 Actualizaciones a los equipos o al conocimiento del proceso según recomendaciones del proveedor	F1-O3: Controlar el proceso de recuperado del material con ayuda del personal calificado F2-O1: Actualizar la maquinaria de alta tecnología según recomendaciones del proveedor	D1-O1: Capacitar al personal en los nuevos aspectos del proceso D5-O2: Comprar tolvas para eliminar la actividad de cargar el material del piso
		O2 Compra de tolvas para no cargar material desde el piso		
		O3 Controlar el proceso de recuperación del material procesado garantizando la calidad		
		O4 Importación de materiales de mejor calidad desde países con los que se tiene TLC		
	AMENAZAS	A1 Materia prima fuera de especificaciones	F1-A1: Inspeccionar toda la materia prima que ingrese al proceso	D2-A1: Producir únicamente con material original D3-A1: Cambiar de proveedor de los materiales que más afectan al proceso
		A2 Mal almacenamiento de la materia prima o del producto terminado	F4-A2: Realizar seguimiento a los aditivos para un correcto uso de éstos	
		A3 Cortes imprevistos de energía		

Nota. Esta figura presenta la matriz DOFA de la generación del desperdicio en la línea de inyección de preforma y se proponen algunas estrategias.

Como se observa en la Figura 6, se proponen algunas estrategias preliminares para contrarrestar la generación del desperdicio en la línea de inyección de preforma:

- **F1-O3.** Controlar el proceso de recuperado del material con ayuda del personal calificado.
- **F2-O1.** Actualizar la maquinaria de alta tecnología según recomendaciones del proveedor.
- **F1-A1.** Inspeccionar toda la materia prima que ingrese al proceso.
- **F4-A2.** Realizar seguimiento a los aditivos para un correcto uso de éstos.
- **D1-O1.** Capacitar al personal en los nuevos aspectos del proceso.
- **D5-O2.** Comprar tolvas para eliminar la actividad de cargar el material del piso.
- **D2-A1.** Producir únicamente con material original.
- **D3-A1.** Cambiar de proveedor de los materiales que más afectan al proceso.

4.6 Priorización de causas

De la identificación de debilidades y amenazas en la matriz DOFA para la generación del desperdicio en el área de inyección de preformas, se realizó la hipótesis dinámica de diagrama causal (Figura 7). Así mismo, para el modelo causal se identificaron las roturas que mitigan los efectos entre las causales (Tabla 15)

Tabla 15.

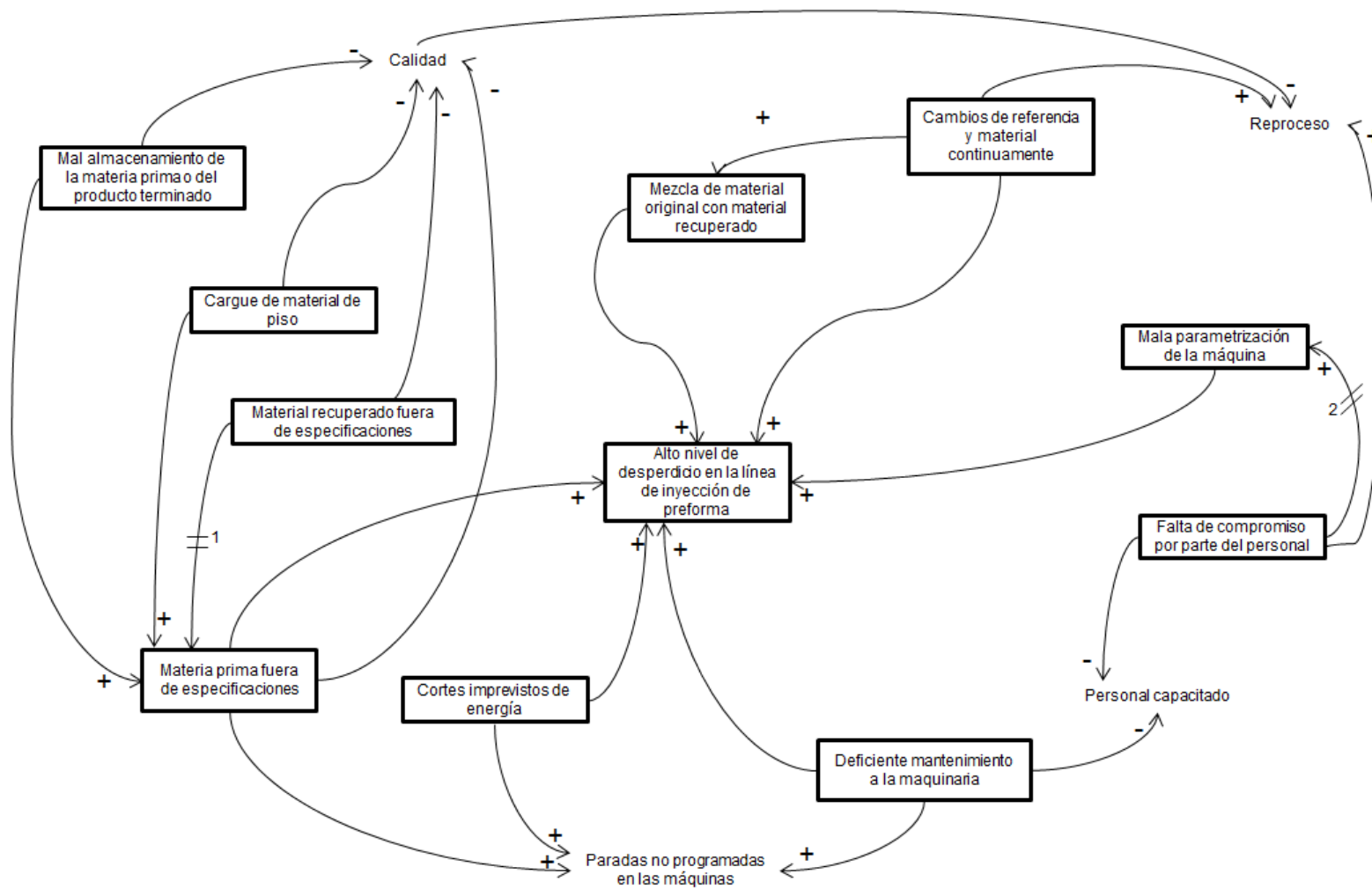
Roturas de la hipótesis dinámica

Rotura	Descripción
1	Control del proceso de recuperación del material procesado garantizando la calidad
2	Desarrollo de una cultura enfocada a la mejora continua

Nota. La tabla presenta las roturas con las que se mitigan los efectos entre las causales. Elaboración propia.

Figura 7.

Diagrama causal para la generación del desperdicio



Nota. Hipótesis dinámica para el alto nivel de desperdicio en la línea de inyección de preforma. Elaboración propia.

Después de haber identificado las causas que conllevan a la problemática planteada, se clasificaron las causales en críticas, activas, pasivas e indiferentes para enfocar el trabajo en las críticas. Para ello se aplicó la técnica multicriterio para priorizar las causas.

Se hizo uso de la escala de Likert para evaluar el nivel de importancia de las causa sobre el problema central (Tabla 16), desde (1) muy importante a (5) sin importancia.

Tabla 16.

Escala de Likert

Nivel	Puntos	Definición
Muy importante	1	Tiene un alto nivel de importancia frente al problema
Importante	2	Tiene importancia frente al problema
Moderadamente importante	3	Influye ligeramente en el problema
De poca importancia	4	Tiene una baja importancia o impacto frente al problema
Sin importancia	5	No tiene importancia frente al problema

Nota. La tabla muestra la escala de Likert de muy importante a sin importancia frente al problema central. Tomado de <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7313>

Para hacer uso de la escala de Likert y calificar cada causal, se deben estipular unos criterios de evaluación (Tabla 17).

Tabla 17.

Criterios de evaluación

Causa	Descripción	Id	Criterio
1	Falta de compromiso por parte del personal	C1	Cultura de mejora continua
2	Mezcla de material original con material recuperado	C2	Mezcla de materiales
3	Cambios de referencia y material continuamente	C3	Cambio de las condiciones del proceso continuamente
4	Deficiente mantenimiento a la maquinaria	C4	Mantenimiento preventivo a la maquinaria
5	Cargue de material de piso	C5	Cargue de material de piso
6	Mala parametrización de la máquina	C6	Parametrización de máquinas
7	Materia prima fuera de especificaciones	C7	Materia prima dentro de especificaciones
8	Mal almacenamiento de la materia prima o del producto terminado	C8	Almacenamiento
9	Cortes imprevistos de energía	C9	Paradas imprevistas

Nota. La tabla describe los criterios de evaluación con los que se calificaron las causales en la técnica multicriterio. Elaboración propia.

Una vez definidos los criterios de evaluación, se procede a realizar la matriz R_{ij} (matriz absoluta) en la Tabla 18, metodología objetiva (Tabla 19), metodología subjetiva (Tabla 20 y Tabla 21), matriz de modelo definitivo (Tabla 22), y la matriz relativa (Tabla 23).

Tabla 18.

Matriz Rij (matriz absoluta)

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
1	1	2	2	5	4	1	5	5	4
2	5	1	2	5	1	3	2	3	1
3	2	1	1	5	1	1	2	3	4
4	1	5	1	1	5	2	5	5	1
5	2	1	4	5	1	5	2	5	3
6	1	5	2	5	5	1	5	5	2
7	2	5	2	5	3	2	1	1	3
8	3	3	4	5	2	5	1	1	1
9	5	5	3	3	5	2	5	5	1

Nota. La tabla presenta la matriz absoluta de la técnica de multicriterio de las causas identificadas. Elaboración propia.

- **Metodología objetiva**

Tabla 19.

Matriz del modelo objetivo

OBJETIVO	Ei	Di	Soi
C1	-10,718	11,718	0,080
C2	-16,781	17,781	0,122
C3	-9,071	10,071	0,069
C4	-27,137	28,137	0,193
C5	-15,642	16,642	0,114
C6	-10,718	11,718	0,080
C7	-16,543	17,543	0,120
C8	-21,312	22,312	0,153
C9	-8,678	9,678	0,066
Total		145,599	1,000

Nota. La tabla muestra la matriz del modelo objetivo donde se calcula la entropía (Ei) y la dispersión (Di). Elaboración propia.

- Metodología subjetiva

Tabla 20.

Triángulo de Fuller

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C2	0	1	1	0	1	0	0	1	0
C3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C4	0	1	1	1	1	1	1	1	1
C5	0	1	0	0	1	0	0	1	0
C6	0	1	0	0	1	1	0	1	0
C7	1	1	1	1	1	1	1	1	1
C8	0	0	0	0	0	0	1	1	0
C9	0	1	1	1	1	1	1	1	1

Nota. La tabla presenta el triángulo de Fuller de la metodología subjetiva. Elaboración propia.

Tabla 21.

Matriz del modelo subjetivo

SUBJETIVO	Pij	Sbi
C1	9	0,161
C2	4	0,071
C3	9	0,161
C4	8	0,143
C5	3	0,054
C6	4	0,071
C7	9	0,161
C8	2	0,036
C9	8	0,143
Total	56	1,000

Nota. La tabla muestra la matriz del modelo subjetivo donde se calcula la sumatoria de las filas del triángulo de Fuller. Elaboración propia.

Tabla 22.*Matriz del modelo definitivo*

DEFINITIVO	Soi * Sbj	Sdi
C1	0,013	0,121
C2	0,009	0,082
C3	0,011	0,104
C4	0,028	0,259
C5	0,006	0,057
C6	0,006	0,054
C7	0,019	0,182
C8	0,005	0,051
C9	0,009	0,089
Total	0,107	1,000

Nota. La tabla presenta la matriz del modelo definitivo donde se unen los modelos objetivo y subjetivo y se obtienen los valores de ponderación para cada criterio. Elaboración propia.

Tabla 23.*Matriz relativa*

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	Total
1	0,121	0,164	0,209	1,295	0,230	0,054	0,908	0,257	0,356	3,594
2	0,607	0,082	0,209	1,295	0,057	0,162	0,363	0,154	0,089	3,018
3	0,243	0,082	0,104	1,295	0,057	0,054	0,363	0,154	0,356	2,709
4	0,121	0,409	0,104	0,259	0,287	0,108	0,908	0,257	0,089	2,543
5	0,243	0,082	0,417	1,295	0,057	0,270	0,363	0,257	0,267	3,251
6	0,121	0,409	0,209	1,295	0,287	0,054	0,908	0,257	0,178	3,719
7	0,243	0,409	0,209	1,295	0,172	0,108	0,182	0,051	0,267	2,936
8	0,364	0,246	0,417	1,295	0,115	0,270	0,182	0,051	0,089	3,029
9	0,607	0,409	0,313	0,777	0,287	0,108	0,908	0,257	0,089	3,755

Nota. La tabla muestra la matriz relativa que es la que indica el valor máximo y el valor mínimo para establecer los intervalos para la clasificación de las causas. Elaboración propia.

Para determinar la priorización de las causas, se deben establecer los rangos mediante el valor máximo y el valor mínimo del total de cada causa en la matriz relativa (Tabla 22), y con ellos hallar la amplitud del intervalo con la siguiente ecuación.

Ecuación 10. Amplitud de intervalo

$$\text{Amplitud de intervalo} = \frac{\text{Valor M\u00e1ximo} - \text{Valor M\u00ednimo}}{4} \quad [7]$$

Al revisar los datos, el valor m\u00e1ximo es de 3,755 y el valor m\u00ednimo es de 2,543; al reemplazar esos valores en la f\u00f3rmula, la amplitud de los intervalos es de 0,303. En la Tabla 24, se observan los intervalos y la clasificaci\u00f3n para cada uno.

Tabla 24.

Clasificaci\u00f3n de los intervalos

Intervalo	Clasificaci\u00f3n
2,543 - 2,846	Cr\u00edtico
2,846 - 3,149	Activo
3,149 - 3,452	Pasivo
3,452 - 3,755	Indiferente

Nota. La tabla muestra la clasificaci\u00f3n de cada intervalo. Elaboraci\u00f3n propia.

Finalmente, se priorizaron las causas clasificando el resultado de la matriz relativa seg\u00fan los intervalos calculados (Tabla 25).

Tabla 25.

Priorización de causas

N°	Causa	Total	Clasificación
1	Falta de compromiso por parte del personal	3,594	Indiferente
2	Mezcla de material original con material recuperado	3,018	Activo
3	Cambios de referencia y material continuamente	2,709	Crítico
4	Deficiente mantenimiento a la maquinaria	2,543	Crítico
5	Cargue de material de piso	3,251	Pasivo
6	Mala parametrización de la máquina	3,719	Indiferente
7	Materia prima fuera de especificaciones	2,936	Activo
8	Mal almacenamiento de la materia prima o del producto terminado	3,029	Activo
9	Cortes imprevistos de energía	3,755	Indiferente

Nota. Priorización de las causas que generan el alto nivel de desperdicio en la línea de inyección de preformas. Elaboración propia.

En la Tabla 25 se observa que las causas críticas son los cambios de referencia y material continuamente, y el deficiente mantenimiento a la maquinaria. Sin embargo, la más crítica de las dos es la causa número 4, que es la que tiene el valor mínimo.

5. METODOLOGÍAS DE MEJORA CONTINUA

Las metodologías de mejora continua se enfocan en controlar continuamente la ejecución de un proceso determinado para disolver un problema. También, se utilizan para aumentar la productividad, eficiencia y efectividad de un proceso. Se realiza por medio de cambios planeados, organizados y sistematizados para la disminución de pérdidas y reducción de costos de producción.

Por otro lado, la Universidad Panamericana argumenta que “las metodologías de mejora continua se refieren a los sistemas de implementación, técnicas de control o filosofías, con las que a través de diversos fundamentos, se busca la generación de cambios positivos en los flujos de trabajo de las organizaciones” [8], ya que son procedimientos que contribuyen a un fin.

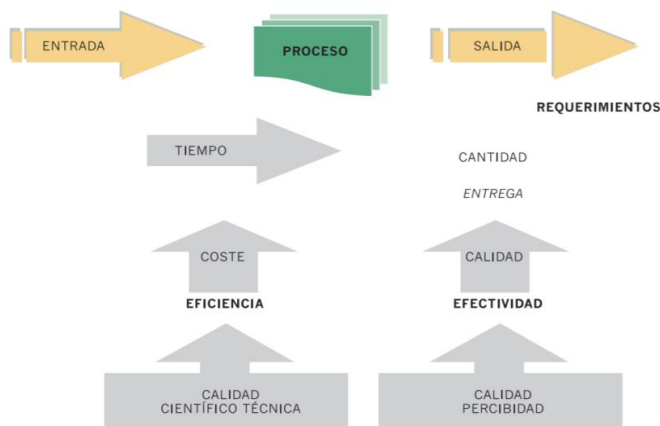
Existen cinco niveles de mejora continua: diagnóstico de situación, planificación del plan de mejora, ejecución, chequeo o verificación y evaluación de toda la metodología aplicada [28].

- **Diagnóstico de situación.** Consiste en la verificación de condiciones y compromiso de los colaboradores para su mejora continua. Para realizar un diagnóstico se puede utilizar diferentes herramientas como encuestas de satisfacción, entrevistas, observación directa, Método Delphi, datos históricos.
- **Planificación del plan de mejora.** El plan de mejora tiene como finalidad mejorar el proceso de forma constante, influenciando positivamente la mentalidad de los involucrados. Por otro lado se establecerán objetivos, metas y se implementarán procedimientos que sean convenientes en cada etapa del proceso previamente diseñado. Para esto, la organización al desarrollar el plan de mejora, tendrá que trabajar en equipo, conociendo su responsabilidad en dicho proceso para alcanzar la excelencia.

- **Ejecución.** Consiste en efectuar y proceder dichos cambios planeados y organizados por la organización. Así mismo, es de gran importancia contabilizar el tiempo de cada tramo del proceso desde el inicio hasta el final e identificar el lugar más apropiado donde se ejecutará dicho procedimiento, teniendo en cuenta su eficiencia y efectividad. Para esto, es importante “contar con un Sistema de Información Integral en el que se contemplen las diferentes dimensiones de la calidad” [29]. En la Figura 8 se muestra el proceso de ejecución.

Figura 8.

Esquema del proceso de ejecución



Nota. La figura muestra el esquema del proceso de ejecución de una metodología de mejora continua. Tomado de http://www.ephpo.es/Procesos/GUIA_DISENO_MEJORA/5.pdf

- **Chequeo o verificación.** En esta etapa se revisa las acciones y procedimientos realizados, comparándolos con los planteados, para determinar la obtención de los resultados que se pactaron en el plan de mejora.
- **Evaluación de toda la metodología aplicada.** Consiste en identificar las causas de los errores, por medio de herramientas o métodos de mejora continua como

lo es el método de Control Estadístico de Procesos, Ingeniería de Métodos, Ingeniería de Valor, Total Quality Management, Lean Manufacturing, Seis Sigma, Lean Six sigma. Con el fin de buscar mejoras en el proceso constantemente.

5.1 Control Estadístico de Procesos

El Control Estadístico de Procesos (CEP) o Statistical Process Control (SPC) representa gráficamente el desempeño de un proceso en tiempo real mediante técnicas estadísticas. Con los gráficos de control se verifica que un proceso sea estable, es decir, que los datos sean de una sola distribución, para tomar acciones correctivas.

De acuerdo al autor del libro *Maynard's Industrial Engineering Handbook*, Kjell B. Zandin, el SPC “se utiliza generalmente en el contexto más estrecho de análisis de factores de calidad a nivel de proceso” [10].

Por otro lado, el autor del libro *Six Sigma Demystified*, Paul Keller, identifica algunos beneficios de esta técnica en su narración [30]:

- La capacidad para identificar el nivel operativo de causa común del proceso, es decir, las causas comunes de las variaciones del proceso entre el límite superior e inferior.
- Cuando el proceso está controlado, se puede predecir el comportamiento futuro del proceso.
- Una vez el proceso esté controlado, se calcula la variación natural del mismo. Con ello, se puede identificar las variaciones anormales que se presenten por causas especiales como un cambio de locación o un cambio en el proceso.

5.2 Kaizen

Kaizen es un término japonés que significa mejora continua. Para lograr una mejora todos los días se debe involucrar a todas las personas que hacen parte del proceso,

desde la alta dirección hasta el área operativa, para enfocar los esfuerzos hacia los objetivos de la organización.

Por lo general, se crean equipos Kaizen con líderes de áreas para implementar y realizar seguimiento de las propuestas de mejora continua, estos equipos son parte clave de cualquier iniciativa Lean. En el libro *Six Sigma Black Belt Handbook* [31] se presentan unas recomendaciones para los equipos Kaizen al momento de implementar esta técnica:

- El proyecto involucra operaciones de procesos físicos con posibles observaciones visuales.
- El análisis y la implementación se pueden realizar rápidamente (de tres a cinco días de duración).
- Céntrese en la eliminación de residuos, el tiempo de ciclo más rápido y el flujo.
- Los esfuerzos se deben vincular a estrategias comerciales significativas.
- Se tiene la oportunidad de desarrollar y ganar aceptación de la mejora continua en las personas afectadas por los cambios.

5.3 Ingeniería de Métodos

La Ingeniería de Métodos es una técnica sistemática para el diseño y mejora de los métodos de trabajo, mediante el análisis minucioso de cada elemento u operación para eliminar lo innecesario y estandarizar el método, los equipos y las condiciones de trabajo necesarios.

Kjell B. Zandin, autor del libro *Maynard's Industrial Engineering Handbook*, afirma que la Ingeniería de Métodos proporciona una metodología para "(a) analizar la situación actual del trabajo, identificar problemas, sacar ideas de mejora y seleccionar las mejores, y luego (b) después de la implementación de las mejoras, estandarizar los nuevos métodos, asegurar su adopción y medición y evaluación de su impacto" [10].

El objetivo de esta metodología es aumentar la productividad, a través de la expansión de la capacidad del proceso, la mejora de la flexibilidad del proceso, el mantenimiento del método de trabajo, la mejora en la ergonomía, unas condiciones de trabajo mejoradas, entre otros.

5.4 Ingeniería de Valor

La Ingeniería de Valor tiene como objetivo generar alternativas confiables y menos costosas que aseguren lograr el propósito de un proyecto, sin sacrificar seguridad, calidad y atributos ambientales, con la ayuda de un equipo multidisciplinario.

Esta técnica “no pretende criticar los diseños actuales o insinuar que el método normal del proceso no está proporcionando resultados aceptables” [32]. Lo que se busca es una combinación óptima de rendimiento, capacidad, programación, seguridad, calidad y costos con alternativas del diseño actual.

5.5 Total Quality Management

El Total Quality Management (TQM) es un enfoque sistemático que integra todas las actividades relacionadas con calidad en diferentes etapas del proceso. Anteriormente, se medía la calidad del producto en la etapa final del proceso.

El TQM abarca todo el proceso, desde lo administrativo hasta lo operativo, y se debe centrar en la necesidad de ofrecer productos que cumplan con las especificaciones y superen las expectativas del cliente.

Según el libro de *Total Quality Management for Engineers* [12], esta metodología tiene el fin de involucrar la calidad en cada actividad y hacerla responsabilidad de todos para aumentar la eficiencia, mediante procedimientos y documentación apropiados que apoyarán a cumplir con las especificaciones requeridas.

5.6 Lean Manufacturing

El Lean Manufacturing es una metodología que combina varias técnicas que permiten reducir y eliminar los siete desperdicios (sobreproducción, esperas, transporte, inventario, movimientos, reproceso y defectos), cumpliendo con los requerimientos del cliente a los costos más bajos posibles.

Esta metodología nace del Sistema de Producción Toyota (TPS), que se enfoca en incrementar la eficiencia a través del Kaizen, es decir, mediante mejora continua. El TPS, y por lo tanto, el Lean Manufacturing se construyen en dos pilares:

- **Justo a Tiempo (JIT).** El JIT es una técnica que se encarga de entregar la cantidad exacta, en el momento correcto y en el lugar oportuno. Esta técnica representa el control permanente de la variación.
- **Jidoka.** El término japonés, Jidoka, significa la automatización con el toque humano, es decir, la relación entre máquina y mano de obra. Se hace uso del recurso humano en tareas únicas que pueden realizar y las máquinas en la regulación de la calidad.

Para la implementación del Lean se deben tener en cuenta dos aspectos que toman prioridad: 1) satisfacer la demanda del mercado con un plan maestro que refleje los pedidos reales de los clientes, y 2) lograr pronósticos y presupuestos precisos, sin incurrir en variaciones desfavorables.

Lonnie Wilson, autor del libro *How to Implement Lean Manufacturing*, plantea que un proceso puede ejecutarse usando menos material, menos inversión, menos inventario, menos espacio y menos personas. Además, un proceso Lean “se caracteriza por un flujo y previsibilidad que reduce drásticamente las incertidumbres y el caos de las plantas de fabricación típicas” [33].

5.7 Seis Sigma

El Seis Sigma es una metodología que se puede aplicar a cualquier proceso para eliminar las causas fundamentales de los defectos y los costos asociados a ello. Esta metodología mide estadísticamente la variación del proceso y se representa con la letra griega σ , que es el símbolo de la desviación estándar.

“El Seis Sigma es un proceso que permite a las empresas mejorar drásticamente sus resultados al diseñar y monitorear las actividades diarias, de manera que minimizan el desperdicio y los recursos al tiempo que aumentan la satisfacción del cliente” [34]. Una de las razones para usar Seis Sigma es el valor y el impacto de comprometerse con la calidad como objetivo de una manera muy práctica, debido a que el nivel de calidad debe ser de 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO).

El método o el ciclo que usa el Seis Sigma es el DMAIC, un acrónimo para las etapas de *definir, medir, analizar, mejorar y controlar* un proyecto:

- **D.** Definir las metas de la actividad de mejora.
- **M.** Medir el sistema existente.
- **A.** Analizar el sistema para identificar maneras de eliminar la brecha entre el proceso actual y el proceso con la meta deseada.
- **I.** Mejorar el sistema.
- **C.** Controlar el nuevo sistema.

5.8 Lean Six Sigma

La metodología Lean Six Sigma (LSS) es la combinación entre el Lean Manufacturing y el Seis Sigma, por lo que tiene la ventaja de ambas herramientas: eliminar el desperdicio y acelerar el proceso del Lean, y la reducción de la variación del Seis Sigma.

Según Jay Arthur, autor del libro *Lean Six Sigma Demystified*, hay 10 formas para saber si una organización necesita aplicar la metodología Lean Six Sigma en sus procesos [35]:

1. El crecimiento se estanca o se contrae.
2. Los márgenes de rentabilidad son delgados.
3. Ventas planas o caídas.
4. Los clientes cambian a sus competidores.
5. Los costos de garantía aumentan.
6. Los clientes devuelven productos.
7. Culpar a los empleados.
8. Culpar a los clientes.
9. Los empleados se quejan de los obstáculos para atender a los clientes.
10. Los clientes se quejan de sus productos o servicios.

El Lean Six Sigma, al igual que el Seis Sigma, utiliza el ciclo DMAIC para reducir la variación y mejorar un producto o un servicio. Algunas de las características de esta metodología son: se enfoca en las necesidades del cliente, el uso de datos y herramientas estadísticas para identificar las causas raíz, la creatividad en el desarrollo de soluciones, el énfasis en establecer controles para mantener las mejoras, el esfuerzo interminable para mejorar los procesos y un fuerte apoyo de la gerencia.

En la Tabla 26 se presentan los objetivos y las características de los métodos nombrados anteriormente.

Tabla 26.

Descripción de las metodologías de mejora continua

Metódo	Objetivo	Concepto	Características	Herramienta
Control estadístico de procesos	Reducir o mantener los límites propuestos de los productos fabricados	Es un control estadístico que determina si el resultado de un proceso concuerda con el diseño del producto	Determina la elaboración de productos o servicios defectuosos	Gráficos de control
			Compara los desempeños	
			Recolecta datos y los interpreta	
			Indica el comportamiento de los procesos de producción	
			Mejora la calidad de los productos al poder reaccionar en tiempo real evitando defectos	
Kaizen	Eliminar las actividades innecesarias y las operaciones que no le agregan valor al producto	Es una metodología que se basa en la mejora continua para mejorar un proceso	Se enfoca en las necesidades del cliente	Diagrama de Pareto
			Se centra en cambiar la cultura de la organización a la mejora continua	
			Aumenta la competitividad	
			Mejora la calidad, los costos y tiempos de respuesta	
			Aumenta el compromiso del personal involucrado en el proceso	
Ingeniería de Métodos	Aumentar la productividad	Es una herramienta que se basa en el registro y examen crítico sistemático de la metodología existente y proyectada	Elimina cada elemento u operación innecesaria, para acercarse al método más rápido y efectivo	Registro de información en formatos normalizados
			Fomenta la utilización de máquinas, equipos, terrenos y edificios	
			Empieza por lo general y luego por lo específico, para hacer mediciones de productividad	
			Mejora productos	
			Estandariza y mejora los métodos, equipos y condiciones de trabajo	
Ingeniería de Valor	Generar rentabilidad	Es una técnica o método utilizado para identificar y organizar costos en el producto o servicio, tomando en cuenta el ciclo del proyecto	Analiza diferentes alternativas para mejorar los costos de un proyecto	Registro de información en formatos normalizados
			Mejora los requerimientos de calidad y desempeño (tiempo)	
			Identifica y elimina costos innecesarios en el diseño, prueba, fabricación, construcción, operaciones, mantenimiento y prácticas	
			Está dirigido al análisis de materiales, sistemas y procesos	
Total Quality Management (TQM)	Aumentar la eficiencia, manteniendo la calidad del producto	Es un conjunto de herramientas, técnicas y procedimientos para ofrecer productos que cumplan con las especificaciones y superen las expectativas del cliente	Mejorar la eficiencia, confiabilidad y calidad	Puntos de control en las diferentes etapas de la producción
			Reducir o eliminar la variación de un proceso de producción o sistema de prestación de servicios	
			Cumplir con las expectativas del cliente	
			Reducir costos resultantes de una mala calidad	
			Aumentar la eficiencia de producción	
			Analiza diferentes alternativas para mejorar los costos de un proyecto	

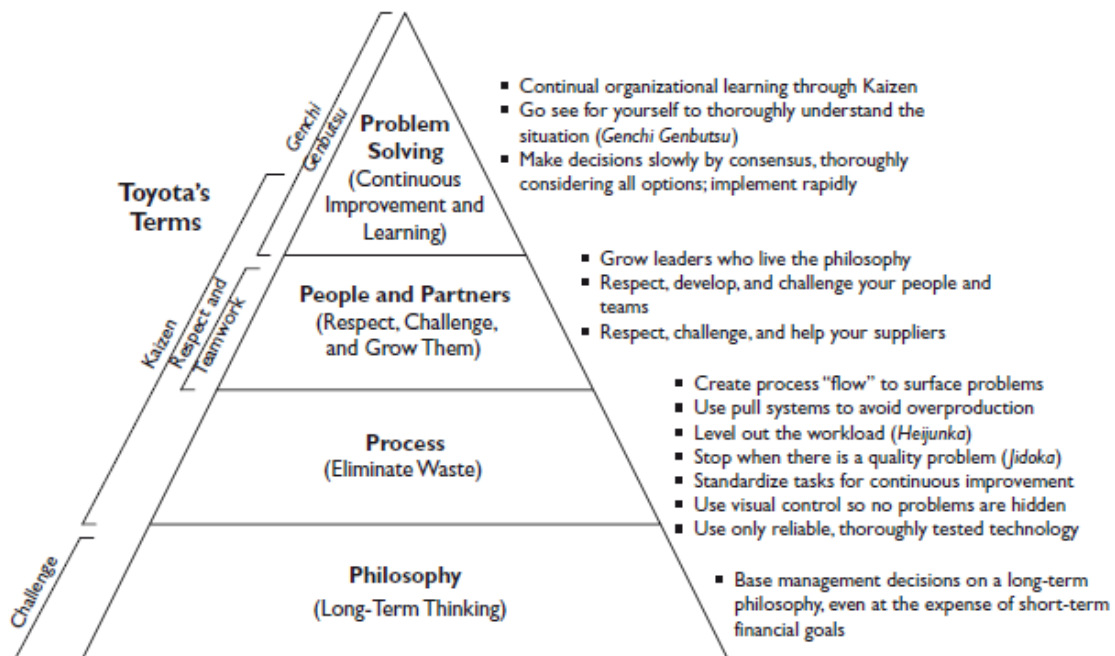
Metódo	Objetivo	Concepto	Características	Herramienta
Lean Manufacturing	Optimizar los procedimientos de producción y eliminar los desperdicios	Es un conjunto de técnicas desarrolladas para mejorar y optimizar los procesos operativos	Minimizar el desperdicio	Kaizen
			Reducir tiempos	Justo a tiempo
			Disminuir productos defectuosos	SMED
			Aumentar producción	5S
			Optimizar maquinarias, personas e inventarios	TPM
Six sigma	Disminuir la variación de los procesos y reducir los defectos	Es una metodología que tiene el potencial para aumentar la calidad, el rendimiento y la productividad	Minimizar los defectos por millón de unidades producidas	Cuadros estadísticos de control
			Aporta soluciones a corto plazo de problemas repetitivos	
			Clasifica las causas principales de los errores de un proceso para encontrar las mejores soluciones y evitar su reaparición	
			Esta compuesta por cinco fases: Definir, medir, analizar, mejorar y controlar (DMAIC)	
			Representa el número de desviaciones estándar obtenidas a la salida del proceso	
			Aumenta su rentabilidad y mejora la calidad de sus productos y servicios	
Lean Six Sigma	Mejorar los procesos contemplando todos los aspectos de las metodologías de Lean Manufacturing y Six Sigma	Es una metodología que fusionó Lean Manufacturing y Six Sigma, para obtener el nacimiento de una nueva, para proporcionar los medios necesarios para mantener los procesos bajo control	Elimina el desperdicio	Cuadros estadísticos de control
			Reduce los costos de producción	5S
			Aumenta la productividad	Poka Yoke
			Mejora la seguridad en el proceso	Tiempo Takt (TT)
			Reduce el tiempo de salida al mercado	TPM
			Mejora la calidad del producto y rendimientos	Justo a tiempo
			Mejora la eficiencia de los procesos	Kanban
			Satisfacer al cliente	Kaizen
Aumenta la rentabilidad				

Nota. La tabla describe el objetivo, el concepto, las características y las herramientas utilizadas en cada una de las metodologías de mejora continua. Elaboración propia basada en <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2205/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=11&sid=169e24e3-13d9-4dd8-a2e4-b226b0763fd6%40pdc-v-sessmgr01>, https://docs.google.com/document/d/1W8su3UUtF_SFiceuGMOzZ_LN4ICD_qy18eQWb4liaWg/edit?hl=es, <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/ingenieria-de-metodos/que-es-la-ingenieria-de-metodos/> y https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2018/01/art_9.pdf

De acuerdo a las características y a los objetivos de cada una de las metodologías, se seleccionó la más apropiada para alcanzar el objetivo del proyecto: eliminar el desperdicio de la línea de inyección de preformas de Iberplast. Para ello, se tuvieron en cuenta unos criterios de evaluación basados en las 4P del modelo Toyota (Figura 9), debido a que Toyota fue una de las empresas con altos niveles de calidad y ha sido un modelo a seguir para todas las organizaciones por su filosofía de eliminación de desperdicio.

Figura 9.

Pirámide de las 4P del modelo Toyota



Nota. La figura muestra la pirámide de las 4P del modelo Toyota, donde las “P” significan Filosofía (Philosophy), Procesos (Process), Personas y Socios (People and Partners) y Resolución de Problemas (Problem Solving). Tomado de <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2056/content/book/9780071392310/chapter/chapter1#/ch01lev1sec02>.

Entonces, según lo definido en el nivel Process (Eliminate Waste) de las 4P del modelo Toyota, se establecieron los criterios básicos para la evaluación de una metodología para eliminar el desperdicio:

- Crea flujos de procesos a problemas superficiales.
- Distribuye la carga de trabajo (Heijunka).
- Estandariza tareas para el mejoramiento continuo.
- Usa controles visuales para no esconder los problemas.
- Involucra a todo el personal, desde el estratégico al operativo.
- Se enfoca en la mejora continua.

Para la evaluación, se determinó la asignación de pesos uniformes a estos seis (6) criterios, debido a que no se especifica qué criterio es más importante que otro. Además, se identificó cada metodología con una letra (Tabla 27) para realizar una matriz de ponderación.

Tabla 27.

Identificación de las metodologías

Letra	Metodología
A	Control Estadístico de Procesos
B	Kaizen
C	Ingeniería de Métodos
D	Ingeniería de Valor
E	Total Quality Management
F	Lean Manufacturing
G	Six sigma
H	Lean Six Sigma

Nota. La tabla presenta la letra con la que se identificará cada metodología en la matriz de ponderación. Elaboración propia.

A continuación, se evidencia la matriz de ponderación realizada para seleccionar la metodología que mejor se ajusta al objetivo general del proyecto (Tabla 28). Cada metodología se calificó con un cero (0) si no cumple con el criterio y con un uno (1) si cumple con el criterio.

Tabla 28.

Matriz de ponderación para seleccionar una metodología

Criterios de evaluación	Peso	A	B	C	D	E	F	G	H
Crea flujos de procesos	16,7%	0	0	1	1	1	1	1	1
Distribuye la carga de trabajo	16,7%	0	1	1	0	0	1	0	1
Estandariza tareas	16,7%	0	0	1	1	0	0	0	1
Usa controles visuales	16,7%	1	0	0	0	0	1	1	1
Involucra a todo el personal	16,7%	1	1	0	0	1	1	1	1
Se enfoca en la mejora continua	16,7%	1	1	1	1	1	1	1	1
Total		0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,8	0,7	1,0

Nota. La tabla muestra la matriz de ponderación realizada para seleccionar la metodología de mejora continua que más se ajusta a cumplir el objetivo de reducir el desperdicio. Elaboración propia

De acuerdo a la matriz de ponderación, se seleccionó la metodología de Lean Six Sigma, debido a que ésta reúne las herramientas necesarias para abordar de la mejor forma el proyecto a desarrollar, debido a que permite mejorar la calidad, el rendimiento y la eficiencia, disminuyendo el tiempo de producción, los costos y eliminando los desperdicios para aumentar su rentabilidad. Adicionalmente a esto, aumenta la velocidad de los procesos para brindar una satisfacción al cliente, manteniendo la calidad del producto.

6. CARACTERIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología Lean Six Sigma es una combinación entre aceleración del proceso y calidad. Para obtener una mejor eficiencia y una mayor rentabilidad, se utiliza el Lean Manufacturing para reducir el desperdicio y el Seis Sigma para reducir la variación de un proceso.

El Lean se centra en identificar y eliminar las actividades que no agregan valor a los procesos. Estas actividades gastan recursos y generan defectos, eliminándolas se puede acelerar el proceso y reducir los costos. El Lean Manufacturing identificó siete (7) tipos de desperdicio:

1. **Sobreproducción.** Producir más de lo demandado o producir algo antes de que sea necesario puede resultar en exceso de inventario o vencimiento del producto.
2. **Esperas.** Es el tiempo, durante la realización del proceso productivo, en el que no se añade valor.
3. **Transporte.** Cualquier movimiento innecesario de productos y materias primas.
4. **Inventario.** Se refiere al stock acumulado por el sistema de producción y su movimiento dentro de la planta, que afecta a los materiales, el producto semielaborado y el producto terminado.
5. **Movimientos.** Todo movimiento de personas o equipamiento que no agrega valor.
6. **Reproceso.** Son los pasos innecesarios en las actividades de trabajo y no requeridos por el cliente para corregir errores.
7. **Defectos.** Son productos que no cumplen los requerimientos (internos o externos) del cliente, y además, incurren en costos adicionales por necesidad de repetir la producción.

Sin embargo, aunque el Lean agilice los procesos, no garantiza calidad de clase mundial. El hecho de que se centre en completar las actividades rápidamente sin una correcta verificación en los diferentes puntos del proceso, fomenta un entorno propenso

de errores. Por lo que, es cuando se requiere del Seis Sigma para la gestión de la calidad.

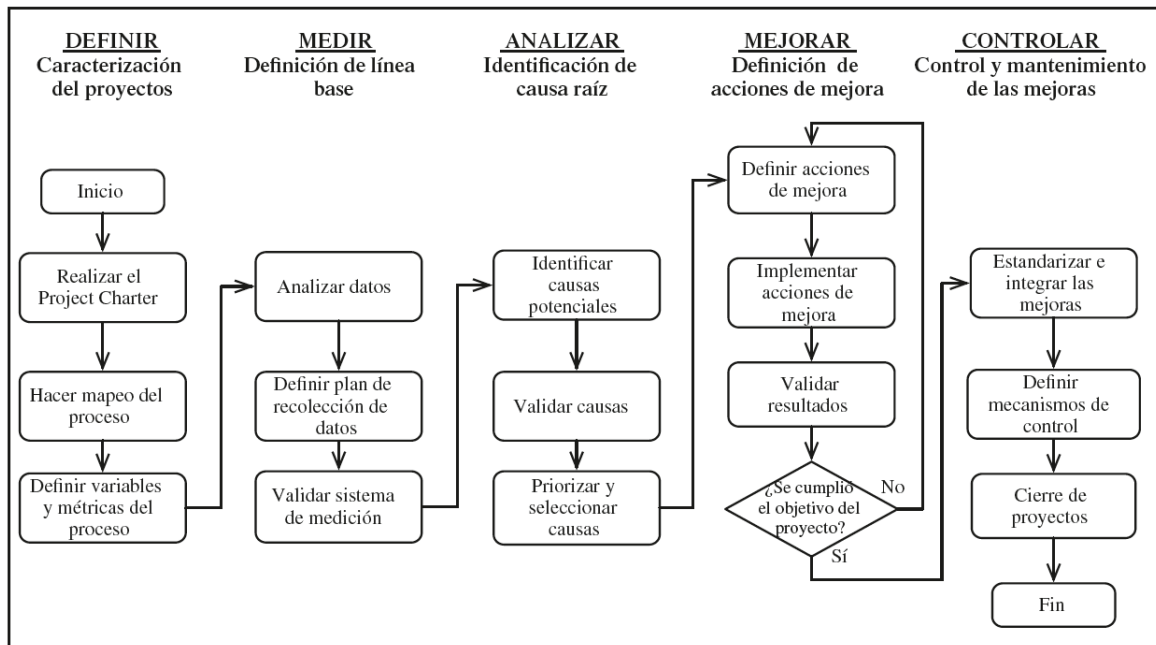
El Seis Sigma es una herramienta de calidad que se centra en la reducción del número de defectos en un proceso hasta llegar a los 3,4 defectos por millón de oportunidades (DPMO). Enfatiza en analizar la variación en los datos de entrada e identificar la causa raíz para determinar la fuente de los errores.

Para asegurar el éxito organizacional y del proceso, se hizo necesario combinar el Lean Manufacturing y el Seis Sigma. “Juntos, Lean y Six Sigma, trabajan a través del mapeo de procesos para modelar y automatizar los flujos de trabajo de calidad más eficientes posibles, lo que le permite a las organizaciones maximizar la productividad, al tiempo que elimina el desperdicio y reduce los costos” [36].

El Lean Six Sigma utiliza las mismas fases DMAIC del Seis Sigma, que fueron inspiradas en el ciclo de Deming o ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar). DMAIC es el acrónimo para definir, medir, analizar, mejorar y controlar (Figura 10).

Figura 10.

Ciclo DMAIC para Lean Six Sigma



Nota. La tabla muestra el proceso del ciclo DMAIC para implementar la metodología Lean Six Sigma. Tomado de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v22n2/art12.pdf>

6.1 Definir

La primera fase del ciclo es *definir* los aspectos generales del proyecto, como: título del proyecto, objetivo, el alcance, el planteamiento del problema, métricas, variables y actividades del proceso y otra información necesaria para obtener la caracterización del proyecto. Esta fase se compone de tres aspectos:

- **Realizar el Project Charter.** En el Project Charter o Carta del Proyecto se establecen los detalles claves del proyecto para comprender el planteamiento del problema, por lo que se indica el título del proyecto, el objetivo, la descripción del problema, el estado actual de las métricas (línea base), las metas, los beneficios y el equipo del proyecto. Un ejemplo de un Project Charter se muestra en la Figura 11.

Figura 11.

Ejemplo de un Project Charter

Project Charter: Order Processing Efficiency

Start Date: 9/17/07		Planned End Date: 3/17/08			
Problem/Project Description: Current capacity in Sales is constrained, while there are untapped opportunities for increased sales. Sales involvement in order processing should be limited to free up resource for lead follow-up and revenue generation. Errors and omissions in Order Processing data increases time to generate marketing & software renewal emails to clients and prospects, further draining Sales resources. Data correction requires senior sales staff, who might otherwise be engaged with clients, marketing efforts, or product development. Lost opportunity cost is significant.					
Project Scope: Limited to order processing of software products.					
Project Objectives & Goals:		Metric	Baseline	Goal	Benefits
Impact cycle time & costs		Cost/Order	\$40	\$20	\$27,000
➢ Reduce Order Processing cost 50%		Campgn. Cost	\$500	\$10	\$24,000
➢ Reduce email marketing costs 98%		% Renewal	x %	1.2x%	\$50,000
➢ Increase renewal rate 20%		Renewal \$	\$250,000	\$300,000	\$50,000
➢ Increase renewal revenue 20%					
Business Need	Customer Impact: Improved notification rate for renewals & upgrades; reduction in order processing cycle time.				
	Shareholder Impact: Reduced costs for order processing and marketing to existing clients; Increased capacity in sales and marketing; Increase in renewal rates.				
	Employee Impact: Clearer responsibilities; Less interruption in process flow.				
Project Sponsor:		Stakeholder Group:		Signature / Date	
Peter Keene, VP		Sales & Operations		<i>Peter Keene</i>	
Team Black Belt:					
Patrick Killihan		Operations		<i>Patrick Killihan</i>	
Team Members:					
Don Debuski		Sales		<i>Don Debuski</i>	
Helen Winkleham		Shipping & Packaging		<i>Helen Winkleham</i>	
Anne Sheppard		Accounting		<i>Anne Sheppard</i>	
Resources: Programming/IT Support; CRM database					

Nota. La figura muestra un ejemplo de un Project Chart sobre la eficiencia de procesamiento de pedidos. Tomado de <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2056/content/book/9780071746793/chapter/chapter4#ch04fig04>

- **Hacer un mapeo del proceso.** Se debe analizar el proceso a intervenir a profundidad antes de realizar alguna acción. En esta etapa se pueden utilizar herramientas como los diagramas de flujo, los mapas de proceso o SIPOC.
- **Identificar métricas del proceso.** Con base en el análisis del proceso, se identificarán las medidas claves sobre las cuales se enfocarán los esfuerzos para ejecutar el proyecto.

6.2 Medir

El Lean Six Sigma se caracteriza por el uso intensivo de datos e información, que se utilizan para el análisis de los procesos, el diseño de estrategias y la toma de decisiones. “En esta etapa se debe levantar una línea base, que sirva como un punto de partida para evaluar la efectividad de las mejoras alcanzadas con la consecución de cada proyecto” [37]. En esta fase se deben realizar las siguientes actividades:

- **Definir plan de recolección de datos.** Se debe diseñar un plan de recolección de datos basados en las métricas identificadas en la fase *definir*. Esto se realiza con el fin de recolectar información necesaria para realizar análisis estadístico que identifiquen la causa raíz.
- **Definir línea base.** Se debe definir el estado inicial del proceso mediante análisis de capacidades y de los cálculos de métricas Seis Sigma.

6.3 Analizar

En esta fase se debe identificar la causa raíz mediante la definición de las causas potenciales que mayor impacto tienen sobre el problema con ayuda de métodos estadísticos y el análisis del equipo de trabajo. Para ello, se deben realizar los siguientes pasos:

- **Identificar causas potenciales.** Se pueden utilizar herramientas como el diagrama de Ishikawa, el diagrama de afinidad o los cinco (5) por qué.

- **Analizar y validar causas.** Se pueden utilizar técnicas como el análisis de varianza (ANOVA), las pruebas de hipótesis, el diseño de experimentos (DOE), y Pareto.
- **Priorizar y seleccionar causas.** Después de validar las causas, se deben priorizar de acuerdo con la contribución de cada causa sobre el problema.

6.4 Mejorar

De acuerdo a la identificación de la causa raíz de la fase anterior, se deben definir acciones que le den solución al problema planteado y alcanzar el objetivo del proyecto. En este punto, las herramientas del Lean Manufacturing cobran relevancia, ya que permiten analizar y plantear soluciones de mejora. Al final, se debe tener un pan piloto para realizar el seguimiento y control. Las actividades claves de esta fase son:

- **Definir acciones de mejora.** Para esto se pueden utilizar métodos estadísticos como el diseño de experimentos (DOE) o la simulación. Además, se pueden utilizar las herramientas del Lean como las 5S's, Kanban, el Mantenimiento Total Productivo (TPM), el SMED, el balanceo de líneas, entre otros.
- **Implementar acciones de mejora.** Las acciones de mejora se deben alinear con el plan definido, ya que sobre eso, se hará el seguimiento para verificar el cumplimiento y tomar medidas correctivas. En este caso, la implementación se realizará por medio de simulación.
- **Validar resultados.** Se debe evaluar el impacto que tienen las acciones de mejora sobre el problema.

6.5 Controlar

En esta fase, se pretenden tener mecanismos que aseguren la implementación del plan definido a largo plazo. La clave de esta fase es definir los mecanismos de control que se van a utilizar.

Definir mecanismos de control. Se debe realizar seguimiento y mantener las mejoras alcanzadas. Para esto, hay que crear disciplina mediante capacitaciones, uso de herramientas visuales o uso de las 5S's.

7. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para la aplicación de la metodología Lean Six Sigma se hizo uso del software estadístico Minitab y del programa de simulación Promodel, ya que son herramientas que ayudan a pronosticar, predecir, o comparar alternativas, mediante el análisis de datos.

Además, se implementó el ciclo DMAIC del Seis Sigma para la definición, medición, análisis, mejora y control del problema planteado.

7.1 Definir

En esta fase se describió el problema, su alcance, el impacto que tiene y los beneficios proyectados. Además, se dio a conocer el proceso de estudio y se estipularon las métricas que se tuvieron en cuenta en el proyecto.

7.1.1 *Project Charter*

Los aspectos generales del proyecto como la descripción del problema, su alcance, el objetivo, el impacto y los beneficios proyectados, se plasmaron en un *Project Charter* o carta del proyecto que se evidencia en la Figura 12.

Figura 12.

Project Charter del proyecto

APLICACIÓN DE LEAN SIX SIGMA PARA REDUCIR EL DESPERDICIO DE LA LÍNEA DE INYECCIÓN DE PREFORMAS EN LA EMPRESA IBERPLAST S.A.				
IDENTIFICACIÓN				
Empresa: Iberoamericana de Plásticos S.A. Iberplast		Líder del Proyecto: Daniela Giselle Moreno		
Área: Inyección de Preformas		Malagón		
LÍNEA DE TIEMPO				
Fecha de Inicio		Fecha Planeada de Finalización		
10/08/2020		10/02/2021		
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA				
El Área de Inyección de Preformas PET de la empresa Iberplast S.A. es la que mayor desperdicio genera en la empresa con un promedio mensual de 2,11% en el último año, entre preforma recuperable, preforma no recuperable y torta. Debido a esto, se están presentando reprocesos al momento de moler las preformas recuperables para ingresar el material nuevamente al proceso, y cuando se separan las unidades no conformes de las conformes de las unidades de empaque que sobrepasan la cantidad de piezas defectuosas permitidas en las muestras de inspección.				
Alcance del Proyecto: Desde el cargue de material hasta la entrega al Almacén del producto terminado				
Objetivo del Proyecto: Reducir en un 30% el desperdicio de la línea de Inyección de Preformas mediante implementación de Lean Six Sigma	Beneficios proyectados			
	Métrica	Línea Base	Meta	Beneficio
	% desperdicio prom. mensual	2,11%	1,48%	-0,63%
	Kg desperdicio promedio mensual (PET)	65.162,39	45.613,67	- 19.548,72
	Costo por kilogramo de PET	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ -
Pérdida mensual por desperdicio	\$ 260.649.560	\$ 182.454.692	-\$ 78.194.868	
Impacto	Impacto en el cliente: Mejora en la calidad de la preforma, reducción del tiempo de entrega del producto, disminución de reclamaciones por producto no conforme			
	Impacto en el accionista: Reducción de costos en materia prima por disminución de defectos por millón de oportunidades (DPMO), aumento en un 30% de producción buena			
	Impacto en el trabajador: Menos interrupción en el flujo del proceso, motivación por un acercamiento al cumplimiento de la meta del desperdicio del 0,5%			
Recursos: Sistema SAP, plataforma propia de la empresa Iberos, programa estadístico Minitab				

Nota. Esta figura muestra el Project Charter del proyecto “aplicación de una metodología para reducir el desperdicio de la línea de Inyección de Preformas en la empresa Iberplast S.A.”. Elaboración propia.

Como se observa en el Project Chart, el objetivo planteado fue reducir en un 30% el desperdicio de la línea de inyección de preformas, de acuerdo a la solicitud del personal directivo de la empresa.

Además, la línea base de las métricas expuestas en el Project Charter, se explican a continuación:

- **Porcentaje (%) de desperdicio promedio mensual.** De acuerdo a datos históricos de la empresa sobre el porcentaje (%) de desperdicio del Área de Inyección de Preformas en el último año (Tabla 29), el promedio mensual fue de 2,11%.

Tabla 29.

Porcentaje de desperdicio de agosto 2019 – agosto 2020

AÑO	MES	% DESPERDICIO
2019	Agosto	2,72%
2019	Septiembre	2,59%
2019	Octubre	2,82%
2019	Noviembre	2,29%
2019	Diciembre	2,09%
2020	Enero	1,92%
2020	Febrero	1,97%
2020	Marzo	1,77%
2020	Abril	2,04%
2020	Mayo	1,90%
2020	Junio	1,54%
2020	Julio	1,90%
2020	Agosto	1,86%
	PROMEDIO	2,11%

Nota. La tabla expone el porcentaje de desperdicio desde agosto 2019 a agosto 2020 y el promedio mensual. Elaboración propia basada en datos históricos de la empresa.

- **Kilogramos de desperdicio de PET en promedio mensual.** Iberplast generó en promedio mensual 65.162,39 kg de desperdicio de PET en su línea de Inyección de Preformas, como se observa en la Tabla 30.

Tabla 30.

Kilogramos de desperdicio de agosto 2019 – agosto 2020

AÑO	MES	KG DESPERDICIO
2019	Agosto	90.911,00
2019	Septiembre	87.036,60
2019	Octubre	98.086,28
2019	Noviembre	90.632,85
2019	Diciembre	81.816,56
2020	Enero	62.597,00
2020	Febrero	54.139,93
2020	Marzo	53.495,68
2020	Abril	29.706,16
2020	Mayo	42.310,40
2020	Junio	50.330,40
2020	Julio	52.027,02
2020	Agosto	54.021,20
	PROMEDIO	65.162,39

Nota. La tabla muestra los kilogramos de desperdicio de PET desde agosto 2019 a agosto 2020 y el promedio mensual. Elaboración propia basada en datos históricos de la empresa.

- **Costo por kilogramo de PET.** De acuerdo a información de la empresa, el costo del kg de PET es de \$4.000.
- **Pérdida mensual por desperdicio.** La pérdida mensual se calculó multiplicando el costo del kg de PET por el desperdicio promedio mensual de kg de PET, como se muestra en la Ecuación 11.

Ecuación 11. Pérdida mensual por desperdicio

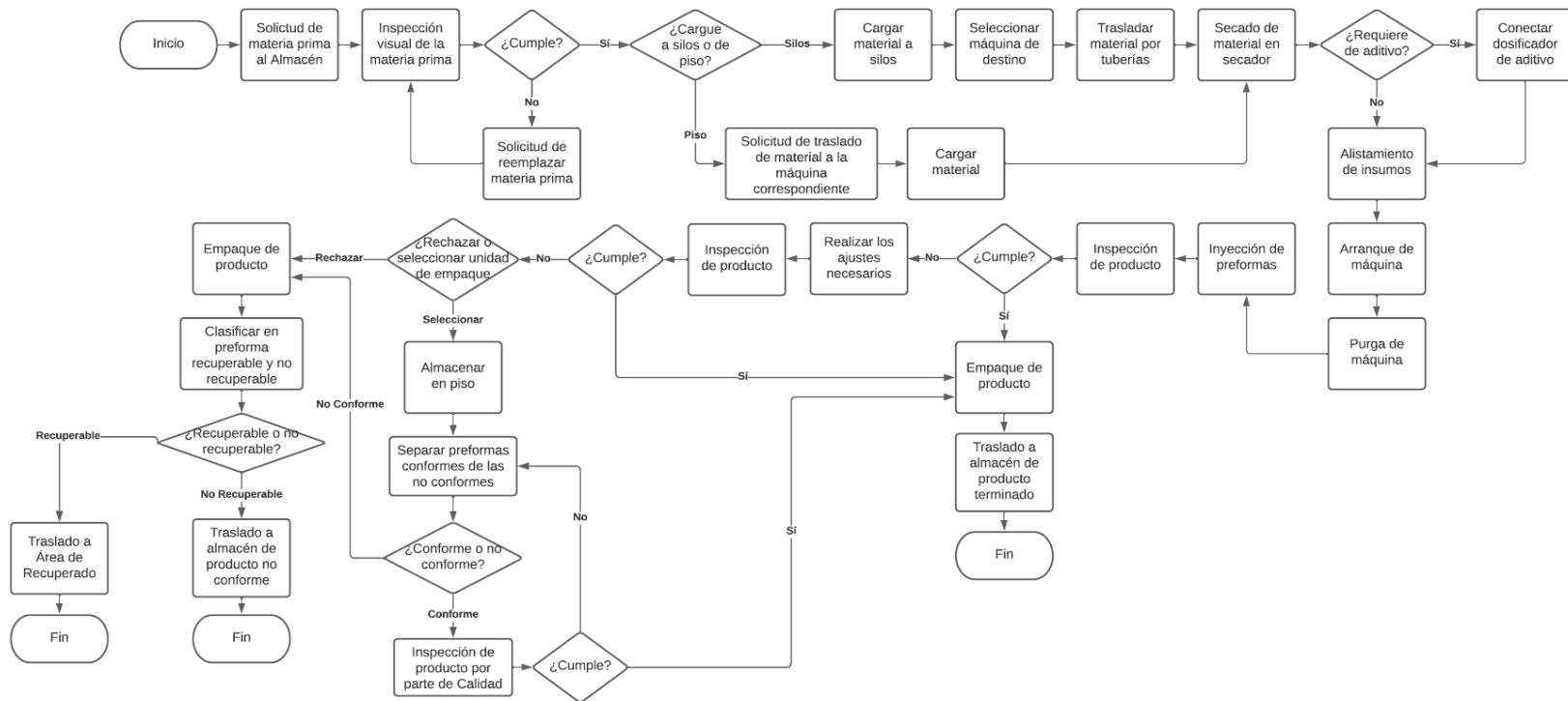
$$Pérdida\ mensual = Costo\ kg\ PET * Desp.\ Prom.\ mensual\ en\ kg$$

7.1.2 Mapeo del proceso

La línea de producción en la que se enfoca el proyecto es en la Inyección de Preformas, como se mencionó anteriormente. En la Figura 13, se expone el diagrama de flujo del proceso suministrado por la empresa.

Figura 13.

Diagrama de flujo de la Inyección de Preformas



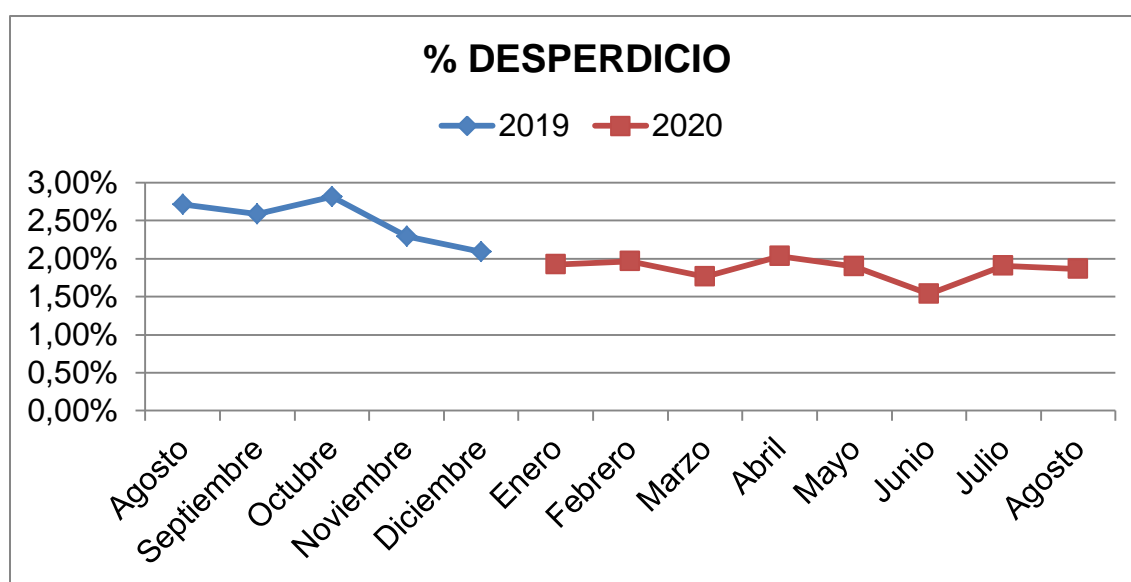
Nota. La figura muestra el diagrama de flujo de la inyección de preforma en la empresa Iberplast. Tomado de documentos normalizados por la empresa.

7.1.3 Métricas del proceso

De acuerdo al objetivo de reducir el desperdicio, la variable en la que se enfocó el proyecto es en el porcentaje de desperdicio, por lo que en la Figura 14 se presenta el comportamiento del desperdicio en el último año (agosto 2019 a agosto 2020).

Figura 14.

Comportamiento del desperdicio agosto 2019 – agosto 2020



Nota. La figura muestra el comportamiento del desperdicio en el último año en la línea de Inyección de Preformas. Elaboración propia basada en datos históricos de la empresa.

Sin embargo, debido a que Iberplast posee doce (12) máquinas inyectoras de preforma, el proyecto se enfocó en las máquinas que mayor porcentaje de desperdicio generaron, por lo que con la Tabla 31 se realizó un diagrama de Pareto para priorizarlas (Figura 15).

Tabla 31.

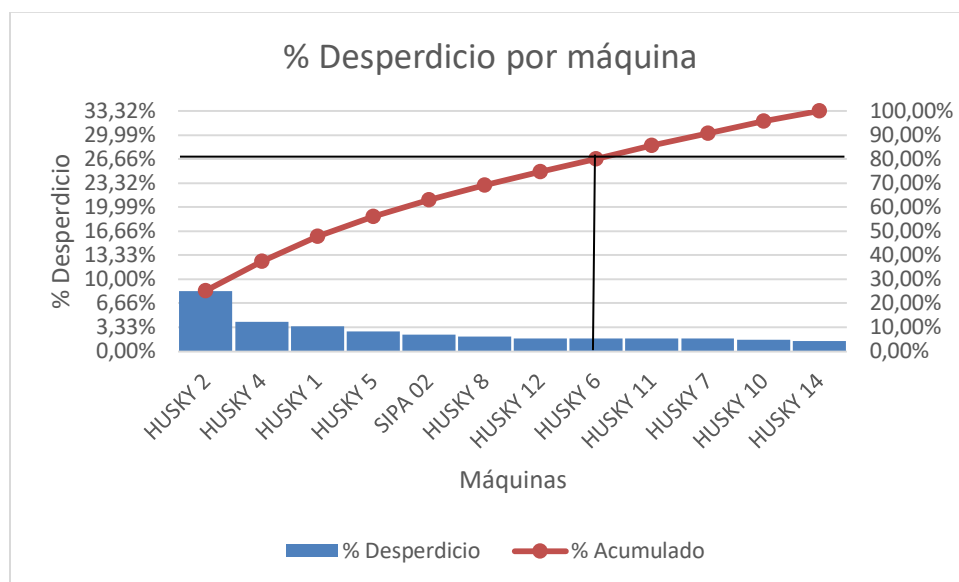
Desperdicio por máquinas

Máquina	% Desperdicio	% Frecuencia	% Acumulado
HUSKY 2	8,38%	25,14%	25,14%
HUSKY 4	4,07%	12,21%	37,36%
HUSKY 1	3,46%	10,40%	47,75%
HUSKY 5	2,78%	8,33%	56,09%
SIPA 02	2,29%	6,87%	62,96%
HUSKY 8	2,08%	6,23%	69,19%
HUSKY 12	1,82%	5,45%	74,64%
HUSKY 6	1,81%	5,44%	80,08%
HUSKY 11	1,80%	5,39%	85,47%
HUSKY 7	1,75%	5,26%	90,73%
HUSKY 10	1,64%	4,93%	95,67%
HUSKY 14	1,44%	4,33%	100,00%
TOTAL	33,32%	100,00%	

Nota. La tabla muestra el desperdicio por máquina de mayor a menor, su frecuencia absoluta y su frecuencia acumulada. Elaboración propia basada en datos históricos de la empresa.

Figura 15.

Diagrama de Pareto del desperdicio por máquina



Nota. La figura muestra el diagrama de Pareto del desperdicio por máquina inyectoras de preformas. Elaboración propia.

Como se evidencia en la Figura 15, las máquinas que representaron el 80% vital en la generación del desperdicio son las Husky 1, 2, 4, 5, 6, 8, 12 y la Sipa 02, es decir, ocho (8) máquinas inyectoras de las doce (12) que tiene Iberplast.

Sin embargo, ocho (8) máquinas representan el 67% de la capacidad instalada de la línea, es decir, la mayoría de las inyectoras. Por lo que la empresa opta por dividir el proyecto en dos fases:

1. Tomar las máquinas que generen el 50% del desperdicio, es decir, las máquinas Husky 1, 2 y 4.
2. Tomar el 30% restante del 80% vital, es decir, las máquinas Husky 5, 6, 8, 12 y la Sipa 02.

Para cada una de las fases se realizó un Project Charter con la descripción general y su meta. En la Figura 16 se muestra el Project Charter de la fase 1 y en la Figura 17 se evidencia el de la fase 2, tomando como línea base los datos de la Tabla 32.

Tabla 32.

Desperdicio en las fases propuestas por la empresa

Año	Mes	Fase 1		Fase 2	
		% Desperdicio	Kg Desperdicio	% Desperdicio	Kg Desperdicio
2019	Agosto	4,49%	17.793,90	2,75%	41.297,30
2019	Septiembre	5,81%	21.629,10	2,81%	38.480,61
2019	Octubre	4,45%	21.173,94	3,13%	47.101,02
2019	Noviembre	4,32%	18.609,20	2,15%	34.740,05
2019	Diciembre	4,78%	15.642,66	1,95%	32.288,30
2020	Enero	4,64%	10.375,70	1,94%	28.552,10
2020	Febrero	4,99%	8.978,70	1,86%	20.381,77
2020	Marzo	4,48%	11.125,00	1,68%	24.137,20
2020	Abril	4,24%	8.892,80	1,61%	9.559,38
2020	Mayo	7,82%	14.661,40	1,44%	14.993,96
2020	Junio	5,25%	7.679,30	1,33%	19.892,80
2020	Julio	5,59%	8.612,45	1,93%	23.196,27
2020	Agosto	5,32%	11.338,70	1,99%	24.756,30
	PROMEDIO	5,09%	13.577,91	2,04%	27.644,39

Nota. La tabla muestra el porcentaje y los kilogramos de desperdicio de las dos fases del proyecto propuestas por la empresa de agosto 2019 a agosto 2020. Elaboración propia basada en datos históricos suministrados por la empresa.

Figura 16.

Project Charter de la fase 1 del proyecto

APLICACIÓN DE LEAN SIX SIGMA PARA REDUCIR EL DESPERDICIO DE LAS MÁQUINAS HUSKY 1, HUSKY 2 Y HUSKY 4 EN IBERPLAST S.A.				
IDENTIFICACIÓN				
Empresa: Iberoamericana de Plásticos S.A. Iberplast		Líder del Proyecto: Daniela Giselle Moreno		
Área: Inyección de Preformas		Malagón		
LÍNEA DE TIEMPO				
Fecha de Inicio		Fecha Planeada de Finalización		
10/08/2020		15/11/2020		
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA				
<p>Las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4 generan el 50% del desperdicio de la línea de Inyección de Preformas en el último año, entre preforma recuperable, preforma no recuperable y torta. Debido a esto, se están presentando reprocesos al momento de moler las preformas recuperables para ingresar el material nuevamente al proceso, y cuando se separan las unidades no conformes de las conformes de las unidades de empaque que sobrepasan la cantidad de piezas defectuosas permitidas en las muestras de inspección.</p>				
Alcance del Proyecto: Desde el cargue de material hasta la entrega al Almacén del producto terminado				
Objetivo del Proyecto: Reducir en un 30% el desperdicio de las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4 mediante implementación de Lean Six Sigma	Beneficios proyectados			
	Métrica	Línea Base	Meta	Beneficio
	% desperdicio prom. mensual	5,09%	3,56%	-1,53%
	Kg desperdicio promedio mensual (PET)	13.557,91	9.490,54	- 4.067,37
	Costo por kilogramo de PET	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ -
Pérdida mensual por desperdicio	\$ 54.231.640	\$ 37.962.148	-\$ 16.269.492	
Impacto	Impacto en el cliente: Mejora en la calidad de la preforma, reducción del tiempo de entrega del producto, disminución de reclamaciones por producto no conforme			
	Impacto en el accionista: Reducción de costos en materia prima por disminución de defectos por millón de oportunidades (DPMO), aumento en un 30% de producción buena en las tres máquinas			
	Impacto en el trabajador: Menos interrupción en el flujo del proceso, motivación por un acercamiento al cumplimiento de la meta del desperdicio del 0,5%			
Recursos: Sistema SAP, plataforma propia de la empresa Iberos, programa estadístico Minitab				

Nota. Esta figura muestra el Project Charter de la fase 1 “aplicación de Lean Six Sigma para reducir el desperdicio de las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4 en Iberplast S.A.”. Elaboración propia.

Figura 17.

Project Charter de la fase 2 del proyecto

APLICACIÓN DE LEAN SIX SIGMA PARA REDUCIR EL DESPERDICIO DE LAS MÁQUINAS HUSKY 5, 6, 8, 12 Y SIPA 02 EN IBERPLAST S.A.				
IDENTIFICACIÓN				
Empresa: Iberoamericana de Plásticos S.A. Iberplast		Líder del Proyecto: Daniela Giselle Moreno		
Área: Inyección de Preformas		Malagón		
LÍNEA DE TIEMPO				
Fecha de Inicio		Fecha Planeada de Finalización		
16/11/2020		10/02/2021		
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA				
Las máquinas Husky 5, Husky 6, Husky 8, Husky 12 y Sipa 02 son las que generan el 30% de desperdicio después de la Husky 1, Husky 2 y Husky 4, para completar el 80% vital del desperdicio de la línea de Inyección de Preformas en el último año, entre preforma recuperable, preforma no recuperable y torta. Debido a esto, se están presentando reprocesos al momento de moler las preformas recuperables para ingresar el material nuevamente al proceso, y cuando se separan las unidades no conformes de las conformes de las unidades de empaque que sobrepasan la cantidad de piezas defectuosas permitidas en las muestras de inspección.				
Alcance del Proyecto: Desde el cargue de material hasta la entrega al Almacén del producto terminado				
Objetivo del Proyecto: Reducir en un 30% el desperdicio de las máquinas Husky 5, 6, 8, 12 y Sipa 02 mediante implementación de Lean Six Sigma	Beneficios proyectados			
	Métrica	Línea Base	Meta	Beneficio
	% desperdicio prom. mensual	2,04%	1,43%	-0,61%
	Kg desperdicio promedio mensual (PET)	27.644,39	19.351,07	- 8.293,32
	Costo por kilogramo de PET	\$ 4.000	\$ 4.000	\$ -
Pérdida mensual por desperdicio	\$ 110.577.560	\$ 77.404.292	-\$ 33.173.268	
Impacto	Impacto en el cliente: Mejora en la calidad de la preforma, reducción del tiempo de entrega del producto, disminución de reclamaciones por producto no conforme			
	Impacto en el accionista: Reducción de costos en materia prima por disminución de defectos por millón de oportunidades (DPMO), aumento en un 30% de producción buena en las cinco máquinas			
	Impacto en el trabajador: Menos interrupción en el flujo del proceso, motivación por un acercamiento al cumplimiento de la meta del desperdicio del 0,5%			
Recursos: Sistema SAP, plataforma propia de la empresa Iberos, programa estadístico Minitab				

Nota. Esta figura muestra el Project Charter de la fase 1 “aplicación de Lean Six Sigma para reducir el desperdicio de las máquinas Husky 5, 6, 8 12 y Sipa 02 en Iberplast S.A.”. Elaboración propia.

De acuerdo a lo anterior, este proyecto se enfoca en la fase uno (1) por el tiempo requerido para el desarrollo de la misma y por solicitud de la empresa.

7.2 Medir

En esta fase se recolectaron los datos que impactaron en la variable principal, el porcentaje de desperdicio, en las máquinas seleccionadas en la fase *definir* (Husky 1, Husky 2 y Husky 4). Además, se definió la línea base de algunas métricas del Seis Sigma en las que influyó el proyecto.

7.2.1 Recolección de datos

Existen varios métodos para la recolección de información como la observación directa, la encuesta, la entrevista, el método Delphi y el análisis documental. Para recolectar los datos relevantes para este proyecto, se optó por elegir la observación directa y el análisis documental.

Se escogió la observación directa, debido a que no se sesga la investigación a la opinión de los participantes y permite percibir las expresiones y las interacciones de las personas implicadas en el proceso. Por otro lado, también se hace uso del análisis documental, ya que la línea de inyección de preformas trabaja las 24 horas del día, los 7 días a la semana, por lo que el investigador no pudo estar presente cada vez que se generó una pieza defectuosa.

Para ello, se utilizó un formato que se diligenció por observación directa y con apoyo de un sistema de información propio de la empresa llamado *Iberos*, en el que se carga la información relevante a la producción turno a turno. En la Tabla 33, se muestra el formato utilizado para la recolección de datos.

Tabla 33.

Formato para la recolección de datos

Control de desperdicio de las máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast						
Fecha	Hora	Turno	Máquina	Causa desperdicio	Cantidad (Kg)	Observación

Nota. La tabla muestra el formato que se utilizó para la recolección de datos para el control del desperdicio de la Husky 1, 2 y 4. Elaboración propia basada en recomendaciones de la empresa.

Para la columna “Causa desperdicio” se tomaron en cuenta las causales que la empresa tiene estipuladas en su sistema operativo las cuales se exponen en la Tabla 34.

Tabla 34.

Causales de desperdicio

Causa desperdicio	Explicación
PREF-ARRANQUE	Desperdicio generado por arranques después de paradas planeadas como cambios de referencia
PREF-FALLA MECANICA	Falla mecánica en alguna de las partes de la máquina
PREF-CAMBIO DE COLOR	Desperdicio generado por los cambios de color
PREF-PRUEBAS DE CALIDAD	Pruebas realizadas
PREF-CONTAMINACION	Preforma contaminada
PREF-DE PISO	Preforma que se contamina por caer al piso
PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	Desperdicio por cortes de energía que paran las máquinas

Nota. La tabla muestra las causales del desperdicio definidas por la empresa. Tomado de información suministrada por la empresa.

En el Anexo 1, se exponen los datos recolectados en el formato desde el 01 de septiembre al 14 de octubre del 2020. La recolección de los datos se realizó en este período de tiempo para realizar un adecuado análisis de estos, ya que se planteó terminar la fase 1 un mes después, es decir, el día 15 de noviembre del 2020.

7.2.2 Línea base

Para realizar la prueba de normalidad de los datos, las gráficas de control, el análisis de capacidades y el nivel Sigma, se utilizó el programa estadístico Minitab con el porcentaje de desperdicio de las máquinas Husky 1, 2 y 4 (Tabla 35). El límite de especificación superior (LSE) que se utilizó fue de 8,78% y el límite de especificación inferior (LEI) fue de 1,4%, de acuerdo a datos suministrados por la empresa.

Tabla 35.

Desperdicio en las máquinas Husky 1, 2 y 4

AÑO	MES	% DESPERDICIO	KG DESPERDICIO
2019	Agosto	4,49%	17.793,90
2019	Septiembre	5,81%	21.629,10
2019	Octubre	4,45%	21.173,94
2019	Noviembre	4,32%	18.609,20
2019	Diciembre	4,78%	15.642,66
2020	Enero	4,64%	10.375,70
2020	Febrero	4,99%	8.978,70
2020	Marzo	4,48%	11.125,00
2020	Abril	4,24%	8.892,80
2020	Mayo	7,82%	14.661,40
2020	Junio	5,25%	7.679,30
2020	Julio	5,59%	8.612,45
2020	Agosto	5,32%	11.338,70
	PROMEDIO	5,09%	13.577,91

Nota. La tabla muestra el porcentaje y los kilogramos de desperdicio de las máquinas Husky 1, 2 y 4 de agosto 2019 a agosto 2020. Elaboración propia basada en datos históricos suministrados por la empresa.

Como se observa, el porcentaje promedio de desperdicio de las tres máquinas es de 5,09%, y de acuerdo a la meta del proyecto de reducir el desperdicio en un 30%, el objetivo utilizado fue de 3,56% para el análisis de capacidades y el nivel sigma.

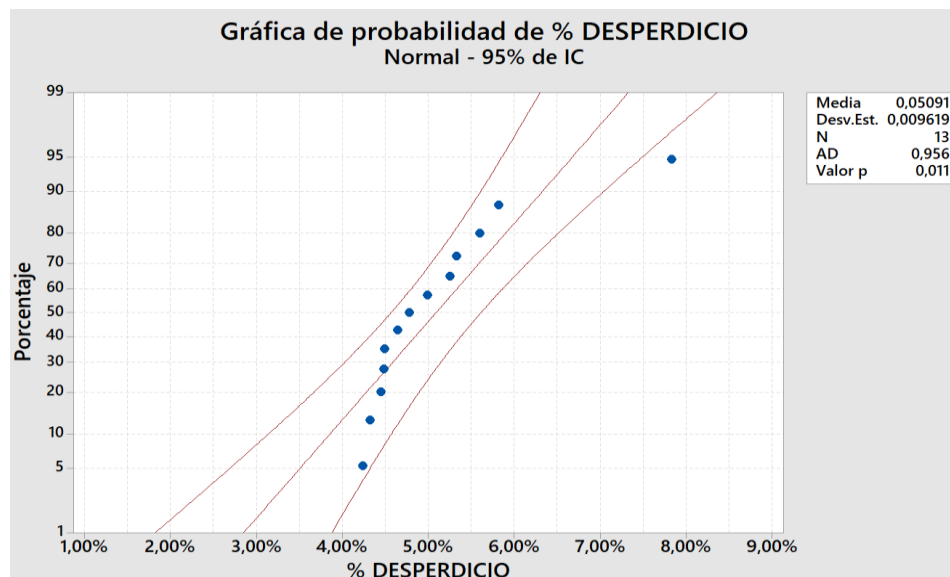
- **Prueba de normalidad.** Con ayuda del programa Minitab, se generó la gráfica de probabilidad (Figura 18) para analizar la normalidad de los datos de la Tabla 35, con un intervalo de confianza (IC) de 95%. Además, se determinó la media, la desviación estándar y el valor P de dicho desperdicio. Por lo que se plantean la hipótesis nula (H0) y la hipótesis alternativa (H1) para interpretar el resultado del valor P.

H0 → Los datos no presentan un comportamiento normal

H1 → Los datos presentan un comportamiento normal

Figura 18.

Prueba de normalidad



Nota. La figura muestra el comportamiento de los datos para verificar si tienden a la normalidad. Elaboración propia con el programa estadístico Minitab.

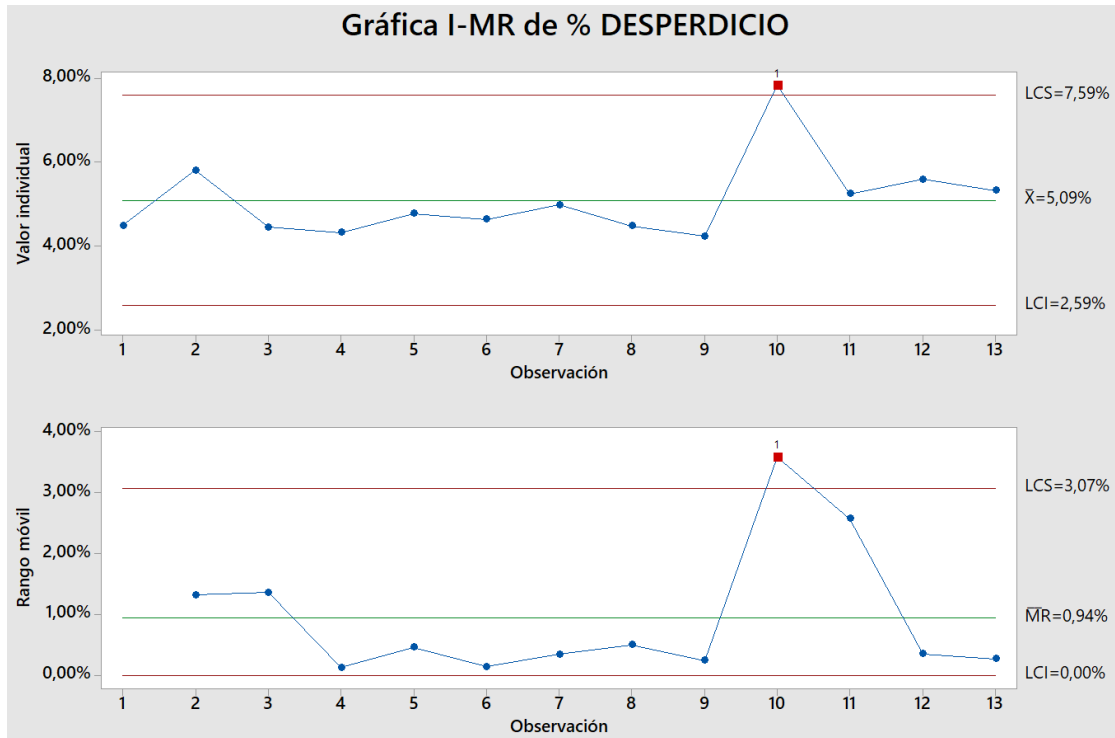
Por otro lado, se puede evidenciar que la Figura 18 tuvo un comportamiento ascendente que va del 4,32% hasta el 7,82% de desperdicio de cada una de las máquinas con su respectivo nivel de confianza. Su media fue del 5,09%, la desviación estándar fue de 0,096%, es decir, los datos no presentan dispersión ya que se acerca mucho a 0.

El estadístico de bondad de ajuste de Anderson-Darling (AD), se utilizó para calcular el valor P, ya que mide los datos de una distribución en particular; para esto se utilizó un porcentaje del 95% de intervalo de confianza para establecer que tan precisa es la estimación de la media y se encontró que el valor P fue del 1,1%, lo cual significa, que se acepta la hipótesis alterna (H_1) planteada por ser mayor al alfa α que de 0,5%.

- **Gráfica de control.** La gráfica de control a utilizar es la I-MR debido a que se tienen datos continuos de observaciones individuales que no están en subgrupos. En la gráfica se determinará si la variación del proceso está bajo control o si por el contrario necesita ser intervenida, monitoreando la estabilidad del proceso en el tiempo. Es por esto, que es necesario conocer el límite de control superior (LCS), el límite de control inferior (LCI), los rangos móviles de los datos estandarizados (MR) y su media (\bar{x}). Para esto se utilizó el mismo programa de la gráfica anterior y se realizó la gráfica de control (Figura 19), teniendo en cuenta los datos históricos del desperdicio durante un año de las 3 máquinas de estudio.

Figura 19.

Gráfica de control I-MR



Nota. La figura muestra la gráfica de control I-MR del porcentaje de desperdicio de las máquinas Husky 1, 2 y 4 desde agosto 2019 a agosto 2020. Elaboración propia con apoyo del programa estadístico Minitab.

En la gráfica de la media, se encontró que en el dato 10 (mayo 2020) se generó el mayor porcentaje de desperdicio (7,82%) y en el dato 9 (abril 2020) se generó el menor desperdicio (4,24%), con un promedio del 5,09%. En la gráfica del rango móvil, se observa que el rango móvil fue del 0,94% su límite de control superior fue del 3,07% y su límite de control inferior fue de 0,00%.

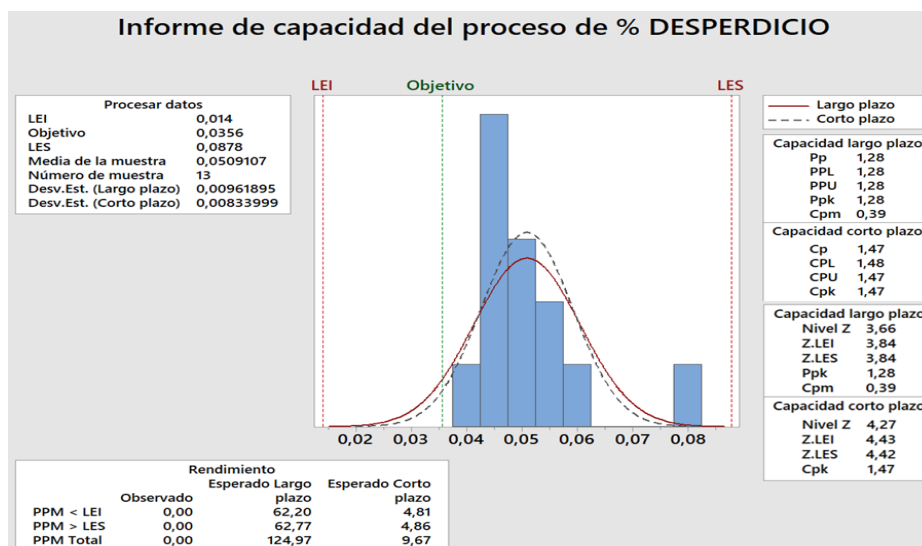
En la gráfica de control (Figura 19). Se observa que el dato con mayor desperdicio es el único punto que está por fuera del límite de control superior, lo que quiere decir que se encuentra fuera de control y se debe analizar la causa.

- **Análisis de capacidades y nivel Sigma.** El objetivo del proyecto es reducir el desperdicio del 5,09% al 3,56% que se encuentra dentro de los límites de especificación superior (0,0878) e inferior (0,014), los cuales definen el rango en donde es aceptable el porcentaje de desperdicio de las 3 máquinas.

En la Figura 20 se observa que su tolerancia y ubicación dentro de los límites de especificación están definidas por la capacidad a corto plazo (Cp) y la capacidad que alcanza el proceso (Cpk), los cuales son iguales (1,47), lo que significa que el proceso está centrado. Sin embargo, cuando se realizó la comparación entre la capacidad potencial (Cp) y el valor de referencia para un proceso adecuado (1,33), se encontró que el proceso puede ser mejorado reduciendo su variación.

Figura 20.

Análisis de capacidades y nivel Sigma



Nota. La figura muestra las capacidades y el nivel Sigma a corto y a largo plazo de los datos suministrados del porcentaje del desperdicio de las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4 desde agosto 2019 a agosto 2020. Elaboración propia con apoyo del programa estadístico Minitab.

Por otro lado, si se compara la capacidad a largo plazo (PPL) y el valor de referencia 1,33, se determina que el proceso puede mejorarse modificando su ubicación o reduciendo su variación. Igualmente, al comparar el PPL y la relación que compara dos valores: la dispersión unilateral, que se basa en el límite de especificación superior en la escala normal estándar (PPU), se observa que son iguales (1,28), lo que quiere decir que el proceso está centrado.

Así mismo, se comparó la dispersión de especificación con la dispersión de los datos del proceso (Cpm), considerando al mismo tiempo que tanto se desvían los datos del valor objetivo y se encontró que el Cpm se encuentra dentro de los límites de especificación, pero el proceso está fuera del objetivo, por lo tanto el Cpm, fue del 0,39.

Además, el nivel de calidad sigma del proceso a corto plazo fue del 4,27 y de largo plazo fue del 3,66 con un rendimiento del 99,8% y 93,32%, respectivamente: lo que significa que el rendimiento total del proceso a largo plazo es de 124,97 ppm y a corto plazo su rendimiento es del 9,67 ppm.

7.3 Analizar

En la fase de *analizar* se identificaron las causas potenciales mediante el uso de los 5 por qué, el análisis y la validación de las causas de los datos recolectados en la fase *medir* y la priorización de las causas que más contribuyeron al problema.

7.3.1 Causas potenciales

Para identificar las causas potenciales se utilizó una herramienta de análisis de causa-efecto, los 5 por qué, debido a que se determina la posible causa raíz del problema eficaz con el conocimiento de las personas implicadas en el proceso (Tabla 36).

Tabla 36.

Diagrama de los 5 por qué

CAUSAL	1° POR QUÉ	2° POR QUÉ	3° POR QUÉ	4° POR QUÉ	5° POR QUÉ
Arranques	Se demora la aprobación	Por presentación de diferentes defectos	Falta de mantenimiento	No se cumple el programa de mantenimientos	Falta de planeación en los mantenimientos
					Falta de personal
		La velocidad de respuesta a los ajustes no es inmediato	Es un proceso progresivo hasta que alcanza el set		
		Mala parametrización	Error humano		
		Falta de secado del material	Falla en el secador	Falta de mantenimiento	No se cumple el programa de mantenimientos
				Falla energía externa	
				Sílica deteriorada	Desgaste de piezas por uso

CAUSAL	1° POR QUÉ	2° POR QUÉ	3° POR QUÉ	4° POR QUÉ	5° POR QUÉ	
			Mala parametrización	Error humano		
Contaminación	Falta de limpieza de los mezcladores	No se cumple con el programa de limpieza	Falta de planeación	Sobredemanda de producto (no se puede entregar la máquina)		
			Falta de personal	Incapacidades, aislamientos		
	Material contaminado	De proveedor (Eko)	Falla en la recepción	Falta de inspección	Falla en el método	
			Material recuperado	Falla en el proceso de transformación	Falta de mantenimiento	No se cumple el programa de mantenimientos
		Mala parametrización			Error humano	
		Descuido en el cargue	Falta de limpieza	Mala conexión a la máquina	Error humano	
	Error humano					
	Partículas provenientes de las tuberías	Falta de mantenimiento en tuberías	No se cumple el programa de mantenimientos	Falta de planeación		
				Falta de personal		
	Fallas mecánicas	Desgaste de piezas	Uso			
Falta de mantenimiento			No se cumple el programa de mantenimientos	Falta de planeación		
Falta de mantenimiento				Falta de personal		
Falla de diseño		Máquina en desarrollo	Proveedor			
Mantenimiento mal ejecutado		Error humano	Personal mala capacitado	Mala planeación de la capacitación		

CAUSAL	1° POR QUÉ	2° POR QUÉ	3° POR QUÉ	4° POR QUÉ	5° POR QUÉ
				Personal nuevo con falta de acompañamiento	Falta de planeación en las capacitaciones
Cambios de color	Se demora la aprobación	Tiempo de homogenización del color	Proceso progresivo		
	Mala dosificación	No se cumple con el valor estándar	Error humano		
	Durante el cambio se presenta falla de dosificador	Equipo con falta de mantenimiento	Mala planeación		

Nota. La figura muestra el diagrama de los 5 por qué realizado con apoyo del personal directamente implicado en el proceso de inyección de preforma. Elaboración propia.

Como se observa en el diagrama, se identificaron cinco (5) posibles causas raíz en el quinto por qué:

1. No se cumple o se planea de manera errónea el programa de mantenimiento.
2. Falta de personal.
3. Desgaste de piezas por uso.
4. Error humano.
5. Falta de planeación de las capacitaciones al personal.

7.3.2 Análisis y validación de causas

Para la validación de las causas planteadas en los 5 por qué, se analizaron los datos recolectados en la fase *medir* mediante el uso de herramientas estadísticas como el diseño de experimentos (DOE), análisis de varianza (ANOVA) y pruebas de hipótesis.

Para ello, primero se realizó un análisis de estadística descriptiva de los datos recolectados en la columna “Cantidad (Kg)” con ayuda de la herramienta “análisis de datos” de Excel (Tabla 37).

Tabla 37.

Análisis de estadística descriptiva de los datos recolectados

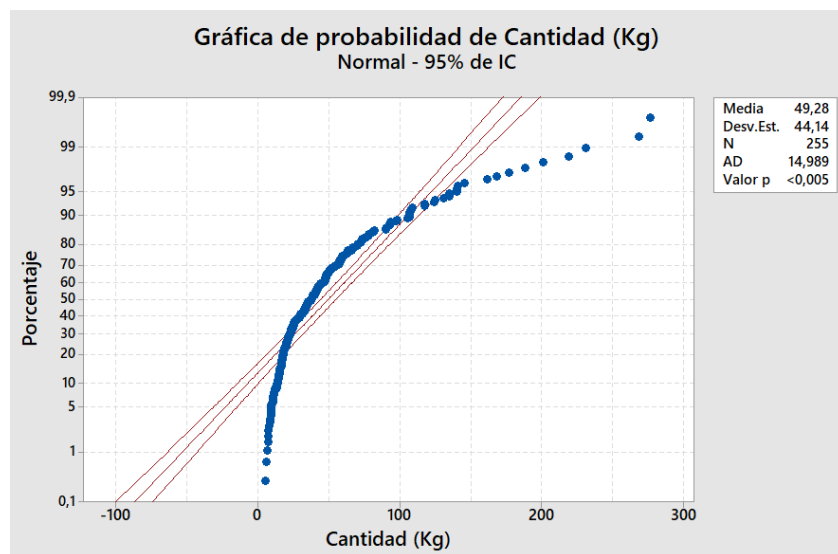
Media	49,27764706
Error típico	2,764439606
Mediana	37,5
Moda	106,2
Desviación estándar	44,14456042
Varianza de la muestra	1948,742215
Curtosis	6,689649635
Coefficiente de asimetría	2,280560397
Rango	270,8
Mínimo	5
Máximo	275,8
Suma	12565,8
Cuenta	255
Mayor (1)	275,8
Menor(1)	5
Nivel de confianza (95,0%)	5,444142337

Nota. La tabla muestra el análisis de estadística descriptiva hecha en Excel con el complemento *análisis de datos* de la cantidad de desperdicio en kilogramos diligenciada en el formato de la fase *medir*. Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 37, la desviación estándar de los datos fue de 44,14, lo que quiere decir que los datos están muy dispersos; esta información se puede confirmar analizando la media, la mediana y la moda, debido a que en datos normalizados, estas tres variables son parecidas o incluso, iguales. En este caso, la media es de 49,27, la mediana es de 37,5 y la moda es de 106,2, por lo que se infiere que los datos no están normalizados. En el programa estadístico Minitab, se realizó una prueba de normalidad para observar el comportamiento de los datos mediante una gráfica (Figura 21).

Figura 21.

Prueba de normalidad de los datos recolectados



Nota. La figura muestra la prueba de normalidad de los datos recolectados de kilogramos de desperdicio. Elaboración propia.

Como se observa en la figura anterior, los datos no se encuentran normalizados, y para realizar un análisis estadístico, se deben tener datos normalizados. Debido a esto, se utilizó la transformada de Box-Cox para solucionar el problema de normalidad con ayuda del programa Minitab (Anexo 2).

Realizando el análisis de estadística descriptiva de los nuevos datos normalizados (Tabla 38), se observa que los datos ya no están dispersos, ya que su desviación estándar es de 0,8 y su media, mediana y moda están muy cercanas entre sí, 3,57, 3,62 y 4,66, respectivamente. Además, su error típico disminuyó de 2,76 a 0,05 y su nivel de confianza de 5,44 a 0,09.

Tabla 38.

Análisis de estadística descriptiva de los datos normalizados

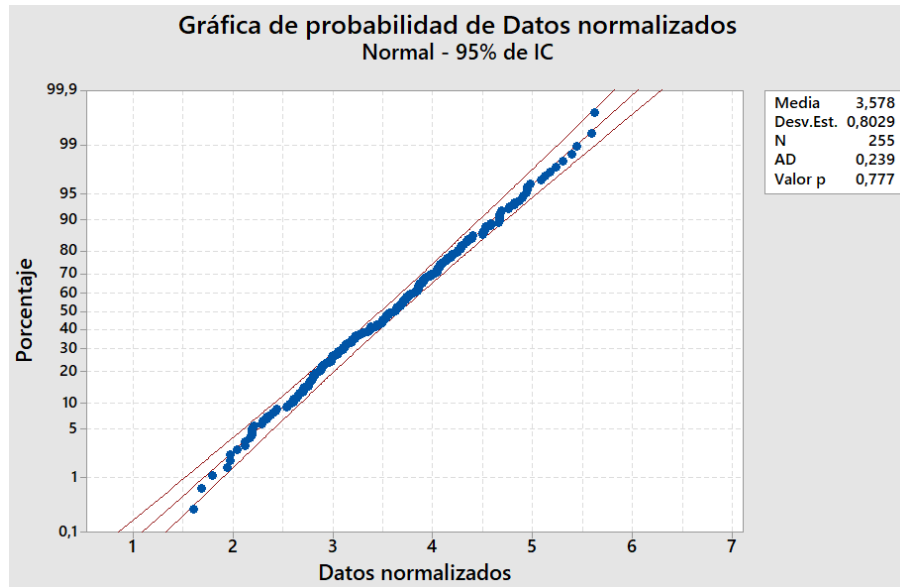
Media	3,57795174
Error típico	0,05027848
Mediana	3,62434093
Moda	4,66532411
Desviación estándar	0,80288301
Varianza de la muestra	0,64462112
Curtosis	-0,3345312
Coefficiente de asimetría	0,0533827
Rango	4,01023805
Mínimo	1,60943791
Máximo	5,61967597
Suma	912,377693
Cuenta	255
Mayor (1)	5,61967597
Menor(1)	1,60943791
Nivel de confianza (95,0%)	0,09901581

Nota. La tabla muestra el análisis de estadística descriptiva hecha en Excel con el complemento *análisis de datos* de los datos normalizados con la transformada de Box-Cox en Minitab. Elaboración propia.

Además, realizando una prueba de normalidad en Minitab (Figura 22), se observa que los datos se encuentran muy cerca de la línea de regresión lineal.

Figura 22.

Prueba de normalidad de los datos normalizados



Nota. La figura muestra la prueba de normalidad de los datos normalizados por la transformada de Box-Cox. Elaboración propia.

Después de normalizar los datos, se realizó un diseño de experimentos (DOE) y análisis de varianza (ANOVA) con ayuda de Minitab, para encontrar la relación de las variables turno, máquina y causal con la generación del desperdicio. No se realizó una prueba de hipótesis debido a que no se pretende comprobar la media de los datos.

- **Diseño de experimentos (DOE).** Se realizó un diseño de experimentos factorial completo, debido a que los factores tienen diferentes niveles, el turno tiene 3 niveles (turno 1, turno 2 y turno 3), la máquina tiene 3 (Husky 1, Husky 2 y Husky 4) y la causa del desperdicio tiene 6 niveles (preforma de arranque, falla mecánica, cambio de color, contaminación, corte de energía pico de voltaje y preforma de piso). En el anexo 3, se observa el DOE arrojado por Minitab, y con los datos de éste, se obtienen los resultados presentados en la Tabla 39.

Tabla 39.*Diseño de experimentos***Análisis de Varianza**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	53	73737,1	1391,27	*	*
Lineal	9	39419,5	4379,94	*	*
Turno	2	437,0	218,50	*	*
Maquina	2	9147,4	4573,70	*	*
Causal	5	29835,1	5967,02	*	*
Interacciones de 2 términos	24	31016,2	1292,34	*	*
Turno*Maquina	4	202,0	50,50	*	*
Turno*Causal	10	1481,4	148,14	*	*
Maquina*Causal	10	29332,8	2933,28	*	*
Interacciones de 3 términos	20	3301,4	165,07	*	*
Turno*Maquina*Causal	20	3301,4	165,07	*	*
Error	0	*	*		
Total	53	73737,1			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
*	100,00%	*	*

Nota. La tabla muestra los resultados del diseño de experimentos factorial completo. Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados arrojados por Minitab, se deduce que el DOE no es una opción para determinar cuál factor es el que influye de gran manera sobre el desperdicio en este caso, debido a que no arroja los parámetros requeridos para medir los parámetros porque los grados de libertad son igual a cero (0), debido a que no se obtuvieron la cantidad de datos suficientes para esto.

- **Análisis de varianza (ANOVA).** Se realizó un análisis de varianza en Minitab para medir la importancia del turno, la máquina y la causa sobre la generación del desperdicio. En la Tabla 40, se observan los resultados obtenidos en el ANOVA.

Tabla 40.

Análisis de varianza

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Turno	2	1,493	0,74674	1,15	0,317
Máquina	2	0,143	0,07166	0,11	0,895
Causa Desperdicio	5	3,694	0,73882	1,14	0,339
Error	245	158,625	0,64745		
Falta de ajuste	21	9,674	0,46067	0,69	0,838
Error puro	224	148,951	0,66496		
Total	254	163,734			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0,804642	3,12%	0,00%	0,00%

Nota. La tabla muestra el análisis de varianza realizado con los datos normalizados. Elaboración propia.

En este análisis si arroja valor p, pero si se observa el R cuadrado, el indicador de la relación de los factores con el desperdicio, es de 3,12%. Lo anterior quiere decir que ninguno de los factores explica la generación de desperdicio según el análisis de varianza. Sin embargo, esto se puede deber a la dispersión de los datos iniciales.

Debido a lo anterior, no se puede priorizar causas por medio de una prueba de hipótesis, un diseño de experimentos o un análisis de varianza. Por lo que se opta por priorizar mediante un diagrama de Pareto.

7.3.3 Priorizar y seleccionar causas

De acuerdo a lo anterior, se realizó un diagrama de Pareto de las causas del desperdicio de la información recolectada, y se observa que las fallas mecánicas y el desperdicio por arranque son las que generaron el 80% del desperdicio en las tres (3) máquinas de estudio (Tabla 41 y Figura 23).

Tabla 41.

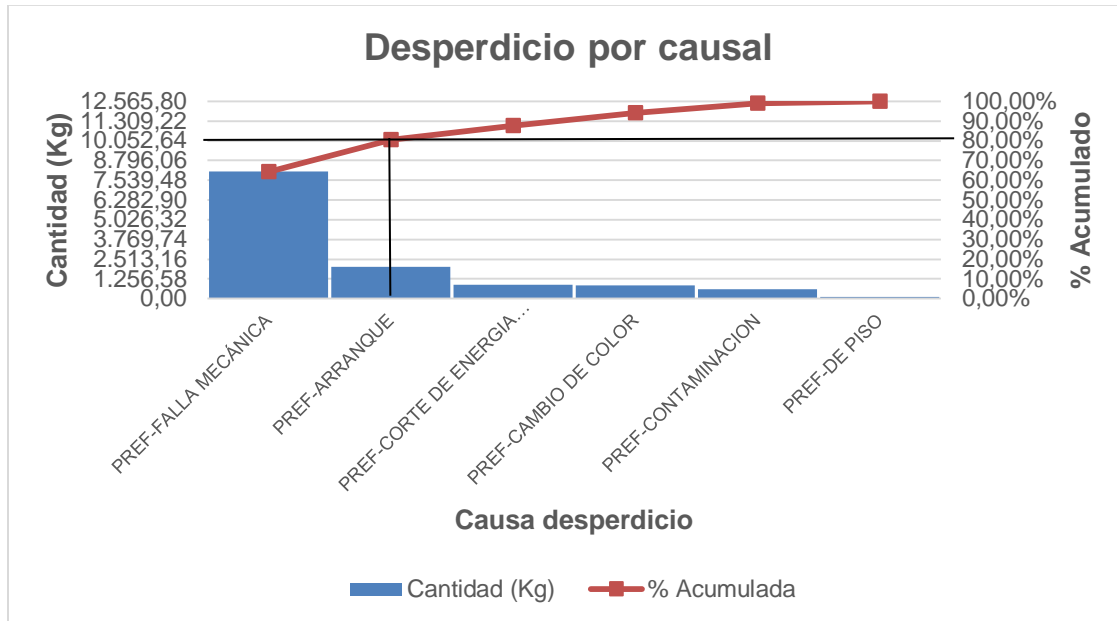
Desperdicio por causal en la medición

Causa desperdicio	Cantidad (Kg)	% Frecuencia	% Acumulada
PREF-FALLA MECÁNICA	8.091,2	64,39%	64,39%
PREF-ARRANQUE	2.039,1	16,23%	80,62%
PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	870,7	6,93%	87,55%
PREF-CAMBIO DE COLOR	841	6,69%	94,24%
PREF-CONTAMINACION	603,2	4,80%	99,04%
PREF-DE PISO	120,6	0,96%	100,00%
TOTAL	12.565,8	100,00%	

Nota. La tabla muestra la cantidad de desperdicio por causal en las máquinas Husky 1, 2 y 4 en el período de tiempo del 01 de septiembre al 14 de octubre 2020. Elaboración propia.

Figura 23.

Diagrama de Pareto del desperdicio por causal



Nota. La figura muestra el diagrama de Pareto de las causales del desperdicio de las máquinas Husky 1, 2 y 4 en el período de tiempo del 01 de septiembre al 14 de octubre 2020. Elaboración propia.

Como se observa en la Figura 23, las causales que representan el 80% del desperdicio corresponden a las causas críticas que se identificaron en las técnicas multicriterio en el diagnóstico y las causas identificadas en los 5 por qué, las cuales son fallas mecánicas y desperdicio por arranques por cambios de referencia. Sin embargo, las causas principales del desperdicio son las falla mecánicas con un 64,39%, por lo que será la causa a mejorar en la siguiente fase.

7.4 Mejorar

Para la fase *mejorar* se proponen acciones de mejora mediante el uso de herramientas del Lean Manufacturing, de acuerdo al tipo de problema a solucionar. La

implementación de estas acciones se simuló en el programa Promodel para obtener los resultados del proyecto sin arriesgar recursos y evaluar el impacto sobre el problema central.

7.4.1 Definir acciones de mejora

Como se analizó en la fase anterior, las fallas mecánicas son la causa raíz del 64,39% del desperdicio en las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4. Debido a esto, se propone implementar el Mantenimiento Productivo Total (TPM), una de las herramientas del Lean Manufacturing, en la línea de Inyección de Preformas de la empresa Iberplast para eliminar dichas fallas.

Por lo anterior, las mejoras propuestas se centraron en el pilar del TPM *mejoras enfocadas*, ya que se pretende mejorar la eficiencia global de los equipos, mediante la mejora en la calidad del producto y el rendimiento del proceso.

La eficiencia global de los equipos (OEE) de las tres máquinas de estudio en el período de agosto 2019 a agosto 2020 fue de 62,04% como se evidencia en la Tabla 42, según datos suministrados por la empresa.

Tabla 42.

OEE Husky 1, 2 y 4 de agosto 2019 - agosto 2020

Ítem	Porcentaje
Disponibilidad	82,72%
Rendimiento	79,02%
Calidad	94,91%
OEE	62,04%

Nota. La tabla muestra la eficiencia global de las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4, calculada con el porcentaje de disponibilidad, rendimiento y calidad desde agosto 2019 a agosto 2020. Información suministrada por la empresa.

Donde, la calidad se definió como la participación de las preformas conformes sobre la producción total de preformas (unidades conformes y no conformes) en ese período de tiempo (Ecuación 12).

Ecuación 12. Porcentaje de calidad de la línea de Inyección de Preformas

$$Calidad = 1 - \frac{Preformas\ no\ conformes}{Producción\ total} = 1 - \frac{4.891.265}{96.075.424} = 94,91\%$$

Para poder aumentar el porcentaje de calidad y de rendimiento de la línea de Inyección de Preformas y con ello, el OEE, se plantearon acciones de mejora en el plan de mantenimiento de la empresa para prevenir las fallas mecánicas que se están presentando. La propuesta se divide en dos:

a) Cumplir con el plan de mantenimiento. De acuerdo a lo comentado en los 5 por qué, no se está cumpliendo con el programa de mantenimiento en la inyectoras de preformas por atender otras prioridades de la línea como mantenimientos correctivos. En la Tabla 43 se observa el porcentaje de cumplimiento del plan de mantenimiento de la empresa en las máquinas de estudio.

Tabla 43.

Porcentaje de cumplimiento del plan de mantenimiento

Mantenimiento	Teóricos	Realizados	% Cumplimiento
Quincenal	78	45	57,7%
Mensual	39	6	15,4%
Trimestral	12	2	16,7%
Semestral	6	0	0,0%
Anual	3	0	0,0%
Total	138	53	38,4%

Nota. La tabla muestra el porcentaje de cumplimiento del plan de mantenimiento de las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4 en Iberplast desde agosto 2019 a agosto 2020. Elaboración propia basada en información suministrada por la empresa.

Como se observa en la Tabla 43, el porcentaje de cumplimiento de los mantenimientos es del 38,4%, debido a que se presentan fallas que hay que solucionar correctivamente y no alcanza el tiempo ni el personal para realizar los mantenimientos preventivos en el tiempo programado.

Por lo anterior, se propone contratar un técnico destinado a los mantenimientos correctivos, y destinar a un experto a realizar los mantenimientos preventivos para reducir el tiempo de estos mantenimientos en un 40% y así, evitar futuras fallas mecánicas.

b) Adicionar actividades de mantenimiento. Se propone adicionar actividades de mantenimiento para evitar la falla mecánica que más se presenta: falla por transferencia, es decir, cuando la preforma no se desplaza correctamente a la banda transportadora de salida sino que se queda en la máquina. Según datos del área de Mantenimiento de la empresa, la falla por transferencia representa el 53,3% de las fallas mecánicas.

Las actividades que se proponen, en revisión con la persona encargada del área de Inyección de Preformas, para evitar la falla mencionada anteriormente son las siguientes:

- **Limpieza del molde.** Un molde se limpia superficialmente cada vez que no está en una máquina. Se propone hacer una limpieza más profunda cada 15 días, lo que requeriría 40kg de hielo seco.
- **Verificación de las unidades deshumidificadoras de aire.** Requiere que se revisen conexiones y buen funcionamiento una hora cada quince días.
- **Retrolavado del circuito de refrigeración.** Se recirculan 2 litros de hidróxido de amonio y 800 gramos de ácido cítrico durante 5 horas. Se debe hacer cada tres meses.

- **Verificación de bombas de vacío.** Se deben verificar las bombas de vacío para definir si es necesario cambiar el juego de paletas que generan el vacío. Se debe revisar cada seis meses durante una hora.

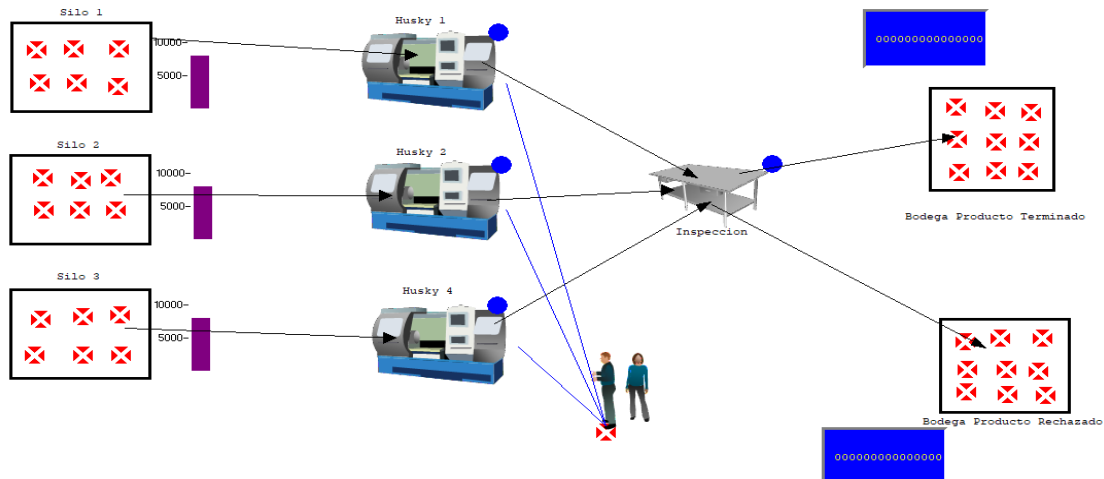
7.4.2 Implementar acciones de mejora

Con las dos propuestas anteriores (a) y (b), se pretende eliminar las paradas imprevistas por fallas mecánicas, y con ello, el desperdicio generado por este motivo (64,39% del desperdicio total). Para ello, se realizó una simulación de la situación actual de las máquinas de estudio y otra de la situación propuesta, mediante el uso del programa de simulación Promodel.

En la Figura 24 se muestra el diagrama del proceso, donde la materia prima (PET) se carga a los silos para alimentar las máquinas e inyectar la preforma, una vez inyectada la preforma, pasa a inspección y se decide si la pieza se aprueba o se rechaza según los criterios de calidad.

Figura 24.

Diagrama del proceso de inyección de las máquinas Husky 1, 2 y 4



Nota. La figura muestra el diagrama del proceso de inyección de preformas simulado en el programa Promodel. Elaboración propia.

También, se agregaron a los dos técnicos de mantenimiento con los que cuenta la línea de Inyección de Preformas actualmente para realizar los mantenimientos correctivos o preventivos de cada máquina.

Además, se debe tener en cuenta que cada máquina tiene ciclos diferentes para la producción de las preformas y que los moldes utilizados tienen 48 cavidades, es decir, se inyectan 48 preformas cada ciclo. En la Tabla 44 se muestran los ciclos de las máquinas.

Tabla 44.

Ciclos de las máquinas Husky 1, 2 y 4

Máquina	Ciclo en segundos	Ciclo en minutos
Husky 1	51,5	0,858
Husky 2	24,53	0,409
Husky 4	22,1	0,368

Nota. La tabla muestra el ciclo en segundos y en minutos de las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4 para producir 48 preformas. Tomado de datos suministrados por la empresa.

- **Simulación situación actual.** Para la situación actual, se tomó la probabilidad de que el 5,09% de los productos fueran rechazados en la inspección debido a los datos del desperdicio mencionados anteriormente.

Además, en la Tabla 45 se estipuló la frecuencia promedio de las fallas y su desviación estándar en cada una de las máquinas de acuerdo a los datos recolectados en la fase *medir* (Anexo 1). También, se agregó la duración promedio de la reparación de cada una de las fallas de acuerdo a datos suministrados por la empresa.

Tabla 45.

Frecuencia y tiempo de reparación de las fallas mecánicas

Máquina	Frecuencia promedio (Horas)	Desviación estándar	Tiempo de reparación por falla (Minutos)
Husky 1	45,67	144	53,51
Husky 2	14,64	27,93	73,75
Husky 4	5,9	8,6	37,79

Nota. La tabla muestra la frecuencia y la desviación estándar de las fallas mecánicas, junto con el tiempo promedio de reparación por falla de las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4. Elaboración propia basada en datos suministrados de la empresa.

También, se tuvo en cuenta la duración en horas de los mantenimientos preventivos de las máquinas de estudio de acuerdo al plan de mantenimiento de la empresa (Tabla 46).

Tabla 46.

Duración en horas de los mantenimientos preventivos

Mantenimiento	Husky 1	Husky 2	Husky 4
Quincenal	6,5	8	5
Mensual	3,5	2,5	5
Trimestral	3,5	3,5	3,5
Semestral	8	8	7
Anual	13	13,5	14

Nota. La tabla muestra la duración en horas de los mantenimientos preventivos en las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4. Tomado de datos suministrados por la empresa.

Una vez ingresadas las variables mencionadas al programa, se realizó la simulación de un mes de producción y arrojó los resultados evidenciados en el Anexo 4. De acuerdo a esos resultados el rendimiento de las máquinas se resume en la Tabla 47.

Tabla 47.

Rendimiento de las máquinas Husky 1, 2 y 4 en la situación actual

Máquina	Rendimiento
Husky 1	97,2%
Husky 2	90,7%
Husky 4	85,3%
Total	75,2%

Nota. La tabla muestra el porcentaje de rendimiento de las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4 en la simulación de la situación actual de la línea de producción. Elaboración propia.

En la Tabla 47, se observa que el rendimiento de las tres máquinas estuvo en 75,2% en la simulación. Con lo anterior, la producción aprobada y la rechazada se observa en la Tabla 48.

Tabla 48.

Producción en unidades de la situación actual

Producto	Unidades	Participación
Preformas aprobadas	5.583.872	94,90%
Preformas rechazadas	299.920	5,10%
Total	5.883.792	100,00%

Nota. La tabla evidencia la producción aprobada y rechazada que se produjo en la simulación de la situación actual. Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 48, la producción aprobada representa el 94,9% del total de la producción y la producción rechazada representa el 5,10%.

- **Simulación situación propuesta.** Para la situación propuesta, se tomó la probabilidad del 1,81% de que los productos fueran rechazados en la inspección, debido a que se estimó que con el cumplimiento del plan de mantenimiento, se eliminan todas las fallas mecánicas imprevistas que representaban el 64,39% del desperdicio.

Además, con las actividades propuestas para los mantenimientos y la contratación de otro técnico, los tiempos de éstos cambian para cada máquina como se observa en la Tabla 49.

Tabla 49.

Duración en horas de los mantenimientos preventivos propuestos

Mantenimiento	Husky 1	Husky 2	Husky 4
Quincenal	4,9	5,8	4
Mensual	3,1	2,5	4
Trimestral	8,1	8,1	8,1
Semestral	4,8	4,8	4,2
Anual	7,8	8,1	8,4

Nota. La tabla muestra la duración en horas de los mantenimientos preventivos con la propuesta realizada en las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4. Elaboración propia.

Una vez ingresadas las variables mencionadas al programa, se realizó la simulación de un mes de producción y arrojó los resultados evidenciados en el Anexo 5. De acuerdo a esos resultados el rendimiento de las máquinas se resume en la Tabla 50.

Tabla 50.

Rendimiento de las máquinas Husky 1, 2 y 4 en la situación propuesta

Máquina	Rendimiento
Husky 1	98,9%
Husky 2	94,5%
Husky 4	91,6%
Total	85,6%

Nota. La tabla muestra el porcentaje de rendimiento de las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4 en la simulación de la situación propuesta de la línea de producción. Elaboración propia.

En la Tabla 50, se observa que el rendimiento de las tres máquinas aumentó a 85,6% en la simulación de la propuesta realizada. Con lo anterior, la producción aprobada y la rechazada se observa en la Tabla 51.

Tabla 51.

Producción en unidades de la situación propuesta

Producto	Unidades	Participación
Preformas aprobadas	6.447.690	98,19%
Preformas rechazadas	118.854	1,81%
Total	6.566.544	100,00%

Nota. La tabla evidencia la producción aprobada y rechazada que se produjo en la simulación de la situación actual. Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 51, la producción aprobada representa el 98,19% del total de la producción; y, aumentó en 682.752 unidades.

7.4.3 Validar resultados

De acuerdo al objetivo de la fase 1 del proyecto de reducir el desperdicio de las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4 en un 30%, se evidencia que el desperdicio se reduciría en un 64,39% si se aplica la propuesta realizada en las tres máquinas.

Analizando los resultados de la propuesta planteada en las métricas del Project Charter, se observa que el objetivo se cumple y con ello, la empresa dejaría de perder en desperdicio \$34.919.760, mensualmente (Tabla 52).

Tabla 52.

Validación de resultados en las métricas del Project Charter de la fase 1

Métrica	Línea Base	Propuesta	Beneficio
% desperdicio prom. mensual	5,09%	1,81%	-3,28%
Kg desperdicio promedio mensual (PET)	13.557,91	4.827,97	-8.729,94
Costo por kilogramo de PET	\$4.000	\$4.000	-
Pérdida mensual por desperdicio	\$54.231.640	\$19.311.880	-\$34.919.760

Nota. La tabla expone los resultados de la simulación de la propuesta para reducir el desperdicio en las métricas del Project Charter. Elaboración propia.

Además, con el rendimiento (85,6%) y la calidad (98,19%) que arroja la propuesta planteada, el OEE aumenta de 62,04% a 69,5%, como se observa en la Ecuación 13.

Ecuación 13. OEE con la propuesta planteada

$$OEE = Disponibilidad * Rendimiento * Calidad$$

$$OEE = 82,72\% * 85,6\% * 98,19\% = 69,5\%$$

Por lo tanto, el objetivo del pilar del TPM *mejoras enfocadas* se cumple, debido a que la eficiencia global de los equipos obtuvo una mejora del 7,46% con acciones de mejora en la calidad del producto y en el rendimiento del proceso.

7.5 Controlar

Para controlar la correcta implementación de la metodología, se propone utilizar un tablero *kanban* visible para toda el área de preformas, donde se evidencie los mantenimientos pendientes para la semana, los mantenimientos en curso y los que ya se terminaron (Figura 25).

Figura 25.

Ejemplo de tablero kanban

PENDIENTES	EN CURSO	TERMINADOS
Mensual Husky 2	Quincenal Husky 4	Quincenal Husky 1
Semestral Husky 4		

Nota. La figura expone un ejemplo de un tablero kanban para controlar la implementación del TPM. Elaboración propia.

Además, se propone continuar con el cálculo del porcentaje de cumplimiento de los mantenimientos y el cálculo del OEE en la plataforma propia de la empresa *Iberos*, para que las personas implicadas en el proceso conozcan el estado del área.

8. ESTUDIO FINANCIERO

En el siguiente apartado, se realizó un estudio financiero sobre la propuesta planteada de reducir el desperdicio en la línea de Inyección de Preformas en la empresa Iberplast. Para ello, se calculó la inversión, el flujo de efectivo actual y el propuesto, la tasa de descuento, el valor presente neto (VPN) y la relación beneficio/costo del proyecto para analizar la viabilidad del mismo.

Primero, se tuvo presente el costo de las actividades propuestas para el mantenimiento preventivo (Tabla 53), el costo total de los mantenimientos preventivos (Tabla 54) y el costo de los mantenimientos correctivos (Tabla 55), de acuerdo a datos suministrados por la empresa.

Tabla 53.*Costo de las actividades propuestas*

Actividad	Frecuencia	Recursos	Cantidad	Unidad de medida	Costo
Limpieza del molde	Quincenal	Hielo seco	40	Kilogramos	\$200.000,00
Verificación de las unidades deshumidificadoras de aire	Quincenal	Técnico	1	Hora	\$10.170,36
Retrolavado del circuito de refrigeración	Trimestral	Hidróxido de amonio	2	Litros	\$120.000,00
		Ácido cítrico	800	Gramos	\$2.825,60
Verificación de bombas de vacío	Trimestral	Paletas de bombas de vacío	1	Juego	\$4.430.734,78

Nota. La tabla muestra el costo de las actividades propuestas para el plan de mantenimiento. Elaboración propia basada en datos suministrados por la empresa.

Tabla 54.*Costos y tiempos del mantenimiento preventivo actual y propuesto*

Mantenimiento	Actual		Propuesta	
	Costo Unitario	Tiempo Promedio (Hrs)	Costo Unitario	Tiempo Promedio (Hrs)
Quincenal	\$461.312,57	6,5	\$661.312,57	4,9
Mensual	\$1.389.673,93	3,7	\$1.389.673,93	3,22
Trimestral	\$2.438.988,69	3,5	\$6.992.549,06	8,1
Semestral	\$7.916.325,33	7,7	\$7.916.325,33	4,62
Anual	\$22.966.381,61	13,5	\$22.966.381,61	8,1
Total	\$35.172.682,12	34,9	\$39.926.242,49	28,94

Nota. La tabla muestra los costos y el tiempo del mantenimiento preventivo actual y propuesto. Elaboración propia basada en datos suministrados por la empresa.

Tabla 55.

Costo de los mantenimientos preventivos realizados en el último año

Máquina	Correctivos
Husky 1	\$43.558.999,37
Husky 2	\$11.040.745,86
Husky 4	\$52.470.545,22
Total	\$107.070.290,45

Nota. La tabla muestra el costo de los mantenimientos realizados desde septiembre 2019 a agosto 2020 en las máquinas Husky 1, Husky 2 y Husky 4. Tomado de datos suministrados por la empresa.

8.1 Inversión

La inversión que se debe realizar el primer mes de implementar la metodología propuesta se calculó con el costo de la materia prima, el costo de los mantenimientos y la contratación de un técnico.

El costo de la materia prima necesaria para la producción de las preformas con el aumento del 10,4% del rendimiento en el proceso y con el 1,81% de desperdicio se evidencia en la Tabla 56.

Tabla 56.

Costo de la materia prima en la inversión

Ítem	Actual	Propuesta
Costo Kg Materia Prima	\$4.000	\$4.000
Producción Buena (Uds.)	7.068.007	7.948.861
Producción Buena (Kg)	250.824,17	282.083,23
Desperdicio (Kg)	13.226,58	5.199,82
Costo Total	\$1.056.202.993,00	\$1.149.132.213,20

Nota. La tabla expone el costo de la materia prima en la inversión del proyecto. Elaboración propia.

El costo mensual de los mantenimientos se calcula con el costo anual (Tabla 54) y con la cantidad de mantenimientos al año dividido en los doce meses (Tabla 57).

Tabla 57.*Costo del mantenimiento en la inversión*

Mantenimiento	Actual		Propuesta	
	Cantidad anual	Costo mensual	Cantidad anual	Costo mensual
Quincenal	41	\$1.576.151,28	72	\$4.028.897,59
Mensual	3	\$347.418,48	36	\$4.169.021,78
Trimestral	1	\$203.249,06	12	\$6.992.549,06
Semestral	0	\$-	6	\$3.958.162,67
Anual	0	\$-	3	\$5.741.595,40
Total	45	\$2.126.818,82	129	\$24.890.226,50

Nota. La tabla muestra el costo mensual de los mantenimientos realizados en el último año y los mantenimientos propuestos al año. Elaboración propia.

Además, de acuerdo a información de la empresa, el salario mensual de un técnico es de \$1.500.000. La empresa asume una carga prestacional de 63%, es decir, por un técnico que contraten deben liquidar \$2.445.000 al mes.

Con lo anterior, la inversión del proyecto es de \$1.260.279.963,90 como se observa en la Tabla 58.

Tabla 58.*Inversión del proyecto*

	Propuesta
Materia prima	\$ 1.149.132.213,20
Mantenimientos	\$ 33.812.750,70
Nómina	\$ 77.335.000
Total	\$ 1.260.279.963,90

Nota. La tabla expone la inversión requerida para la implementación de la propuesta planteada. Elaboración propia.

8.2 Flujo de efectivo

El flujo de efectivo presenta los ingresos y los egresos generados a lo largo de un tiempo determinado. En la Tabla 59 se explica cómo se calcularon los ingresos, costos y gastos para el flujo de efectivo actual y propuesto a precio del año 2020.

Tabla 59.

Ingresos, costos y gastos año 2020

	Actual	Propuesta
Precio de venta	\$270	\$270
Producción (Uds.)	84.816.089	95.386.328
Ingresos	\$22.900.344.030	\$25.754.308.433
Nómina	\$898.680.000	\$928.020.000
Materia prima	\$12.674.435.916	\$13.789.586.558
- Costos	\$13.573.115.916	\$14.717.606.558
Mantenimiento	\$132.592.116	\$298.682.718
Gastos administrativos	\$39.360.000	\$39.360.000
- Gastos	\$171.952.116	\$338.042.718

Nota. La tabla expone el cálculo de los ingresos, costos y gastos de la línea de Inyección de Preforma en el año 2020. Elaboración propia basada en datos suministrados por la empresa.

Además, para calcular el flujo de efectivo a cinco (5) años, se tuvo en cuenta la proyección de la inflación de cada año (Tabla 60), con el fin de manejar precios corrientes y ajustar los costos a la realidad.

Tabla 60.

Proyección de la inflación período 2020-2025

Año	Inflación
2020	1,33%
2021	2,46%
2022	3,28%
2023	3,40%
2024	3,60%
2025	3,50%
Promedio	2,93%

Nota. La tabla muestra la proyección de las tasas de inflación y DTF en el período 2020-2025, según el Informe Anual de Proyecciones Económicas 2020 del Grupo Bancolombia. Tomado de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/investigaciones-economicas/publicaciones/tablas-macroeconomicos-proyectados>

8.2.1 Flujo de efectivo actual

En la Tabla 61 se evidencia el flujo de efectivo actual en un período de cinco (5) años, y se observa que la utilidad neta de la línea de producción es de \$6.333.336.655 en promedio al año.

Tabla 61.

Flujo de efectivo actual

Flujo de efectivo	2021	2022	2023	2024	2025
Ingresos	\$23.463.692.493	\$23.651.475.314	\$23.678.955.727	\$23.724.756.415	\$23.701.856.071
- Costos	\$13.906.913.432	\$14.018.212.173	\$14.034.499.794	\$14.061.645.828	\$14.048.072.811
- Gastos	\$176.182.138	\$177.592.146	\$177.798.488	\$178.142.392	\$177.970.440
Utilidad antes de impuestos	\$9.380.596.923	\$9.455.670.996	\$9.466.657.445	\$9.484.968.195	\$9.475.812.820
- Impuestos (33%)	\$3.095.596.985	\$3.120.371.429	\$3.123.996.957	\$3.130.039.504	\$3.127.018.231
Utilidad neta	\$6.284.999.938	\$6.335.299.567	\$6.342.660.488	\$6.354.928.690	\$6.348.794.589

Nota. La tabla expone el flujo de efectivo actual de la línea de Inyección de Preformas. Elaboración propia.

8.2.2 Flujo de efectivo propuesto

En la Tabla 62 se evidencia el flujo de efectivo propuesto en un período de cinco (5) años, y se observa que la utilidad neta de la línea de producción puede llegar a ser de \$7.386.323.633 en promedio al año, es decir, la utilidad puede incrementar un 17%.

Tabla 62.*Flujo de efectivo propuesto*

Flujo de efectivo	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Ingresos		\$26.387.864.420	\$26.599.049.749	\$26.629.954.919	\$26.681.463.536	\$26.655.709.228
- Costos		\$15.079.507.976	\$15.200.191.136	\$15.217.852.086	\$15.247.287.003	\$15.232.569.545
- Gastos		\$456.062.788	\$ 349.130.519	\$ 349.536.170	\$350.212.256	\$ 349.874.213
Utilidad antes de impuestos		\$10.852.293.655	\$11.049.728.094	\$11.062.566.663	\$11.083.964.277	\$11.073.265.470
- Impuestos (33%)		\$3.581.256.906	\$3.646.410.271	\$3.650.646.999	\$3.657.708.211	\$3.654.177.605
Inversión	-\$1.260.279.964	\$-	\$-	\$-	\$-	\$-
Utilidad neta	-\$1.260.279.964	\$7.271.036.749	\$7.403.317.823	\$7.411.919.664	\$7.426.256.066	\$7.419.087.865

Nota. La tabla muestra el flujo de efectivo propuesto en el período 2020-2025. Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 62, la inversión se recupera en el primer año y, según lineamientos de la Alta Dirección de la empresa, un proyecto es aceptado sólo si la inversión se recupera máximo en dos años. Por lo anterior, es un proyecto aceptado por la empresa.

8.3 Tasa interna de oportunidad (TIO)

La tasa interna de oportunidad (TIO) es la tasa mínima de rentabilidad que se está dispuesto a aceptar en un proyecto. Para el cálculo de la TIO se hará uso de la Ecuación 14.

Ecuación 14. Tasa interna de oportunidad (TIO)

$$TIO = \left((1 + \text{inflación}) * (1 + \text{promedio DTF}) * (1 + \text{Tasa inversionista}) - 1 \right) * 100 \quad [39]$$

La TIO se debe calcular con el promedio de la inflación y el promedio del DTF (Tabla 63) entre el período del año 2020 al año 2025.

Tabla 63.

Tasa de la inflación y el DTF 2020-2025

Año	Inflación	DTF
2020	1,33%	2,44%
2021	2,46%	2,41%
2022	3,28%	3,40%
2023	3,40%	4,49%
2024	3,60%	4,99%
2025	3,50%	4,91%
Promedio	2,93%	3,77%

Nota. La tabla muestra la proyección de las tasas de inflación y DTF en el período 2020-2025, según el Informe Anual de Proyecciones Económicas 2020 del Grupo Bancolombia. Tomado de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/investigaciones-economicas/publicaciones/tablas-macroeconomicos-proyectados>

De igual manera, se tomó la tasa del inversionista del 10%, de acuerdo a información suministrada por la empresa.

$$TIO = \left((1 + 2,93\%) * (1 + 3,77\%) * (1 + 10\%) - 1 \right) * 100 = 17,5\%$$

Al reemplazar los datos en la ecuación, la tasa interna de oportunidad (TIO) fue del 17,5%, siendo esta la tasa mínima que se espera lograr con la inversión propuesta.

8.4 Valor presente neto (VPN)

El valor presente neto (VPN) determina la viabilidad del proyecto teniendo en cuenta la inversión, el flujo de efectivo y la tasa interna de oportunidad (TIO). En la Tabla 64, se muestra el flujo de efectivo final con el que se calculó el VPN del proyecto, mediante el uso de la fórmula VNA de Excel y la resta con la inversión.

Tabla 64.

Flujo de efectivo final

Año	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Actual	\$ -	\$6.284.999.938	\$6.335.299.567	\$6.342.660.488	\$6.354.928.690	\$6.348.794.589
Propuesta	-\$1.260.279.964	\$7.271.036.749	\$7.403.317.823	\$7.411.919.664	\$7.426.256.066	\$7.419.087.865
Flujo de efectivo final	-\$1.260.279.964	\$986.036.811	\$1.068.018.256	\$1.069.259.176	\$1.071.327.375	\$1.070.293.276

Nota. La tabla muestra el flujo final del proyecto en el período 2020-2025. Elaboración propia.

El valor presente neto (VPN) arrojado por Excel para la situación actual fue de \$ 20.016.101.932 y el de la situación propuesta fue de \$ 22.067.624.195, es decir, que la propuesta aumenta en 10,2% el valor presente neto de la línea de producción. Además, siendo un valor mayor que cero, el proyecto es factible.

8.5 Relación beneficio/costo (B/C)

La relación beneficio/costo indica el beneficio generado por cada peso invertido en el proyecto. Para calcular este indicador se debe dividir los ingresos sobre los costos (Ecuación 15).

Ecuación 15. Relación beneficio/costo (B/C)

$$\frac{B}{C_{Actual}} = \frac{\$ 23.463.692.493}{\$ 13.906.913.432} = 1,69$$
$$\frac{B}{C_{Propuesta}} = \frac{\$ 26.387.864.420}{\$ 15.079.507.976} = 1,75$$
[39]

De acuerdo a la ecuación anterior, se observa que la relación beneficio/costo actual de la línea de Inyección de Preforma es de 1,69 y la de la propuesta es de 1,75, es decir, que por cada unidad monetaria invertida se tendrá un retorno de la inversión del 0,06 de más con respecto a la situación actual. Además, por ser un valor mayor que cero se concluye que el proyecto es viable.

9. CONCLUSIONES

El análisis DOFA y las técnicas multicriterio realizados para la línea de inyección; que presentó un desperdicio de 2,89% superando la meta establecida por la organización de 0,5%, identificaron que las causas potenciales del desperdicio son los cambios de referencia y material continuamente, y el deficiente mantenimiento a la maquinaria.

Según el análisis realizado a las diferentes herramientas de mejora, y acorde a los criterios establecidos para seleccionar una de ellas, se identificó que el Lean Six Sigma es la metodología que permite mejorar la calidad y eliminar los desperdicios para aumentar la rentabilidad de los procesos productivos.

Para la implementación de la metodología Lean Six Sigma, se requiere de la implementación del ciclo DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), donde se mide y analiza la información por medio de técnicas del Seis Sigma, y se proponen mejoras con técnicas del Lean para eliminar el desperdicio.

La intervención en el 64,39% del desperdicio total, permitirá a la empresa reducir en \$34.919.760 mensuales, al realizar la intervención de las fallas mecánicas de las máquinas Husky 1, 2 y 4 con la implementación del Mantenimiento Productivo Total TPM, herramienta que está establecida en Lean Six Sigma.

Al aplicar la metodología Lean Six Sigma se recuperará la inversión el primer año y se obtendrá una relación beneficio/costo de 1,75, por lo que es un proyecto viable y aceptado por la empresa. Por otra parte, la empresa solo acepta proyectos donde se recupere la inversión antes de los dos años.

BIBLIOGRAFÍA

[1] IBERPLAST. “Quiénes somos”. [En línea]. Disponible: <https://www.iberplast.com.co/quienes-somos>. [Consultado 23 febrero 2020].

[2] C. D. Gómez, *Guía metodológica para la aplicación del Lean Six Sigma en procesos de fabricación de plásticos en multinacionales colombianas*, monografía. Especialización en Gerencia de la Calidad, Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia, 2020. [En línea]. Disponible: <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/7502>

[3].P. Robledo. (2017). “Lean+SixSigma+TOC ofrecen métodos para la mejora continua de procesos en BPM”. [En línea]. Disponible: <https://albatian.com/es/blog/lean-sixsigma-toc-ofrecen-metodos-para-la-mejora-continua-de-procesos-en-bpm/> [Acceso: 15 marzo 2020]

[4] Dinero, “Empresas colombianas en el camino por la calidad. 2010”, 20, octubre, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.dinero.com/negocios/articulo/empresas-colombianas-camino-calidad/105787> [Acceso: marzo 15, 2020]

[5] PROGRESSA LEAN. “¿Qué es SMED?”. [En línea]. Disponible: <https://www.progressalean.com/que-es-smed/> [Consultado 09 marzo 2020]

[6] J. Moreno. (22, may, 2016). “IBERPLAST”. [En línea]. Disponible: <https://prezi.com/dbijkjo4bngi/iberplast/> [Acceso: 06 septiembre 2020]

[7] J. Aznar, F. Guijarro. (2012). *Nuevos métodos de valoración*. (2º edición). [En línea]. Disponible: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/19181/NUEVOS%20M%C3%89TODOS%20DE%20VALORACI%C3%93N%20-%20MODELOS%20MULTICRITERIO.pdf?sequence=1>

[8] R. Apaza. (30, oct, 2018). “¿Qué son las metodologías de mejora continua?”. [En línea]. Disponible: <https://hipodec.up.edu.mx/blog/metodologias-mejora-continua> [Acceso: 01 mayo 2020]

[9] C. Hernández, F. Da Silva., “Aplicación del control estadístico de procesos (CEP) en el control de su calidad”, *Revista Tecnología Química*, vol. 36, n.º1; p. 130-145, ene. 2016. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543786011.pdf> [Acceso: 01 mayo 2020]

[10] K. Zandin. (2001). *Maynard's Industrial Engineering Handbook*. (5° edición). [En línea]. Disponible: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780070411029>

[11] V. Kumar, H. Kumaraswamy, “Optimization of Product by Value Engineering Job Plan Technique”, *IUP Journal of Mechanical Engineering*, vol. 11, n.º4, p. 56-68, oct. 2018. [En línea]. Disponible: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3383355 [Acceso: 01 mayo 2020]

[12] M. Zairi, (1991). *Total Quality Management for Engineers*. [En línea]. Disponible: <https://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpTQME0007/total-quality-management/total-quality-management>

[13] B. López. (29, oct, 2019). “¿Qué es el Lean Manufacturing?”. [En línea]. Disponible: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/lean-manufacturing/que-es-el-lean-manufacturing/> [Acceso: 16 abril 2020]

[14] A. Varela, *Medición de la flexibilidad y el control en almacén PH Centro Caborca, con los puntos estratégicos del Justo a Tiempo (JIT)*, tesis de grado. Unidad de Sonora, Hermosillo, México, 2007. [En línea]. Disponible: <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=17827>

[15] S. García. (2012). “¿Qué es TPM?”. [En línea]. Disponible: <http://www.mantenimientopetroquimica.com/tpm.html> [Acceso: 16 abril 2020]

[16] S. Kadry. (2018). *Understanding Six Sigma: Concepts, Applications and Challenges*. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/263849541_Six_Sigma_Methodology_for_the_Environment_Sustainable_Development

[17] Sistemas de Gestión de la Calidad – Requisitos, ISO 9001:2015, International Organization For Standardization. 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>

[18] J. Salvador, M. Fernández, “Mapa de procesos de un sistema de gestión de accesibilidad en un servicio web de la administración pública: el Ayuntamiento de Zaragoza”, *Revista El Profesional de la Información*, vol. 21, n.º3; p. 314, may-jun 2012. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/286347232_Mapadeprocesosdeun_sistema_de_gestion_de_accesibilidad_en_un_servicio_web_de_la_administracion_publica_el_Ayuntamiento_de_Zaragozai [Acceso: 16 abril 2020]

[19] INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CASTILLA Y LEÓN. “Aplicaciones de sistemas de simulación en la industria”. [En línea]. Disponible: <https://itcl.es/blog/para-que-sirven-los-sistemas-de-simulacion/> [Consultado 17 mayo 2020]

[20] BANCO BILBAO VIZCAYA ARGENTARIA. “¿Qué es la inversión?”. [En línea]. Disponible: <https://www.bbva.com/es/que-es-la-inversion/> [Consultado 17 mayo 2020]

[21] M. Mete. “Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramientas para el análisis y evaluación de proyectos de inversión”. *Revista de difusión cultural y científica de la Universidad de La Salle en Bolivia*, vol. 7, n.º7, p. 29, mar. 2014. [En línea].

Disponible: http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7_a06.pdf [Acceso: 17 mayo 2020]

[22] C. Moncayo. “Relación Beneficio/Costo, ¿por qué es importante tenerla en cuenta para la planeación de un proyecto?”. [En línea]. Disponible: <https://www.incp.org.co/relacion-beneficiocosto-por-que-es-importante-tenerla-en-cuenta-para-la-planeacion-de-un-proyecto/> [Consultado 03 mayo 2020]

[23] El Tiempo, “La mayoría de municipios de Cundinamarca se raja en reciclaje”, 18, abril, 2018, [En línea]. Disponible en: eltiempo.com/bogota/hay-bajo-reciclaje-en-los-municipios-de-cundinamarca-206434 [Acceso: agosto 28, 2020].

[24] El Diario, “Retos ambientales de Colombia para el 2020”, 29, diciembre, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://www.eldiario.com.co/seccion-d/stella-calvoveapues-com/retos-ambientales-de-colombia-para-el-2020/> [Acceso: agosto 27, 2020].

[25] Dinero, “La pelea por la ley que regula el uso de envases plásticos”, 23, mayo, 2019, [En línea]. Disponible en: <https://www.dinero.com/pais/articulo/la-ley-sobre-los-envases-plasticos-en-colombia/272394> [Acceso: agosto 27, 2020].

[26] ProColombia, “El sector plástico en Colombia se reinventa”. Exportaciones turismo inversión marca país. [En línea]. Disponible: <https://procolombia.co/noticias/covid-19/el-sector-plastico-en-colombia-se-reinventa>. [Acceso: agosto 24, 2020].

[27] National Geographic. “Greenpeace revela el ranking de las 10 empresas que generan más plástico”. [En línea]. Disponible: <https://www.ngenespanol.com/ecologia/greenpeace-10-empresas-generan-mas-plastico/> [Acceso: septiembre 24, 2020]

[28] F. Agudo, M. Rubio, I. Seisdedos. “La mejora continua en la gestión de la prevención de riesgos laborales en la empresa desde la vigilancia colectiva de la

salud". Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo, vol. 26, n.º1, mar. 2017. [En línea]. Disponible: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-62552017000100005 [Acceso: 03 octubre 2020]

[29] Junta de Andalucía. (2001). *Guía de diseño y mejora continua de procesos asistenciales*. [En línea]. Disponible: http://www.ephpo.es/Procesos/GUIA_DISENO_MEJORA/5.pdf

[30] P. Keller. (2011). *Six Sigma Demystified*. (2º edición). [En línea]. Disponible: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2056/content/book/9780071746793>

[31] T. McCarty, L. Daniels, M. Bremer, P. Gupta. (2005). *Six Sigma Black Belt Handbook*. [En línea]. Disponible: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2056/content/book/9780071443296>

[32] R. Brockenbrough. (2009). *Highway Engineering Handbook: Building and Rehabilitating the Infrastructure*. (3º edición). [En línea]. Disponible: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2056/content/book/9780071597630>

[33] L. Wilson. (2015). *How to Implement Lean Manufacturing*. (2º edición). [En línea]. Disponible: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2056/content/book/9780071835732>

[34] H. Geng. (2016). *Manufacturing Engineering Handbook*. (2º edición). [En línea]. Disponible: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2056/content/book/9780071839778>

[35] J. Arthur. (2011). *Lean Six Sigma Demystified*. (2º edición). [En línea]. Disponible: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2056/content/book/9780071749091>

[36] D. Gupta. (2015). *Success Using Lean Six Sigma in Terms of Operations and Business Processes*. [En línea]. Disponible:

<https://ezproxy.uamerica.edu.co:2205/ehost/ebookviewer/ebook/ZTAwMHh3d19fMTAwNjk3MV9fQU41?sid=64a28269-6bf1-418d-a612-b24c48830ee5@pdc-v-sessmgr04&vid=1&format=EB>

[37] H. Felizzola, C. Luna. (2014). *Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico*. [En línea]. Disponible: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v22n2/art12.pdf>. [Acceso: 02 noviembre 2020]

[38] P. López. (2004). *Población, muestra y muestreo*. [En línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.bo/pdf/rpc/v09n08/v09n08a12.pdf>. [Acceso: 08 noviembre 2020]

[39] G. Baca. (2005). *Tasa Interna de Oportunidad (TIO)*. (8° edición). [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/35826554/Guillermo_Baca_Currea_Ingenieria_Economica_8va_Edicion

ANEXOS

Anexo 1. Formato del control del desperdicio de las máquinas Husky 1, 2 y 4 del 01 de septiembre al 14 de octubre 2020.

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
1/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	77,6	FALLA FOTOCELDA
1/09/2020	2	HUSKY 1	PREF-ARRANQUE	50,8	REBABA CAVIDAD #33
1/09/2020	2	HUSKY 1	PREF-ARRANQUE	24,3	REBABA CAVIDAD #33
1/09/2020	2	HUSKY 1	PREF-ARRANQUE	15,9	REBABA CAVIDAD #33
1/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	72,7	FUGA DE ACEITE
2/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	124,2	FALLA FOTOCELDA
2/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	10	FUGA DE ACEITE
2/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	37	FUGA DE ACEITE
2/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	275,8	FUGA DE AGUA PLACA ROBOT
2/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	106,9	FUGA DE AGUA PLACA ROBOT
2/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	106,2	FALLA FOTOCELDA
2/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	41	FALLA FOTOCELDA
3/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	25	FALLA FOTOCELDA
3/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	34,3	FALLA FOTOCELDA
3/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	139,8	FALLA FOTOCELDA
3/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	17,9	FALLA FOTOCELDA
3/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	73,1	EXCESO DE CICLO
3/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	106,2	EXCESO DE CICLO
4/09/2020	1	HUSKY 1	PREF-CAMBIO DE COLOR	29,3	CRISTAL A VERDE LN
4/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	20,9	FALLA FOTOCELDA
4/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	47,8	FUGA DE ACEITE

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
4/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	21,1	FUGA DE ACEITE
4/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	49,2	FUGA DE ACEITE
4/09/2020	3	HUSKY 1	PREF-FALLA MECANICA	65,8	FALLA SERVO SISTEMA
4/09/2020	3	HUSKY 1	PREF-FALLA MECANICA	45	FALLA SERVO SISTEMA
4/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	47,4	FALLA FOTOCELDA
4/09/2020	3	HUSKY 1	PREF-CAMBIO DE COLOR	19,7	VERDE LN A CRISTAL
4/09/2020	3	HUSKY 1	PREF-CAMBIO DE COLOR	54	VERDE LN A CRISTAL
4/09/2020	3	HUSKY 1	PREF-CAMBIO DE COLOR	19,4	VERDE LN A CRISTAL
5/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	31,6	FALLA FOTOCELDA
6/09/2020	3	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	130,2	MAQUINA PARADA POR PROGRAMACION
6/09/2020	3	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	29,4	MAQUINA PARADA POR PROGRAMACION
7/09/2020	1	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	59	AJUSTE SERVO EJE / FALLA FOTOCELDA
7/09/2020	1	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	60,3	AJUSTE SERVO EJE / FALLA FOTOCELDA
7/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	63,2	FALLA DESMOLDEO
7/09/2020	3	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	13,6	MAQUINA PARADA POR PROGRAMACION
7/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	58,4	CAMBIO DE MOLDE DE 28GR A 26GR
7/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	25,1	CAMBIO DE MOLDE DE 28GR A 26GR
7/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	18,4	CAMBIO DE MOLDE DE 28GR A 26GR
8/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	24,2	ALARMA EJE SERVO FUERA DE LIMITES
8/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	26,5	ALARMA EJE SERVO FUERA DE LIMITES
9/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	8,9	CAMBIO DE MOLDE DE 28GR A 26GR
9/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	187,9	CAMBIO DE MOLDE DE 28GR A 26GR
9/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	124	MANTENIMIENTO QUINCENAL
9/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	8,8	MANTENIMIENTO QUINCENAL
9/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	35	MANTENIMIENTO QUINCENAL
9/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	74,8	FALLA CONTROLADOR DE CIERRE INHABILITADO
9/09/2020	3	HUSKY 2	PREF-CONTAMINACION	32,7	CONTAMINACION

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
10/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	45,7	FALLA CONTROLADOR DE CIERRE INHABILITADO
10/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	33	FALLA PLACA EXPULSION
10/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	29,3	FALLA DESMOLDEO
11/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	46,9	FALLA DESMOLDEO
11/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	7	FALLA DESMOLDEO
11/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	25,5	FALLA DESMOLDEO
12/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	32,4	FALLA FOTOCELDA
12/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	47,2	FALLA FOTOCELDA
13/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-DE PISO	92,2	PREFORMA QUE SE CAE AL PISO
14/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	91,7	FALLA PISTON DE INYECCION
14/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	90,1	FALLA PISTON DE INYECCION
14/09/2020	1	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	9,1	PARADA 12 Y 13 SEP
14/09/2020	1	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	108,5	PARADA 12 Y 13 SEP
14/09/2020	1	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	15,8	PARADA 12 Y 13 SEP
14/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	10,8	FALLA PISTON DE INYECCION
14/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	80,8	FALLA PISTON DE INYECCION
14/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	66,3	FALLA PISTON DE INYECCION
14/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	68,5	FALLA PISTON DE INYECCION
14/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	34	FALLA PISTON DE INYECCION
15/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	13,6	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA
15/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	30,9	FALLA SERVO SISTEMA
15/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	21,1	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA
15/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	15	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA
16/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	48,3	CAMBIO DE MOLDE DE 26GR A 28GR
16/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	35	CAMBIO DE MOLDE DE 26GR A 28GR
16/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	31,3	CAMBIO DE MOLDE DE 26GR A 28GR
17/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	41,4	FALLA PISTON DE INYECCION

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
17/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	38	FALLA PISTON DE INYECCION
17/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	19	FALLA PISTON DE INYECCION
17/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	72,1	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA
17/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	57,9	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA
17/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	5	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA
17/09/2020	1	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	37,7	FALLA SERVO SISTEMA
17/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	8,9	FUGA DE AGUA TUBOS DEL ROBOT
17/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-CONTAMINACION	77,5	CONTAMINACION
17/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-CONTAMINACION	49,8	CONTAMINACION
17/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-CONTAMINACION	134,4	CONTAMINACION
17/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	23,2	FALLA FOTOCELDA
17/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	15,1	FALLA FOTOCELDA
17/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	57,1	FALLA FOTOCELDA
17/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	37	FALLA FOTOCELDA
18/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	40,8	FALLA FOTOCELDA
18/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	32,9	FALLA SERVO SISTEMA
18/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	31,2	FALLA DESMOLDEO
18/09/2020	3	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	61,8	FALLA SERVO SISTEMA
19/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	34,4	FUGA DE AGUA EN PLACA MOVIL
19/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	43,3	FUGA DE AGUA EN PLACA MOVIL
19/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	8,3	FUGA DE AGUA EN PLACA MOVIL
19/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	46,7	FALLA FOTOCELDA
20/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	105,1	FALLA FOTOCELDA
20/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	27,4	FALLA FOTOCELDA
21/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	13,9	FALLA FOTOCELDA
21/09/2020	1	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	51,4	PARA 19 Y 20 SEP
21/09/2020	1	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	17,5	PARA 19 Y 20 SEP
21/09/2020	1	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	12,6	PARA 19 Y 20 SEP

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
21/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	22,3	FALLA FOTOCELDA
21/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	7,2	FALLA FOTOCELDA
21/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	10,4	FALLA FOTOCELDA
21/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	14,1	AMARRE DE MANGUERA DEL ROBOT SUELTA
21/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	9,9	FALLA FOTOCELDA
21/09/2020	3	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	49,1	SEGURIDAD HIDRAHULICA ACTIVADA
21/09/2020	3	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	16,3	SEGURIDAD HIDRAHULICA ACTIVADA
21/09/2020	3	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	35,3	SEGURIDAD HIDRAHULICA ACTIVADA
21/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-DE PISO	28,4	PREFORMA QUE SE CAE AL PISO
22/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	46,6	CRISTAL A AMBAR
22/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	17,8	FALLA FOTOCELDA
22/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	25,1	TEMPERATURA DE ACEITE ALTA
22/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	26,4	TEMPERATURA DE ACEITE ALTA
22/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	37,5	TEMPERATURA DE ACEITE ALTA
22/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	71,8	TEMPERATURA DE ACEITE ALTA
22/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	10,4	TUBOS DEL ROBOT SUELTOS
23/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	69,4	FALLA FOTOCELDA
23/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	24,3	FALLA FOTOCELDA
23/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	89,8	MOLDE NO DA CIERRE, MATERIAL ATRAPADO EN NECKRING
23/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	106,2	FALLA FOTOCELDA
23/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	40	FALLA FOTOCELDA
23/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	8,3	FALLA FOTOCELDA
24/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-CONTAMINACION	70,6	CONTAMINACION
24/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	7,7	FALLA FOTOCELDA
24/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	161,5	FALLA FOTOCELDA
25/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	29	AMBAR A CRISTAL
25/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	25,2	AMBAR A CRISTAL

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
25/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	18	FALLA DESMOLDEO
25/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	56,8	FALLA FOTOCELDA
25/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	176,7	FALLA DESMOLDEO
25/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	59,7	AMBAR A CRISTAL
26/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	18,3	FALLA SERVO SISTEMA
26/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	28,7	FALLA SERVO SISTEMA
26/09/2020	3	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	81,4	CAMBIO DE MOLDE DE 50GR A 26GR
26/09/2020	3	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	16,9	CAMBIO DE MOLDE DE 50GR A 26GR
26/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	49,4	TUBOS DEL ROBOT SUELTOS
26/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	34,6	FALLA FOTOCELDA
26/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	17,2	FALLA FOTOCELDA
27/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	14,9	FALLA TRANSFERENCIA INYECCION
28/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	52,1	BAJO NIVEL DE ACEITE Y GRASA
28/09/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	14,2	BAJO NIVEL DE ACEITE Y GRASA
29/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	200,4	CAMBIO DE MOLDE DE 28GR A 52GR
29/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	107,5	CAMBIO DE MOLDE DE 28GR A 52GR
29/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	47,7	CAMBIO DE MOLDE DE 28GR A 52GR
29/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	53,8	FALLA FOTOCELDA
29/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	63,3	FALLA DESMOLDEO
30/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	21,9	FALLA DESMOLDEO
30/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	55,8	MAQUINA PARADA POR PROGRAMACION
30/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	14,4	MAQUINA PARADA POR PROGRAMACION
30/09/2020	1	HUSKY 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	38,3	CRISTAL A BLANCO
30/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-CONTAMINACION	13,5	CONTAMINACION
30/09/2020	2	HUSKY 4	PREF-CONTAMINACION	56,5	CONTAMINACION
30/09/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	72,3	FALLA VACIO ROBOT
1/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	50,2	ALARMA CONTROLADOR DE CIERRE INHABILITADO

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
1/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	230,9	ALARMA CONTROLADOR DE CIERRE INHABILITADO
1/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	106,5	BLANCO A CRISTAL
1/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	58	BLANCO A CRISTAL
1/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	43,6	BLANCO A CRISTAL
1/10/2020	1	HUSKY 1	PREF-ARRANQUE	40,4	PARADA DEL 05 SEP AL 01 OCT
1/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	34,1	FALLA VACIO DEL ROBOT
1/10/2020	2	HUSKY 1	PREF-ARRANQUE	76,7	PARADA DEL 05 SEP AL 01 OCT
1/10/2020	2	HUSKY 1	PREF-ARRANQUE	58,8	PARADA DEL 05 SEP AL 01 OCT
1/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	75,8	FALLA FOTOCELDA
2/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	17,7	FALLA FOTOCELDA
2/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	42,1	FALLA FOTOCELDA
2/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	33,1	CAMBIO DE MOLDE DE 52GR A 19GR
2/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	21,1	CAMBIO DE MOLDE DE 52GR A 19GR
2/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	16,5	MANTENIMIENTO QUINCENAL
2/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	11	FALLA DESMOLDEO
2/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	33,4	FALLA DESMOLDEO
2/10/2020	3	HUSKY 1	PREF-FALLA MECANICA	19,8	FALLA MOLD MASTER
2/10/2020	3	HUSKY 1	PREF-FALLA MECANICA	41,8	FALLA MOLD MASTER
2/10/2020	3	HUSKY 1	PREF-FALLA MECANICA	24	FALLA MOLD MASTER
2/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	19,8	FALLA DESMOLDEO
3/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	62,3	FALLA DESMOLDEO
3/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	24,8	FALLA DESMOLDEO
3/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	46,1	FALLA DESMOLDEO
3/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	57,2	CALIBRACION PLACA ROBOT
3/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	63,2	CONTROLADOR DE CIERRE INHABILITADO
3/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	19,9	CONTROLADOR DE CIERRE INHABILITADO
3/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	47,8	CONTROLADOR DE CIERRE INHABILITADO

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
4/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-ARRANQUE	11,5	ALINEACION DEL ROBOT
4/10/2020	3	HUSKY 1	PREF-FALLA MECANICA	38,2	FALLA MOLD MASTER
4/10/2020	3	HUSKY 1	PREF-FALLA MECANICA	40,2	FALLA MOLD MASTER
4/10/2020	3	HUSKY 1	PREF-FALLA MECANICA	47,1	FALLA MOLD MASTER
5/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	33,1	FALLA DESMOLDEO
5/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	6	FALLA DESMOLDEO
5/10/2020	2	HUSKY 1	PREF-FALLA MECANICA	47,3	FALLA SERVO SISTEMA
5/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	40,7	FALLA DESMOLDEO
5/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	144,9	FALLA DESMOLDEO
5/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	39,7	BLOQUEADOR NO SALIDO
6/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	33,6	CONTROLADOR DE CIERRE INHABILITADO
6/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	16	FALLA DESMOLDEO
6/10/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	97,2	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA
6/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	38,1	CONTROLADOR DE CIERRE INHABILITADO
6/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	14,8	CONTROLADOR DE CIERRE INHABILITADO
6/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	22,2	FALLA DESMOLDEO
6/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	5,4	FALLA DESMOLDEO
6/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	65,6	MAQUINA PARADA POR PROGRAMACION
6/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	22,7	FALLA DESMOLDEO
6/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	8,9	MAQUINA PARADA POR PROGRAMACION
6/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	11,3	FALLA DESMOLDEO
7/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	15,7	BLOQUEADOR NO SALIDO
7/10/2020	2	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	140,1	FALLA GRAVE DEL SECADOR
7/10/2020	2	HUSKY 2	PREF-CAMBIO DE COLOR	268,3	VARIACION DE TONO
7/10/2020	2	HUSKY 2	PREF-CAMBIO DE COLOR	43,4	VARIACION DE TONO
7/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	7,2	BLOQUEADOR NO SALIDO
7/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	18,8	FALLA PLACA EXPULSION
8/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	16,2	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
8/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	23	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA
8/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	16,6	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA
8/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	50,2	FALLA INTERFERENCIA DE PIEZA
8/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	43	FALLA EXPULSOR
8/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	22,8	FALLA SERVO SISTEMA
9/10/2020	1	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	16,6	FALLA SERVO SISTEMA
9/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	42,4	FALLA DESMOLDEO
10/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	89,8	BLOQUEADOR NO SALIDO
10/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	16,9	BLOQUEADOR NO SALIDO
10/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	22,1	BLOQUEADOR NO SALIDO
10/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	12,8	FALLA DESMOLDEO
10/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	140,8	FALLA VACIO ETAPA #3
10/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	93,1	HUMEDAD CAV #25
10/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-ARRANQUE	29,1	CAMBIO DE MOLDE DE 26GR A 50GR
11/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	92,9	FALLA FOTOCELDA
11/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	97,8	LIMPIEZA TUBOS ROBOT POR MARCAS CAV #16
11/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	24,4	LIMPIEZA TUBOS ROBOT POR MARCAS CAV #16
11/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-CONTAMINACION	168,2	CONTAMINACION
11/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-FALLA MECANICA	37,6	LIMPIEZA TUBOS ROBOT POR MARCAS CAV #16
12/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	39,4	FALLA VACIO ROBOT TODAS LAS ETAPAS
12/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	58,6	FALLA VACIO ROBOT TODAS LAS ETAPAS
12/10/2020	1	HUSKY 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	17,9	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	1	HUSKY 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	116,8	CORTE DE ENERGIA

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
13/10/2020	1	HUSKY 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	27,2	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	1	HUSKY 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	13	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	41,7	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	57	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	2	HUSKY 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	218,8	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	70	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	2	HUSKY 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	20,2	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	2	HUSKY 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	22,2	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	22,6	FALLA FOTOCELDA
13/10/2020	2	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	20	FALLA FOTOCELDA
13/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	14,9	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	53,2	CORTE DE ENERGIA

Control de desperdicio de la máquinas Husky 1, Huksy 2 y Husky 4 de la empresa Iberplast					
Fecha	Turno	Máquina	Causa Desperdicio	Cantidad (Kg)	Observaciones
13/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	117,4	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	39,7	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	20,7	CORTE DE ENERGIA
13/10/2020	3	HUSKY 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	20	CORTE DE ENERGIA
14/10/2020	1	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	66,1	FALLA DESMOLDEO
14/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	134,6	FALLA FOTOCELDA
14/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	15,9	FALLA FOTOCELDA
14/10/2020	3	HUSKY 4	PREF-FALLA MECANICA	80,4	FALLA FOTOCELDA

Anexo 2. Datos normalizados por transformada de Box-Cox

Cantidad (Kg)	Datos normalizados
77,6	4,351567427
50,8	3,927896355
24,3	3,19047635
15,9	2,766319109
72,7	4,286341385
124,2	4,821893169
10	2,302585093
37	3,610917913
275,8	5,619675965
106,9	4,671893818
106,2	4,665324109
41	3,713572067
25	3,218875825
34,3	3,535145354
139,8	4,94021283
17,9	2,884800713
73,1	4,291828367
106,2	4,665324109
29,3	3,377587516
20,9	3,039749159
47,8	3,867025639
21,1	3,04927304
49,2	3,895893623
65,8	4,186619838
45	3,80666249
47,4	3,858622229
19,7	2,980618636
54	3,988984047
19,4	2,965273066
31,6	3,453157121
130,2	4,86907173
29,4	3,380994674
59	4,077537444
60,3	4,099332104
63,2	4,146304301
13,6	2,610069793
58,4	4,06731589
25,1	3,222867846
18,4	2,912350665

Cantidad (Kg)	Datos normalizados
24,2	3,186352633
26,5	3,277144733
8,9	2,186051277
187,9	5,235909906
124	4,820281566
8,8	2,174751721
35	3,555348061
74,8	4,314817885
32,7	3,487375078
45,7	3,822098298
33	3,496507561
29,3	3,377587516
46,9	3,848017675
7	1,945910149
25,5	3,238678452
32,4	3,478158423
47,2	3,854393893
92,2	4,523960131
91,7	4,518522379
90,1	4,500920165
9,1	2,208274414
108,5	4,686750173
15,8	2,76000994
10,8	2,379546134
80,8	4,391976966
66,3	4,194189897
68,5	4,226833745
34	3,526360525
13,6	2,610069793
30,9	3,430756184
21,1	3,04927304
15	2,708050201
48,3	3,877431561
35	3,555348061
31,3	3,443618098
41,4	3,723280881
38	3,63758616
19	2,944438979
72,1	4,278054044
57,9	4,058717385
5	1,609437912
37,7	3,629660094

Cantidad (Kg)	Datos normalizados
8,9	2,186051277
77,5	4,350277936
49,8	3,908014984
134,4	4,900820428
23,2	3,144152279
15,1	2,714694744
57,1	4,044804117
37	3,610917913
40,8	3,708682081
32,9	3,493472658
31,2	3,440418095
61,8	4,123903364
34,4	3,538056564
43,3	3,768152635
8,3	2,116255515
46,7	3,843744165
105,1	4,654912278
27,4	3,310543013
13,9	2,63188884
51,4	3,939638172
17,5	2,862200881
12,6	2,533696814
22,3	3,104586678
7,2	1,974081026
10,4	2,341805806
14,1	2,646174797
9,9	2,292534757
49,1	3,893859035
16,3	2,791165108
35,3	3,563882964
28,4	3,346389145
46,6	3,841600541
17,8	2,879198457
25,1	3,222867846
26,4	3,27336401
37,5	3,624340933
71,8	4,273884476
10,4	2,341805806
69,4	4,239886868
24,3	3,19047635
89,8	4,497584975
106,2	4,665324109

Cantidad (Kg)	Datos normalizados
40	3,688879454
8,3	2,116255515
70,6	4,257030144
7,7	2,041220329
161,5	5,084505143
29	3,36729583
25,2	3,226843995
18	2,890371758
56,8	4,039536326
176,7	5,174453379
59,7	4,08933202
18,3	2,90690106
28,7	3,356897123
81,4	4,399375273
16,9	2,827313622
49,4	3,899950424
34,6	3,543853682
17,2	2,844909384
14,9	2,701361213
52,1	3,953164949
14,2	2,653241965
200,4	5,300315369
107,5	4,677490848
47,7	3,864931398
53,8	3,985273467
63,3	4,147885329
21,9	3,086486637
55,8	4,021773869
14,4	2,667228207
38,3	3,645449896
13,5	2,602689685
56,5	4,034240638
72,3	4,280824129
50,2	3,916015027
230,9	5,441984716
106,5	4,668144985
58	4,060443011
43,6	3,77505715
40,4	3,698829785
34,1	3,529297384
76,7	4,339901708
58,8	4,074141855

Cantidad (Kg)	Datos normalizados
75,8	4,328098293
17,7	2,87356464
42,1	3,740047741
33,1	3,499533282
21,1	3,04927304
16,5	2,803360381
11	2,397895273
33,4	3,5085559
19,8	2,985681938
41,8	3,73289634
24	3,17805383
19,8	2,985681938
62,3	4,131961426
24,8	3,210843653
46,1	3,83081295
57,2	4,046553898
63,2	4,146304301
19,9	2,990719732
47,8	3,867025639
11,5	2,442347035
38,2	3,642835516
40,2	3,693866996
47,1	3,852273001
33,1	3,499533282
6	1,791759469
47,3	3,856510295
40,7	3,706228092
144,9	4,976043849
39,7	3,681351188
33,6	3,514526067
16	2,772588722
97,2	4,576770711
38,1	3,640214282
14,8	2,694627181
22,2	3,100092289
5,4	1,686398954
65,6	4,183575696
22,7	3,122364924
8,9	2,186051277
11,3	2,424802726
15,7	2,753660712
140,1	4,942356453

Cantidad (Kg)	Datos normalizados
268,3	5,592105757
43,4	3,770459441
7,2	1,974081026
18,8	2,93385687
16,2	2,785011242
23	3,135494216
16,6	2,809402695
50,2	3,916015027
43	3,761200116
22,8	3,126760536
16,6	2,809402695
42,4	3,747148362
89,8	4,497584975
16,9	2,827313622
22,1	3,095577609
12,8	2,549445171
140,8	4,947340444
93,1	4,533674184
29,1	3,370738174
92,9	4,531523646
97,8	4,582924577
24,4	3,194583132
168,2	5,125153748
37,6	3,62700405
39,4	3,673765816
58,6	4,070734697
17,9	2,884800713
116,8	4,76046307
27,2	3,303216973
13	2,564949357
41,7	3,730501129
57	4,043051268
218,8	5,388158071
70	4,248495242
20,2	3,005682604
22,2	3,100092289
22,6	3,117949906
20	2,995732274
14,9	2,701361213
53,2	3,974058396
117,4	4,765586907
39,7	3,681351188

Cantidad (Kg)	Datos normalizados
20,7	3,0301337
20	2,995732274
66,1	4,191168747
134,6	4,902307417
15,9	2,766319109
80,4	4,387014176

Anexo 3. Diseño de experimentos (DOE) factorial completo

OrdenEst	OrdenCorrida	TipoPt	Bloques	Turno	Maquina	Causal	Cantidad (Kg)
49	1	1	1	3	Husky 4	PREF-ARRANQUE	23,52127916
3	2	1	1	1	Husky 1	PREF-CONTAMINACION	0
47	3	1	1	3	Husky 2	PREF-DE PISO	0
34	4	1	1	2	Husky 4	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	12,02204764
28	5	1	1	2	Husky 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	11,49393296
4	6	1	1	1	Husky 1	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	0
11	7	1	1	1	Husky 2	PREF-DE PISO	0
17	8	1	1	1	Husky 4	PREF-DE PISO	0
6	9	1	1	1	Husky 1	PREF-FALLA MECANICA	0
13	10	1	1	1	Husky 4	PREF-ARRANQUE	14,11096326
54	11	1	1	3	Husky 4	PREF-FALLA MECANICA	199,6539697
22	12	1	1	2	Husky 1	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	0
29	13	1	1	2	Husky 2	PREF-DE PISO	0
19	14	1	1	2	Husky 1	PREF-ARRANQUE	18,29873538
30	15	1	1	2	Husky 2	PREF-FALLA MECANICA	57,55649849
38	16	1	1	3	Husky 1	PREF-CAMBIO DE COLOR	9,934875748
35	17	1	1	2	Husky 4	PREF-DE PISO	0
53	18	1	1	3	Husky 4	PREF-DE PISO	7,870349276
16	19	1	1	1	Husky 4	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	0
15	20	1	1	1	Husky 4	PREF-CONTAMINACION	4,257030144
21	21	1	1	2	Husky 1	PREF-CONTAMINACION	0

41	22	1	1	3	Husky 1	PREF-DE PISO	0
24	23	1	1	2	Husky 1	PREF-FALLA MECANICA	3,856510295
26	24	1	1	2	Husky 2	PREF-CAMBIO DE COLOR	9,362565199
5	25	1	1	1	Husky 1	PREF-DE PISO	0
7	26	1	1	1	Husky 2	PREF-ARRANQUE	18,99057039
44	27	1	1	3	Husky 2	PREF-CAMBIO DE COLOR	0
31	28	1	1	2	Husky 4	PREF-ARRANQUE	23,19490432
10	29	1	1	1	Husky 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	13,51343011
45	30	1	1	3	Husky 2	PREF-CONTAMINACION	8,612528825
9	31	1	1	1	Husky 2	PREF-CONTAMINACION	0
48	32	1	1	3	Husky 2	PREF-FALLA MECANICA	33,85142321
43	33	1	1	3	Husky 2	PREF-ARRANQUE	32,36086442
23	34	1	1	2	Husky 1	PREF-DE PISO	0
1	35	1	1	1	Husky 1	PREF-ARRANQUE	3,698829785
36	36	1	1	2	Husky 4	PREF-FALLA MECANICA	126,9710993
37	37	1	1	3	Husky 1	PREF-ARRANQUE	0
46	38	1	1	3	Husky 2	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	9,671151883
52	39	1	1	3	Husky 4	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	11,4770718
51	40	1	1	3	Husky 4	PREF-CONTAMINACION	0
32	41	1	1	2	Husky 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	3,841600541
14	42	1	1	1	Husky 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	22,74323487
40	43	1	1	3	Husky 1	PREF-CORTE DE ENERGIA PICO DE VOLTAJE	0
18	44	1	1	1	Husky 4	PREF-FALLA MECANICA	150,0040598
33	45	1	1	2	Husky 4	PREF-CONTAMINACION	19,79604367
8	46	1	1	1	Husky 2	PREF-CAMBIO DE COLOR	0
39	47	1	1	3	Husky 1	PREF-CONTAMINACION	0

20	48	1	1	2	Husky 1	PREF-CAMBIO DE COLOR	0
42	49	1	1	3	Husky 1	PREF-FALLA MECANICA	29,07888995
2	50	1	1	1	Husky 1	PREF-CAMBIO DE COLOR	3,377587516
12	51	1	1	1	Husky 2	PREF-FALLA MECANICA	14,61593234
27	52	1	1	2	Husky 2	PREF-CONTAMINACION	0
50	53	1	1	3	Husky 4	PREF-CAMBIO DE COLOR	4,08933202
25	54	1	1	2	Husky 2	PREF-ARRANQUE	10,55038135

Anexo 4. Resultados de la simulación de la situación actual

Período	Nombre	Total Salidas	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)	Tiempo de Bloqueo Promedio (Min)
1	Materia Prima	0	0	0	0
1	Preforma	5583872	11,98999	1,481512	10,50847
1	Preforma Rechazada	299920	12,01627	1,481703	10,53457

Período	Nombre	Tiempo Programado (Min)	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Min)	Contenido Promedio	% Utilización
1	Husky 1	43200	1175040	0,857975245	46,67169261	97,23269293
1	Silo 1	43200	1176040	17,86744718	972,7712873	97,27712873
1	Bodega PT	43200	5583872	0	0	0
1	Husky 2	43200	2305536	0,407996377	43,54661062	90,72210546
1	Husky 4	43200	2403648	0,367996725	40,94877978	85,30995787
1	Silo 2	43200	2306536	8,865190141	946,6172959	94,66172959
1	Silo 3	43200	2404648	8,48205168	944,2316841	94,42316841
1	Inspección	43200	5884080	0,999974255	272,3914871	27,23914871
1	Bodega PR	43200	299920	0	0	0
1	Mantenimiento	43200	0	0	0	0

Anexo 5. Resultados de la simulación de la situación propuesta

Período	Nombre	Total Salidas	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)	Tiempo de Bloqueo Promedio (Min)
1	Materia Prima	0	0	0	0
1	Preforma	6447690	10,8345819	1,47361236	9,36096951
1	Preforma Rechazada	118854	10,8484203	1,47421531	9,374205

Período	Nombre	Tiempo Programado (Min)	Total Entradas	Tiempo Por entrada Promedio (Min)	Contenido Promedio	% Utilización
1	Husky 1	43200	1208400	0,85799404	48	98,8642035
1	Silo 1	43200	1209400	17,3595389	971,973444	97,1973444
1	Bodega PT	43200	6447690	0	0	0
1	Husky 2	43200	2541216	0,40799365	48	94,513549
1	Husky 4	43200	2817408	0,36799782	48	91,596346
1	Silo 2	43200	2542216	7,99273871	940,706862	94,0706862
1	Silo 3	43200	2818408	7,16010139	934,263289	93,4263289
1	Inspección	43200	6566880	0,99997787	304,015493	30,4015493
1	Bodega PR	43200	118854	0	0	0
1	Mantenimiento	43200	0	0	0	0